



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
INSTITUTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES

“Análisis de la Variación del Contenido Isotópico de Oxígeno-18 y Deuterio en el Acuífero de Manglaralto, Península de Santa Elena y Determinación de Patrones Locales para Mediciones por Espectroscopia Láser por Absorción”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentada Por:

Andrea Elizabeth Flores Zúñiga

Ana María Melendres Palma

GUAYAQUIL- ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme y darme fortaleza para culminar esta etapa de mi vida.

A mi mamá Lily, por su amor, por el apoyo en todo momento, por los valores inculcados, por sus consejos y la motivación del día a día.

A mi hermana Liza, por la confianza que ha tenido en mí, por el apoyo, cariño y por su amistad.

A mi Directora, Dra. Paola Romero Crespo, por su apoyo brindado en la elaboración de este proyecto de Tesis y por sus valiosos consejos.

A la M.Sc. Samantha Jiménez por su colaboración y guía en el desarrollo de este trabajo, por el conocimiento impartido y oportunos consejos.

A Carlos por su paciencia y apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigas y amigos que de una u otra forma me han ayudado para llevar adelante este propósito.

Al CIPAT-ESPOL y sus miembros por permitirme formar parte del grupo de investigadores.

A la Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto, a su administración, y a todos aquellos que brindaron su atención y ayuda para la elaboración de este trabajo.

Andrea Elizabeth Flores Zúñiga

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por ser mi guía durante este camino.

A mis padres, Hugo Melendres y Ana Palma, mis hermanos: Michelle y Hugo y mi madrina, Sonia Melendres, por su ejemplo, su confianza y amor incondicional, el pilar fundamental en mi vida.

A mi familia en general por incentivarme día a día a lograr este objetivo.

A mi directora de tesis, Dra. Paola Romero, y a la M.Sc. Samantha Jiménez, por su gran apoyo e infinita comprensión.

Al Dr. Paúl Carrión por permitirme ser parte de la familia CIPAT.

A mis profesores que fueron excelentes mentores para este propósito.

A mis compañeros y amigos por brindarme alegría, calma y tranquilidad durante este largo camino.

Ana María Melendres Palma

DEDICATORIA

A Dios

A mi mamá y hermana

A mis amigos

Andrea Elizabeth Flores Zúñiga

DEDICATORIA

A Dios

A mi familia

A mis amigos

Ana María Melendres Palma

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. David Matamoros C.
DIRECTOR ICQA

Dra. Paola Romero C.
DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Samantha Jiménez O.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Andrea E. Flores Zúñiga

Ana Ma. Melendres Palma

RESUMEN

Este trabajo consiste en la caracterización isotópica e hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca Manglaralto, mediante el análisis de la variación del contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno-18 y la evaluación de los distintos tipos de agua en base el estudio de iones mayoritarios: Na, Mg, Ca, K, CO₃, NO₃, SO₄ y Cl.

Los análisis de Oxígeno-18 y Deuterio se realizaron en el laboratorio de isótopos perteneciente a CIPAT, adjunto al laboratorio de Medio Ambiente 2 de ICQA, que cuenta con un espectroscopio láser por absorción.

La utilización del equipo fue fundamental para la determinación del contenido isotópico en muestras consideradas como patrones locales, que servirán para posteriores análisis, dichas muestras proceden de aguas empobrecidas, aguas enriquecidas y aguas con contenido intermedio en los isótopos en mención, las cuales fueron ajustadas a partir de los estándares internacionales VSMOW2, GISP y SLAP2, proporcionados por la Organización Internacional de Energía Atómica, OIEA.

Dado que los patrones proporcionados por OIEA son escasos y de elevado costo, se recurre a la utilización de patrones locales que permiten realizar un mayor número de análisis con igual precisión de resultados.

Con el uso de estos patrones se realizó la caracterización isotópica de las muestras de agua de los pozos de la cuenca Manglaralto, con lo que se concluyó que el agua del acuífero es enriquecida en isótopos pesados, lo cual refleja que existe un proceso de intrusión marina.

Por medio de la caracterización hidroquímica se encontró que el agua predominante en el acuífero es del tipo bicarbonatada sódica, debido a una mezcla existente entre agua dulce proveniente de las precipitaciones y agua salada por intrusión marina.

ABREVIATURAS

GMWL	Global Mean Water Line
GISP	Greenland Ice Sheet Precipitation
JARM	Junta de Agua Regional Manglaralto
NNW	Nor Noroeste
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
SLAP	Standard Light Antarctic Precipitation
SLAP2	Standard Light Antarctic Precipitation 2
SMOW	Standard Mean Ocean Water
SSE	Sur Sureste
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
VSMOW2	Vienna Standard Mean Ocean Water 2
WGS84	World Geodetic System 84

SIMBOLOGÍA

R^2	Coeficiente de correlación
Cond.	Conductividad Eléctrica
δ	Contenido isotópico
δD	Contenido isotópico de Deuterio
$\delta^{18}O$	Contenido isotópico de Oxígeno-18
D o 2H	Deuterio
CO_2	Dióxido de Carbono
GHz	Giga Hertz
$^{\circ}C$	Grados Celsius
Ha	Hectárea
HCO_3^-	Ión Bicarbonato
Ca^{+2}	Ión calcio
Cl^-	Ión Cloruro
Mg^{+2}	Ión magnesio
K^+	Ión potasio
Na^+	Ión sodio
SO_4^{-2}	Ión Sulfuro
Km	Kilómetro

Km ²	Kilómetro cuadrado
m.s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar
μS/cm	Micro Siemens por centímetro (Conductividad Eléctrica)
μL	Microlitros
mL	Mililitros
mm	Milímetro
¹⁸ O	Oxígeno-18
ppm	Partes por Millón
‰	Por Mil
pH	Potencial de Hidrógeno
² H/ ¹ H	Relación de Deuterio con respecto al Protio
Sal.	Salinidad
TDS	Sólidos Totales Disueltos
Temp.	Temperatura

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	VI
ABREVIATURAS	XIV
SIMBOLOGÍA	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XXI
ÍNDICE DE TABLAS	XXII
CAPÍTULO 1	23
INTRODUCCIÓN	23
1.1 Preámbulo	24
1.2 Planteamiento del Problema.....	28
1.3 Hipótesis.....	30
1.4 Objetivos.....	31
1.4 Ubicación de las zonas de estudio	32
1.5 Metodología General	35
CAPÍTULO 2.	38
BASES TEÓRICAS	38
2.1 Ciclo Global del Agua	39
2.1.1 La Hidrósfera.....	39
2.1.2 Componentes del Ciclo Hidrológico.....	40
2.1.3 Los isótopos en el Ciclo Hidrológico.....	42
2.2 Abundancia y Fraccionamiento de los Isótopos Estables.....	43
2.2.1 Relaciones Isotópicas y concentraciones.....	43
2.2.2 Fraccionamiento isotópico.....	44
2.3 Abundancia Natural de los isótopos estables del O y el H	45

2.3.1	Isótopos estables del Oxígeno	46
2.3.2	Isótopos estables del Hidrógeno	47
2.4	Composición y Técnicas de estudio de las aguas subterráneas	47
2.4.1	Sustancias que se encuentran disueltas en un agua natural subterránea	48
2.4.1.1	Aniones	49
2.4.1.2	Cationes	51
2.4.2	Técnicas de estudio.....	53
2.4.2.1	Diagramas poligonales o Diagramas de Stiff	53
2.4.2.2	Diagramas de columnas verticales logarítmicas de Schoeller- Berkaloff.....	54
2.5	Estándares Internacionales proporcionados por la Organización Internacional de Energía Atómica.....	56
2.5.1	VSMOW2 (Vienna Standard Mean Ocean Water 2.....	56
2.5.2	SLAP2 (Standard Light Antarctic Precipitation 2)	57
2.5.3	GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation)	58
CAPÍTULO 3.	59
DESCRIPCIÓN DEL MEDIO	59
3.1	Puntos muestreados para determinación de patrones	61
3.1.1	Tres Postes	61
3.1.1.1	Marco geográfico	61
3.1.1.2	Marco Geológico	61
3.1.1.3	Hidrología.....	61
3.1.1.4	Climatología	62
3.1.2	General Villamil Playas.....	66
3.1.2.1	Marco Geográfico.....	66
3.1.2.2	Marco Geológico	67
3.1.2.3	Hidrología.....	67
3.1.2.4	Climatología	68
3.1.3	Parque Nacional El Cajas.....	71

3.1.3.1 Marco Geográfico.....	71
3.1.3.2 Marco Geológico	72
3.1.3.3 Hidrología.....	73
3.1.3.4 Climatología	74
3.2 Puntos muestreados para análisis de variación isotópica.	78
3.2.1 Comuna Manglaralto	78
3.2.1.1 Marco Geográfico.....	78
3.2.1.2 Marco Geológico	79
3.2.1.3 Hidrología.....	79
3.2.1.4 Climatología	80
CAPÍTULO 4.	84
DESARROLLO METODOLÓGICO	84
4.1 Metodología de Campo	85
4.1.1 Determinación de patrones	85
4.1.1.1 Muestreo y Almacenamiento.....	85
4.1.1.2 Prácticas de campos generales	85
4.1.1.3 Agua Superficial	87
4.1.1.4 Agua Subterránea.....	87
4.1.1.5 Envases para muestreo	88
4.1.2 Caso de estudio: Acuífero de la Comuna Manglaralto	88
4.1.2.1 Envases para el muestreo.....	88
4.1.2.2 Prácticas de campos generales	89
4.1.2.3 Toma de muestras	89
4.2 Metodología de Laboratorio.....	97
4.2.1 Tratamiento de las muestras de agua para determinación de patrones	99
4.2.2 Caso de estudio: Tratamiento para las muestras de agua del acuífero de Manglaralto.....	100
4.2.3 Disposición de las muestras para análisis.....	100
4.2.4 Proceso de medición	102

4.3 Metodología de Interpretación	105
4.3.1 Determinación de patrones locales	105
4.3.2 Análisis de contenido isotópicos de muestras caso de estudio ...	109
CAPÍTULO 5.	111
RESULTADOS	111
5.1 Contenido isotópico en muestras patrones.....	112
5.2 Resultados Caso de estudio.....	114
5.2.1 Análisis de parámetros inestables medidos In Situ	114
5.2.2 Caracterización isotópica del acuífero Manglaralto	115
5.2.3 Caracterización hidroquímica del acuífero Manglaralto.....	119
5.2.4 Relación de resultados	125
CAPÍTULO 6.	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1	Ubicación de puntos de muestreo.....	34
Figura 1. 2	Esquema de Metodología de trabajo para las distintas fases del proyecto de tesis.....	37
Figura 2. 1	Componentes del ciclo hidrológico.....	40
Figura 2. 2	Modelo de diagrama de Stiff	54
Figura 2. 3	Modelo de diagrama de Schoeller-Berkaloff	55
Figura 4. 1	Toma de muestras de la primera campaña.....	91
Figura 4. 2	Toma de muestras en la segunda campaña	92
Figura 4. 3	Multiparamétrica MULTI 3500i	93
Figura 4. 4	Equipo láser analizador de isótopos y automuestreador.....	98
Figura 4. 5	Estándares internacionales de la OIEA.....	98
Figura 4. 6	Viales rotulados con el código de la muestra.....	99
Figura 4. 7	Arreglo establecido por la OIEA para la determinación de patrones locales.....	101
Figura 4. 8	Arreglo establecido por la OIEA para caracterización isotópica.....	101
Figura 4. 9	Error de presión en análisis de patrones.....	102
Figura 4. 10	Espectro de absorción con 3 picos	104
Figura 4. 11	Pantalla principal del simulador para determinación de patrones locales.....	105
Figura 4. 12	Error hiso en los datos extraídos del equipo	106
Figura 4. 13	Valores del cuadrado del coeficiente de correlación	107
Figura 4. 14	Valores del cuadrado del coeficiente de correlación	108
Figura 4. 15	Valores de los contenidos isotópicos de las muestras patrones	108
Figura 4. 16	Hoja de cálculo para el post-procesamiento de datos de muestras	109
Figura 4. 17	Revisión de patrones locales al analizar muestras de Manglaralto	110
Figura 4. 18	Contenido isotópico de muestras de Manglaralto	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3. 1 Promedio histórico de temperatura media mensual: estación meteorológica Babahoyo	64
Gráfico 3. 2 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Babahoyo	64
Gráfico 3. 3 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Babahoyo	65
Gráfico 3. 4 Promedio histórico de precipitación media anual: estación meteorológica Babahoyo	66
Gráfico 3. 5 Promedio histórico de temperatura media mensual: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil	69
Gráfico 3. 6 Promedio histórico de temperaturas media anuales: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil	69
Gráfico 3. 7 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil	70
Gráfico 3. 8 Promedio histórico de precipitación media anual: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil	71
Gráfico 3. 9 Promedio histórico de temperatura media mensual: estación meteorológica Cañar.....	76
Gráfico 3. 10 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Cañar.....	76
Gráfico 3. 11 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Cañar.....	77
Gráfico 3. 12 Promedio histórico de precipitación media anual: estación meteorológica Cañar.....	78
Gráfico 3. 13 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Manglaralto.....	82
Gráfico 3. 14 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Cañar.....	83
Gráfico 5. 1 Ubicación de los patrones locales en relación a los Estándares Universales, usando como referencia la Línea Meteorica Mundial.	113
Gráfico 5. 2 Variación de Parámetros inestables en las campañas de muestreo.....	115

Gráfico 5. 3 Ubicación de las muestras de los acuíferos de Manglaralto según su contenido de Deuterio y Oxígeno-18, usando como referencia la Línea Meteorica Mundial.....	117
Gráfico 5. 4 Variación del contenido isotópico de Deuterio época seca-lluviosa.....	118
Gráfico 5. 5 Variación del contenido isotópico de Oxígeno-18 época seca-lluviosa.....	118
Gráfico 5. 6 Contenido de Deuterio Vs Salinidad.....	126
Gráfico 5. 7 Contenido de Oxígeno-18 Vs Salinidad.....	126
Gráfico 5. 8 Profundidad vs Conductividad.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Codificación de muestras para elaboración de patrones locales.....	28
Tabla II. Hipótesis.....	30
Tabla III. Ubicación de puntos de muestreo para determinación de patrones	32
Tabla IV. Valores para los estándares de la OIEA	56
Tabla V. Porcentajes del abastecimiento de agua en cantón Alfredo Baquerizo Moreno.....	62
Tabla VI. Rasgos fisiográficos de las microcuencas del Parque Nacional Cajas.....	74
Tabla VII. Inventario de pozos de Manglaralto	90
Tabla VIII. Datos de parámetros inestables del pozo 2. Campaña 1	93
Tabla IX. Datos de parámetros inestables del pozo 2. Campaña 2.....	93
Tabla X. Datos de parámetros inestables del pozo 3. Campaña 1	94
Tabla XI. Datos de parámetros inestables del pozo 3. Campaña 2.....	94
Tabla XII. Datos de parámetros inestables del pozo 4. Campaña 1	94
Tabla XIII. Datos de parámetros inestables del pozo 4. Campaña 2.....	95
Tabla XIV. Datos de parámetros inestables del pozo 5. Campaña 1	95
Tabla XV. Datos de parámetros inestables del pozo 6. Campaña 1	95
Tabla XVI. Datos de parámetros inestables del pozo 6. Campaña 2	96
Tabla XVII. Datos de parámetros inestables del pozo 7. Campaña 1	96
Tabla XVIII. Datos de parámetros inestables del pozo 7. Campaña 2	96
Tabla XIX. Datos de parámetros inestables del pozo 8. Campaña 1	97
Tabla XX. Datos de parámetros inestables del pozo 8. Campaña 2	97
Tabla XXI. Valores de Deuterio y Oxígeno-18 en nuevos patrones	112
Tabla XXII. Valores de Deuterio y Oxígeno-18 para caso de estudio.....	116
Tabla XXIII. Relación de Contenido Isotópico y Salinidad.....	125
Tabla XXIV. Caracterización isotópica de pozos de la cuenca Manglaralto – 2009.....	128
Tabla XXV. Caracterización isotópica de aguas lluvias de la zona de Olón – 2009.....	128
Tabla XXVI. Registros de Conductividad en relación a la profundidad de los pozos del acuífero Manglaralto-2009.....	130

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Preámbulo

El agua siendo fundamental para el desarrollo de la vida desde inicios de la creación del planeta, ha sido objeto de estudio, lo que ha permitido el desarrollo de innumerables técnicas para la determinación de propiedades y medición de parámetros que nos permiten conocer la calidad de la misma. Estas técnicas han ido desde el estudio más simple como la determinación de temperatura hasta los más complejos en los que se analiza la química del agua.

Las técnicas isotópicas constituyen en la actualidad uno de los instrumentos de trabajo en la hidrología. Algunas de estas técnicas pueden aportar una información de características únicas, imposible de obtener mediante otros métodos. Los isótopos ambientales utilizados más comúnmente son los isótopos estables Deuterio y Oxígeno-18, que son trazadores casi ideales.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha llegado a ser un centro de convergencia en lo que respecta al desarrollo de la hidrología isotópica, y en la actualidad cumple la función de organismo certificador avalando investigaciones basadas en técnicas isotópicas a nivel mundial.

En diversas partes del mundo se han utilizado las técnicas isotópicas para la detección y datación aproximada de cuerpos de aguas, determinación de ciertos procesos geoquímicos e hidrogeológicos que influyen en el agua, así como también para el estudio de los procesos contaminantes.

Las primeras investigaciones de hidrología isotópica en el Ecuador se realizaron en 1976-1977, en colaboración con el Organismo Hidrológico Ecuatoriano y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) con el fin de mejorar la producción agrícola mediante el riego con aguas subterráneas. Las técnicas isotópicas fueron empleadas con el propósito de reconocer las fuentes de recarga del acuífero subterráneo en la zona situada aproximadamente a 20 km al este de Guayaquil, abarcando una superficie de unos 2000 km², para determinar si estas provenían de infiltraciones del Río Chimbo o de las precipitaciones locales[1].

A partir del 2007, el Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), con el auspicio de OIEA, ha desarrollado importantes proyectos de investigación en esta temática, dichos proyectos son: **Caracterización de Acuíferos Costeros en la Península de Santa Elena** y **Application of Isotopic Tools for Integrated Management of Coastal Aquifers**.

El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento de agua para la Península de Santa Elena, debido a la escasez de agua superficial y la falta de acceso al agua potable, por lo cual se consideró realizar la caracterización isotópica e hidroquímica al conjunto de pozos de la Comuna Manglaralto, administrados por la Junta de Agua Comunitaria Regional Manglaralto, la cual abastece de este recurso a las comunidades de Montañita, Ciudadela Nueva Montañita, Manglaralto, Rio Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar.

Para este propósito se realizó dos campañas de muestreo a los 7 pozos en funcionamiento de la Comuna Manglaralto, la primera se llevó a cabo en diciembre la cual fue considerada como época seca, mientras que la segunda campaña que se efectuó en el mes de enero se la catalogó como época lluviosa por la presencia de precipitaciones.

El análisis de las muestras se realizó mediante espectroscopia láser por absorción, haciendo uso de patrones locales determinados con estándares internacionales. Los patrones proceden de sitios con contenidos enriquecidos, medianos y empobrecidos en isótopos ^{18}O y ^2H , las cuales fueron seleccionadas según criterios que influyen en el contenido isotópico de las aguas.

El agua enriquecida en isótopos pesados (Deuterio y Oxígeno-18), se muestreó 3 kilómetros mar adentro de la ciudad General Villamil Playas. Estas aguas presentan alto contenido isotópico ya que es donde mayormente ocurre el proceso de la evaporación, en donde los isótopos ligeros son los primeros que tienden a evaporarse, y por lo tanto el océano queda rico en isótopos pesados.

El agua empobrecida en isótopos pesados fue muestreada en el Parque Nacional Cajas, presenta esta característica debido a que se encuentra a una mayor altitud sobre el nivel de mar y por lo tanto la temperatura es más baja, lo que produce que las precipitaciones que tienen lugar en estas zonas tengan menores concentraciones de isótopos pesados, y se las catalogue como aguas ligeras.

El agua con contenido medio en isótopos pesados fue muestreada en el sector de Tres Postes, posee esta concentración de isótopos debido a que el sitio de muestreo se encuentra en una altitud y temperatura media entre los dos sitios mencionados anteriormente.

A continuación se indica la codificación para la identificación de los tres tipos de agua muestreados:

Tabla I. Codificación de muestras para elaboración de patrones locales

Contenido Isotópico	Lugar	Código	Cantidad
Enriquecido	3Km. mar adentro (Gral. Villamil Playas)	HEAVY	10 Galones
Mediano	Tres Postes	CONTROL	5 Galones
Empobrecido	Parque Nacional Cajas	LIGHT	10 Galones

Fuente: Flores A., Melendres A.

1.2 Planteamiento del Problema

Aunque la Tierra está cubierta de agua, el 97.5% de esa masa es agua salada, el 2.5% restante es agua dulce, de la cual el 68.7% está congelada en los casquetes polares y glaciares y solo el 1% del total de los recursos hídricos del planeta son aptos para el consumo humano.¹

Existen países que por su localización o características geográficas no poseen **fuentes de agua dulce** o debido al **desarrollo no sostenible se ha agotado este recurso**. Muchos de estos países buscan otras fuentes para la adquisición de este recurso, como lo son las aguas subterráneas, las cuales son comúnmente explotadas sin tener un previo estudio que les indique las características pertinentes para llevar una gestión sostenible del mismo. *“En muchos casos se he excedido la capacidad de depuración natural, lo que ha provocado que numerosos ríos y lagos se transformen en canales de drenaje y reservorios (embalses) biológicamente muertos”* (Kazimierz Rozanski, 2002).

¹Programa de Evaluación de los recursos hídricos Mundiales de las Naciones Unidas, 2006, Fig 4.1

El Ecuador es considerado como uno de los países con mayor oferta de agua ya que cuenta con aproximadamente 255.045Km² de vertientes hídricas que nacen de la Cordillera de Los Andes, con un porcentaje de territorio superficial del 48,07% hacia el Océano Pacífico y 51,41% hacia la región Amazónica². En Ecuador la disponibilidad de agua subterránea es de 32%³, por lo que el estudio de los recursos hídricos es indispensable.

A pesar de esto, hay localidades desérticas, donde el acceso a aguas superficiales es escaso y por lo tanto se ven afectados el desarrollo agrícola y el proceso de potabilización para el consumo humano. Sin embargo, algunas de estas zonas cuentan con reservorios de aguas subterráneas que han sido explotados dada la necesidad de obtención de la misma, como es el caso de la Comuna Manglaralto que además abastece a las Comunas Montañita, Nueva Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar.

Esta comuna tiene 8 pozos de explotación que son administrados por la Junta de Agua Regional Manglaralto, de los cuales encuentran en operación 6.

Mediante el uso de técnicas isotópicas se puede **mejorar la gestión de los recursos hídricos teniendo así un desarrollo sostenible**, sin

² Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador, Marzo 2001

³ Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos Mundiales de las Naciones Unidas, 2006, Tabla 4.3

embargo, para la aplicación de **estas técnicas se requiere de patrones**, que son utilizados en el proceso de análisis de muestras, éstos se encuentran a la venta en el exterior, **con altos costos** tanto para la adquisición como para el envío, por lo cual en el presente trabajo se establecerán **patrones locales**, determinados a partir de los patrones **VSMOW2, GISP y SLAP2**.

1.3 Hipótesis

Tabla II. Hipótesis

Hipótesis	Variables X y Y	Indicadores
Las técnicas isotópicas e hidroquímicas permitirán la caracterización del acuífero Manglaralto, mediante el análisis de variaciones en los contenidos de ^2H , ^{18}O , y de iones mayoritarios en época seca y lluviosa.	<p>X: Muestreo de aguas en época seca y lluviosa.</p> <p>Y: Variación de contenido isotópico e hidroquímico del acuífero.</p>	<p>X₁: Temperatura</p> <p>X₂: Precipitación</p> <p>Y₁: Salinidad</p> <p>Y₂: Conductividad</p> <p>Y₃: Contenido de Deuterio</p> <p>Y₄: Contenido de Oxígeno-18</p> <p>Y₅: Contenido de iones mayoritarios</p>

Fuente: Andrea Flores, Ana María Melendres

1.4 Objetivos

Objetivo General

Analizar la variación del contenido isotópico de Oxígeno-18 y Deuterio, en el agua de pozos en la Junta de Agua Regional de Manglaralto, en época seca y lluviosa.

Objetivos específicos

1. Realizar análisis isotópicos de las muestras procedentes de Tres Postes, Playas y El Cajas.
2. Analizar y tabular los datos de contenidos isotópicos obtenidos en las muestras de Tres Postes, Playas y El Cajas, para su posterior implementación como patrones locales en el laboratorio de isótopos ambientales de CIPAT.
3. Realizar la caracterización isotópica e hidroquímica del agua subterránea de la cuenca Manglaralto mediante el uso de patrones locales.

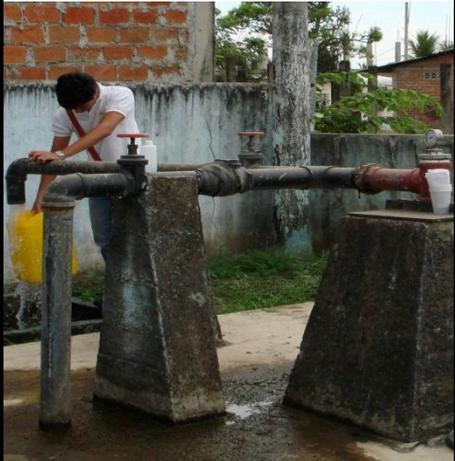
1.4 Ubicación de las zonas de estudio

Para la determinación del contenido isotópico de patrones locales se recolectó tres tipos de muestras con contenido isotópicos distintos. Las muestras proceden de: agua tomada 3Km mar adentro en la ciudad General Villamil Playas, agua subterránea del recinto Tres Postes y agua superficial del Parque Nacional Cajas.

Para la localización de los puntos se utilizó un GPS configurado con el sistema de coordenadas cartográficas WGS84 (**World Geodetic System 84**).

Tabla III. Ubicación de puntos de muestreo para determinación de patrones

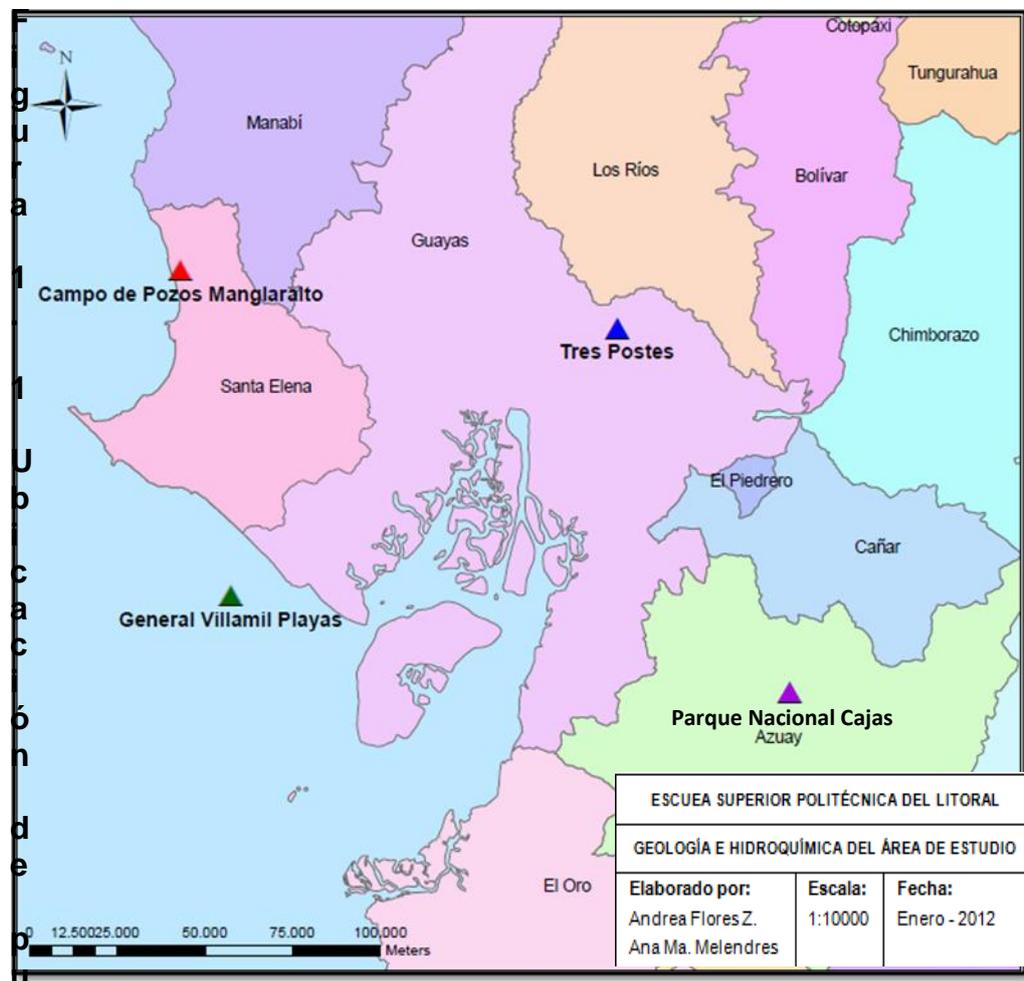
FOTO	Coordenadas	
	X	Y
Parque Nacional Cajas 	703791	9686668

3 Km mar adentro de Playas		0545117 9705324
Tres Postes		

Fuente: Flores A., Melendres A.

El área de estudio para la caracterización isotópica e hidroquímica de las aguas subterráneas, está localizada en la Comuna Manglaralto, Provincia de Santa Elena, en esta zona los habitantes se abastecen de agua mediante la explotación de pozos perforados, administrados por la Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto, que cuenta con 8 pozos para el abastecimiento de las comunas: Montañita, Nueva

Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar. Esta Junta opera desde abril de 1980 abasteciendo sólo a los pobladores de Manglaralto, en la actualidad el abastecimiento es para un aproximado de 17000 habitantes distribuidos entre las 7 comunas mencionadas.



ntos de muestreo

1.5 Metodología General

La metodología de investigación se ha dividido en dos fases principales, la referente a la determinación de patrones locales y la correspondiente al análisis de la variación de contenido isotópico en aguas del Acuífero Manglaralto. A continuación se describen detalladamente:

A. Determinación de patrones locales.

Fase A1: Trabajo de campo.-Consiste en las visitas técnicas a los sitios de interés que corresponden a Gral. Villamil Playas, Tres Postes y Parque Nacional Cajas donde se recolectaron aguas enriquecidas, medianas y empobrecidas en isótopos pesados respectivamente. El traslado y almacenamiento de estas muestras es de mucha importancia para el posterior análisis de laboratorio.

Fase A2: Trabajo de laboratorio.-Consiste en el tratamiento, preparación y disposición de las muestra recolectadas para ser analizadas en el espectroscopio láser por absorción, por medio del cual se determinará el contenido isotópico de las mismas.

Fase A3: Trabajo de interpretación.- Consiste en el tratamiento y procesamiento de los datos extraídos del analizador de isótopos mediante un simulador creado por la OIEA para determinación de contenido isotópico de patrones locales.

B. Análisis de contenido isotópico

Fase B1: Trabajo de campo.- Consiste en las visitas técnicas al sitio de estudio correspondiente a la Comuna Manglaralto para la captación, conservación, transporte, manipulación y etiquetado de las muestras de cada uno de los pozos activos y para la medición de parámetros inestables en el agua como son la temperatura, potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (TDS), conductividad y salinidad.

Fase B2: Trabajo de laboratorio.-Consiste en el tratamiento, preparación y disposición de las muestras en el equipo de espectroscopia láser para realizar el análisis de contenido isotópico de cada una de ellas. Adicionalmente se realizará el análisis de iones mayoritarios (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^-) para la posterior caracterización hidroquímica.

Fase B3: Trabajo de interpretación.- Consiste en el tratamiento de los datos extraídos del analizador de isótopos mediante un simulador creado por la OIEA para análisis de contenido isotópico de muestras, y así establecer la variación del contenido entre las temporadas seca y lluviosa. Al mismo tiempo los resultados de los análisis de iones mayoritarios son procesados con software o herramientas de análisis especializados para la elaboración de diagramas hidroquímicos.

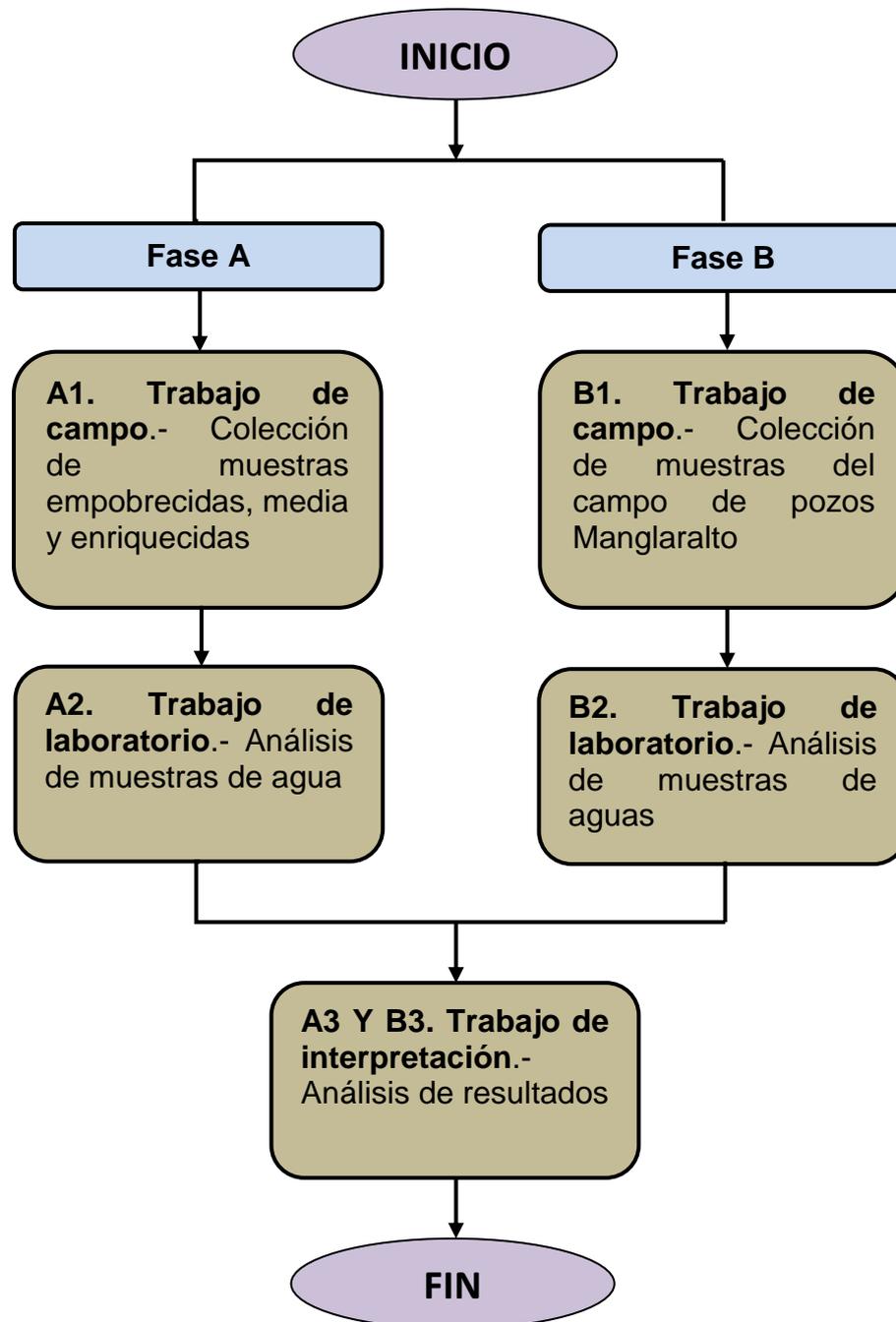


Figura 1. 2 Esquema de Metodología de trabajo para las distintas fases del proyecto de tesis

CAPÍTULO 2. BASES TEÓRICAS

2.1 Ciclo Global del Agua

2.1.1 La Hidrósfera

La hidrósfera es una capa de la Tierra que comprende la masa total de agua que se encuentra en, bajo y sobre la superficie del planeta, siendo aguas dulces o saladas, las cuales circulan de unos lugares a otros cambiando constantemente el estado de agregación dando lugar al denominado ciclo hidrológico o ciclo del agua en la naturaleza.

La hidrosfera de la Tierra está compuesta fundamentalmente por océanos, pero también se incluye todas las superficies de agua, considerando los mares interiores, lagos, ríos y aguas subterráneas. Ya que los océanos son los reservorios más grandes de agua, de éstos proviene toda el agua que interviene en el ciclo hidrológico y la cual finalmente retornará al mismo.

El ciclo hidrológico describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la biósfera, atmósfera, litósfera, e hidrósfera, el agua se encuentra en el aire, suelo, entre las rocas y en cualquier forma de vida en el planeta cambiando de lugar por medio de evaporación, evapotranspiración, condensación, precipitación, sedimentación, escorrentía infiltración, etc., para lo cual es necesaria la energía de

los rayos solares (para la evaporación y evapotranspiración) y la fuerza de gravedad (causante de las precipitaciones, escorrentía e infiltración).

2.1.2 Componentes del Ciclo Hidrológico

Una gota de lluvia puede recorrer todas las fases de un ciclo hidrológico o una sola parte de este, cualquier acción del hombre puede alterar este ciclo para una determinada región. (Figura 2.1)

Los principales procesos implicados son:



Figura 2. 1 Componentes del ciclo hidrológico

Fuente: Aguasdecima S.A.

- a) Evaporación.** La evaporación es un proceso físico que consiste en el cambio del estado de líquido al gaseoso por efecto de un aumento de temperatura, dentro del ciclo hidrológico esto ocurre cuando el agua de la superficie predominantemente oceánica se evapora incorporándose a la atmósfera. Este fenómeno tiene lugar cuando se mantiene el gradiente de presión entre la superficie de evaporación y la capa atmosférica por encima de esta. La evaporación depende de la energía proporcionada por el agua y las condiciones climáticas.
- b) Precipitación.** La precipitación es originalmente generada por la condensación de las partículas de agua formando nubes en la atmósfera. La precipitación puede ser sólida o líquida en forma de granizo o de lluvia respectivamente. Proceso que ocurre por la expansión adiabática del aire ascendente como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica con la altura.
- c) Infiltración.** Fenómeno que ocurre cuando el agua precipitada penetra la superficie del suelo a través de sus poros o fisuras de las rocas, parte de esta agua asciende por capilaridad y se evapora o es absorbida por raíces, y otra parte que forme un reservorio subterráneo.

d) Escorrentía Se refiere a los medios por los que el agua en estado líquido se desliza cuesta abajo hacia la superficie del terreno, esta puede ser directa o indirecta. Si es directa es llamada escorrentía superficial y forma ríos y lagos, la indirecta primero se infiltra y luego aparecerá como agua o lago.

2.1.3 Los isótopos en el Ciclo Hidrológico

Durante el trayecto del ciclo hidrológico, se registran cambios en la concentración de isótopos de los elementos que constituyen la molécula de agua, como lo son el oxígeno y el hidrógeno, principalmente en las fases de evaporación y condensación donde el agua queda marcada de manera natural con huellas isotópicas que varían en función del historial de una masa de agua en particular y de su recorrido por el mismo.

Los isótopos son átomos de un elemento que tienen diferente número de neutrones lo que hace que su masa varíe, sin embargo tienen igual número atómico o de protones; las propiedades químicas son idénticas pero las propiedades físicas son muy diferentes. Los isótopos de los elementos que constituyen el agua (hidrógeno y oxígeno), son ligeros en comparación a los demás existentes.

Cuando el agua de los océanos se evapora, los isótopos más pesados se condensan primero y caen en forma de lluvia antes que los más ligeros. Es en los océanos donde se genera la mayor parte del vapor de agua en la atmósfera. Por consiguiente, mientras más alejada de la costa sea la precipitación, menor será la cantidad de isótopos pesados que contenga.

2.2 Abundancia y Fraccionamiento de los Isótopos Estables

2.2.1 Relaciones Isotópicas y concentraciones

Antes de dar una descripción más cuantitativa de los efectos isotópicos, se definen las abundancias isotópicas de manera detallada. Las relaciones isotópicas (abundancia) se definen mediante la expresión:

$$R = \frac{\text{Abundancia del isótopo en defecto}}{\text{Abundancia del isótopo en exceso}}$$

La relación lleva un superíndice delante del símbolo del valor R, el cual se refiere al isótopo que está siendo considerado. Por ejemplo:

$$^{18}R(O) = \frac{[^{18}O]}{[^{16}O]}$$

2.2.2 Fraccionamiento isotópico

Se denomina fraccionamiento isotópico a las diferencias del comportamiento tanto químico como físico de las moléculas isotópicas. Esto puede ocurrir por un cambio en la composición isotópica mediante la transición de un componente de un estado a otro o mediante su transformación a otro compuesto, incluso puede manifestarse como una diferencia en la composición isotópica entre dos componentes en equilibrio químico o físico.

El proceso de fraccionamiento isotópico se describe matemáticamente mediante la comparación de las relaciones isotópicas de los dos componentes en equilibrio químico ($A \rightleftharpoons B$), o lo posterior y anterior es un proceso químico de transición ($A \Rightarrow B$), entonces el factor de fraccionamiento isotópico se define como el cociente de las dos relaciones isotópicas:

$$\alpha_A(B) = \alpha_{B/A} = \frac{R(B)}{R(A)} = \frac{R_B}{R_A}$$

Que expresa la relación isotópica en la fase o en el compuesto B relativo al A.

Normalmente los efectos isotópicos son pequeños $\alpha \approx 1$. Por este motivo, se utiliza con más frecuencia la desviación α respecto a 1

en lugar del factor de fraccionamiento. Esta cantidad a la que se denomina fraccionamiento, se define mediante:

$$\delta = \alpha_{B/A} - 1 = \frac{R_B}{R_A} - 1 \quad (\times 10^3 \text{ ‰})$$

Por consiguiente, se denota el fraccionamiento de B con respecto a A mediante δ o $\delta_A(B)$. De la definición de δ se deriva de forma sencilla:

$$\delta_{B/A} = \frac{-\delta_{A/B}}{1 + \delta_{A/B}} \approx -\delta_{A/B}$$

Se distinguen dos tipos de fraccionamiento isotópico: el fraccionamiento isotópico cinético y el dinámico, el fraccionamiento cinético o fuera de equilibrio, se origina a partir de procesos físicos o químicos irreversibles, es decir, un solo sentido. El fraccionamiento dinámico o de equilibrio, consiste en el efecto isotópico de una reacción de equilibrio.

2.3 Abundancia Natural de los isótopos estables del O y el H

Usados en conjunto, los isótopos de hidrogeno y oxígeno proveen información útil acerca de medios de recarga, historia de aguas sub-superficiales y evolución geoquímica de constituyentes disueltos en un agua.

2.3.1 Isótopos estables del Oxígeno

El elemento oxígeno posee tres isótopos estables, ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O , con abundancias de 99,76; 0,035 y 0,2%, respectivamente (Nier, 1950). Las variaciones del ^{18}O se miden de forma más precisa, teniendo como el cociente del $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \approx 0,0020$. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ muestran variaciones dentro de un rango de casi el 100‰

De los tres isótopos, el ^{18}O y el ^{16}O son trazadores directos de masas de agua, sin embargo, dado que el oxígeno es muy abundante en minerales, refleja interacciones *roca – agua* que deben tenerse en cuenta.

Los valores de concentración de oxígeno-18 varían según diversos efectos que se presentan de forma natural, entre los que tenemos:

- 1) **Efecto latitudinal**, con valores de $\delta^{18}\text{O}$ inferiores a medida que aumenta la latitud.
- 2) **Efecto continental**, con valores de $\delta^{18}\text{O}$ más negativos para las precipitaciones que tengan lugar más al interior del continente.
- 3) **Efecto altitud**, con valores de $\delta^{18}\text{O}$ para la precipitación inferiores a medida que aumenta la altitud.
- 4) **Efecto estacional**, (en regiones con clima templado), con valores de $\delta^{18}\text{O}$ más negativos durante el invierno.

5) Efecto intensidad, con valores de $\delta^{18}\text{O}$ más negativos durante las tormentas intensas.

2.3.2 Isótopos estables del Hidrógeno

El elemento hidrógeno consta de dos isótopos estables, el ^1H o Protio y el ^2H (D o deuterio), con unas abundancias del 99,985 y el 0,015% y una relación isotópica $^2\text{H}/^1\text{H} \approx 0,00015$ (Urey et al., 1932). Esta relación isotópica presenta una variación natural del 250‰, mayor que las variaciones del $^{13}\delta$ y del $^{18}\delta$, debido a las diferencias de masas relativamente grandes existentes entre los isótopos.

Al igual que con el ^{18}O , también se observan concentraciones elevadas para el ^2H en aguas superficiales con una evaporación intensa, mientras que el hielo de los polos tiene unos contenidos de ^2H muy bajos. Las variaciones del 250‰ están presentes en la parte del ciclo hidrológico que se discute en este apartado. [2]

2.4 Composición y Técnicas de estudio de las aguas subterráneas

La composición del agua se la puede considerar desde el punto de vista químico, bacteriológico, isotópico, entre otras. Haciendo énfasis en la composición química, se entiende que ésta composición dependerá del conjunto de sustancias que han sido incorporadas al agua durante el ciclo hidrológico.

La naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, entre otros, son los factores que influirán de manera directa en la composición química.

2.4.1 Sustancias que se encuentran disueltas en un agua natural subterránea

En el agua subterránea natural es muy común que las sustancias disueltas estén de forma iónica, que según su frecuencia de aparición han sido clasificados según Freeze and Cherry (1979), como iones fundamentales o iones mayoritarios sólo a unos cuantos que se presentan casi siempre. Entre los cuales encontramos a los iones: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{-2}), Bicarbonato (HCO_3^-), Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), aunque también se los cataloga de esta manera a los iones Nitrato (NO_3^-), Carbonato (CO_3^{-2}) y Potasio (K^+) a pesar de encontrarse en pequeñas proporciones.

Al resto de iones y sustancias disueltas se encuentran en cantidades más pequeñas por lo que se los clasificó como iones menores y elementos traza. Sin embargo, se hace énfasis en los iones fundamentales ya que son los que se han tomado en cuenta para este trabajo, los mismos que son detallados a continuación:

2.4.1.1 Aniones

a) Ión cloruro, Cl^-

No se oxida ni se reduce, y está presente en forma de sales muy solubles y no precipitables; es esencial para la vida, sin embargo contenidos muy elevados pueden ser perjudiciales y darle una característica corrosiva al agua.

Proviene del lavado de terrenos de origen marino, aguas fósiles, agua de lluvia y mezcla con agua marina en las costas, vertidos urbanos e industriales, de minerales y rocas.

b) Ion sulfato, SO_4^{-2}

Está presente en sales moderadamente solubles a muy solubles, puede reducirse en presencia de un medio con abundante materia orgánica, muy difícilmente se precipita. Cuando se encuentra asociado a Mg o Na presenta características laxantes. Las aguas con elevado contenido de este ion tienen sabor poco agradable y amargo.

Procede del lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambiente marino, oxidación de

sulfuros de las rocas, disolución de yeso, actividades urbanas, industriales y agrícolas.

c) Iones bicarbonatos y carbonatos, HCO_3^- y CO_3^{2-}

Proporcionan alcalinidad al agua, no son oxidables ni reducibles y son muy precipitables. No tienen características tóxicas, sin embargo el equilibrio con el CO_2 y el pH puede ser determinante para la corrosividad e incrustabilidad.

La disolución de CO_2 atmosférico o del suelo es una fuente principal de este ion, así como también la disolución de calizas y de ácido naturales. El agua de mar aporta con alrededor de 100 ppm.

d) Ion nitrato, NO_3^-

Las sales de este ión son muy solubles y no precipitables, puede pasar a N_2 , NH_4^+ y NO_2^- . Puede producir cianosis en los niños si el agua de bebida tiene concentraciones muy elevadas, hacen que el agua se vuelva corrosiva y alteran el fenómeno de la fermentación.

Su fuente son los procesos de nitrificación naturales y lavado de minerales nitrogenados, razón por la que es un indicador de contaminación.

2.4.1.2 Cationes

a) Ion sodio, Na⁺

Es muy soluble y muy difícil de precipitar. Las altas concentraciones reducen la permeabilidad del suelo, si la cantidad de calcio y magnesio es pequeña, las características del agua serían nocivas.

Proviene del ataque a feldspatos y silicatos, lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas, mezcla con agua de mar, contaminación urbana e industrial, y concentración del agua de lluvia.

b) Ion potasio, K⁺

Siendo absorbido fácilmente por las arcillas, tiene una solubilidad muy elevada y precipitación nula. No es corrosivo ni nocivo, es un elemento vital para las plantas.

Sus principales fuentes son el ataque de la ortosa y otros silicatos, disolución de sales naturales potásicas, aportes

del agua de lluvia, contaminación industrial, minera y agrícola.

c) Ion calcio, Ca^{+2}

Aportando principalmente a los problemas de incrustaciones y dureza, tiene sales moderadamente solubles a muy solubles; es fácil de precipitar cuando está asociado a iones carbonatos o bicarbonatos.

Procede de la disolución de calizas, dolomías, yeso, y cemento calcáreo; ataque a feldespatos y silicatos cálcicos.

d) Ion magnesio, Mg^{+2}

Posee propiedades similares a los iones calcio, pero es más soluble y de difícil precipitación. Tiene características laxantes dando un sabor amargo al agua, principal causante de la dureza y de las incrustaciones.

Resulta de la disolución de dolomías y calizas dolomíticas, del ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos; mezcla con agua de mar. Contaminación industrial y minera, y localmente del lavado de rocas evaporitas magnésicas.

2.4.2 Técnicas de estudio

Un aspecto primordial en el estudio de aguas subterráneas es la compilación y presentación de los datos de composición y características químicas, para lo cual se hace uso de técnicas de representación gráfica cuyo objetivo es analizar la composición iónica del agua en varios lugares y establecer comparaciones entre ellos. De entre todos los existentes, se detallan a continuación dos de ellos, que fueron los utilizados en esta tesis.

2.4.2.1 Diagramas poligonales o Diagramas de Stiff

Consiste en tomar 4 rectas paralelas con la misma distancia de separación cortadas con una recta perpendicular dando origen a 8 semirrectas, donde de un lado se colocarán los cationes y del otro lado los aniones. Cada segmento será proporcional a la cantidad (meq/l) de cada ión, para luego unir los extremos y así formar un polígono. La disposición de los cationes de arriba hacia abajo es: **Na+K, Mg, Ca** o **K, Na, Mg, Ca**; y para los aniones: **Cl+NO₃, SO₄, HCO₃+CO₃** o **NO₃, Cl, SO₄, HCO₃+CO₃**.

Esta disposición permite visualizar de manera rápida los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes o entre

aniones; la forma del polígono proporciona una pauta sobre el tipo de agua y el tamaño da percepción idea relativa del contenido iónico total del agua, e indirectamente de la conductividad.

Estos diagramas son ubicados en mapas sobre el punto donde se ha muestreado para indicar la variación espacial de la composición del agua del acuífero.

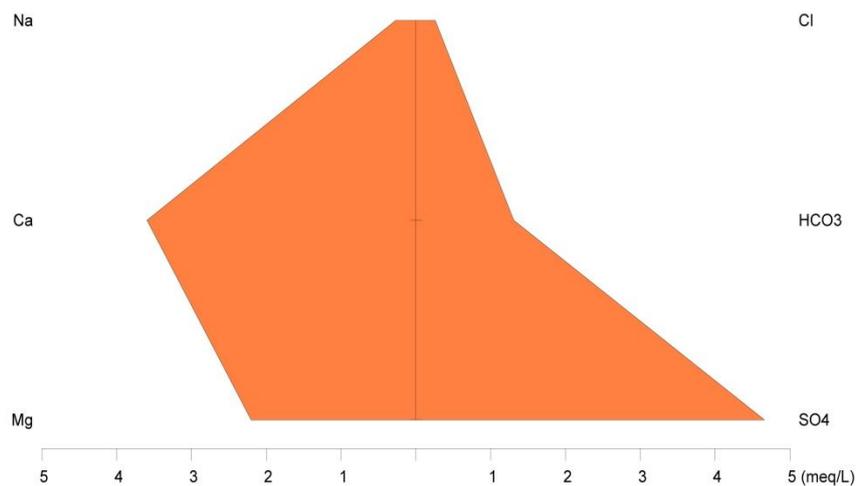


Figura 2. 2 Modelo de diagrama de Stiff

Fuente: Flores A., Melendres A.

2.4.2.2 Diagramas de columnas verticales logarítmicas de Schoeller-Berkaloff

Se grafican varias semirrectas verticales paralelas igualmente separadas. A cada semirrecta se le asigna un catión o un anión y se representa a partir de un origen. Los

diferentes puntos obtenidos se unen dando lugar a una línea recta que corresponde al perfil de la muestra. Las comparaciones entre observaciones se realizan comparando los perfiles. El más utilizado es el diagrama de Schoeller-Berkaloff que se caracteriza por presentar escala logarítmica en cada uno de los ejes, todas del mismo módulo. Se emplean concentraciones absolutas en meq/l y todas las columnas tienen las potencias de 10 en la misma horizontal. Es especialmente útil en la demostración de diferencias hidroquímicas entre tipos de aguas en un mismo diagrama y evoluciones temporales en aguas en un mismo punto. [3]

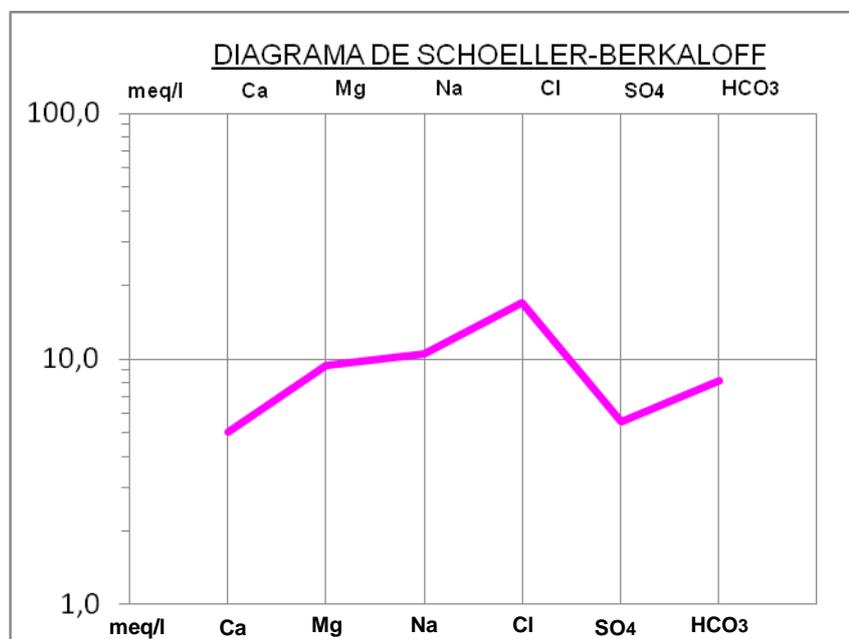


Figura 2. 3 Modelo de diagrama de Schoeller-Berkaloff
Fuente: Flores A., Melendres A.

2.5 Estándares Internacionales proporcionados por la Organización Internacional de Energía Atómica.

La OIEA con el fin de estudiar el recorrido de las moléculas de aguas a través del ciclo hidrológico ha elaborado estándares para su comparación en laboratorio.

Los primeros estándares elaborados fueron SMOW y SLAP, pero con el pasar del tiempo, estos se han agotado por lo que fue necesario elaborar nuevos, estos son VSMOW2 y SLAP2, el valor de los cuales los detallamos a continuación:

Tabla IV. Valores para los estándares de la OIEA

Estándares OIEA	$\delta^2\text{H}$ Valores Reportados	$\delta^{18}\text{O}$ Valores Reportados
VSMOW2	0.0	0.00
GISP	-189.5	-24.76
SLAP2	-427.5	-55.50

Fuente: Flores A., Melendres A.

2.5.1 VSMOW2 (Vienna Standard Mean Ocean Water 2)

Es un estándar internacional de medición para el análisis de isótopos estables. Este material se preparó en el Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA en 2006 para reemplazar el VSMOW agotado. VSMOW2 se mezcló cuidadosamente calibrando muestras de aguas destiladas de agua naturales con el fin de

obtener una composición isotópica estable lo más similar posible a la de la VSMOW original.

Cinco laboratorios seleccionados proporcionaron mediciones de calibración en comparación directa con VSMOW. Todos los valores de δ se siguen denunciando en la escala VSMOW / SLAP, utilizando VSMOW2 y SLAP2 como materiales de calibración con los valores asignados de isótopos estables de referencia. (Tabla 2.1)

2.5.2 SLAP2 (Standard Light Antarctic Precipitation 2)

Al igual que el estándar VSMOW2 es un estándar internacional de medición para el análisis de isótopos estables preparado el agua en el Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA en 2006 para reemplazar el material de SLAP agotado. SLAP2 se elaboró mezclando cuidadosamente muestras de agua naturales procedentes de la Antártida con el fin de obtener una composición de isótopos estables lo más similar posible a la SLAP original. Tres laboratorios seleccionados proporcionan mediciones de calibración en comparación directa con SLAP. Los valores de SLAP2 se muestran en la tabla (2.1). [4]

2.5.3 GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation)

Este estándar fue preparado por Willi Dansgaard de la Universidad de Copenhague, a partir de una muestra de la nieve de Groenlandia.

Se evaluaron estadísticamente los resultados de los datos de tres laboratorios para la elaboración de este estándar. GISP se destina para el control de la calibración exitosa de estándares de laboratorio internos, para que sean usados en vez de VSMOW2 y SLAP2. (Tabla 2.1)[5]

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

En este capítulo se describirá geográfica, geológica, hidrográfica y climatológicamente cada uno de los lugares muestreados tanto para la elaboración de patrones como para el caso de estudio. Para la descripción climatológica se tomó como referencia datos de estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de interés, obteniendo así las estaciones Cañar, Babahoyo, Gral. Villamil Playas y Manglaralto.

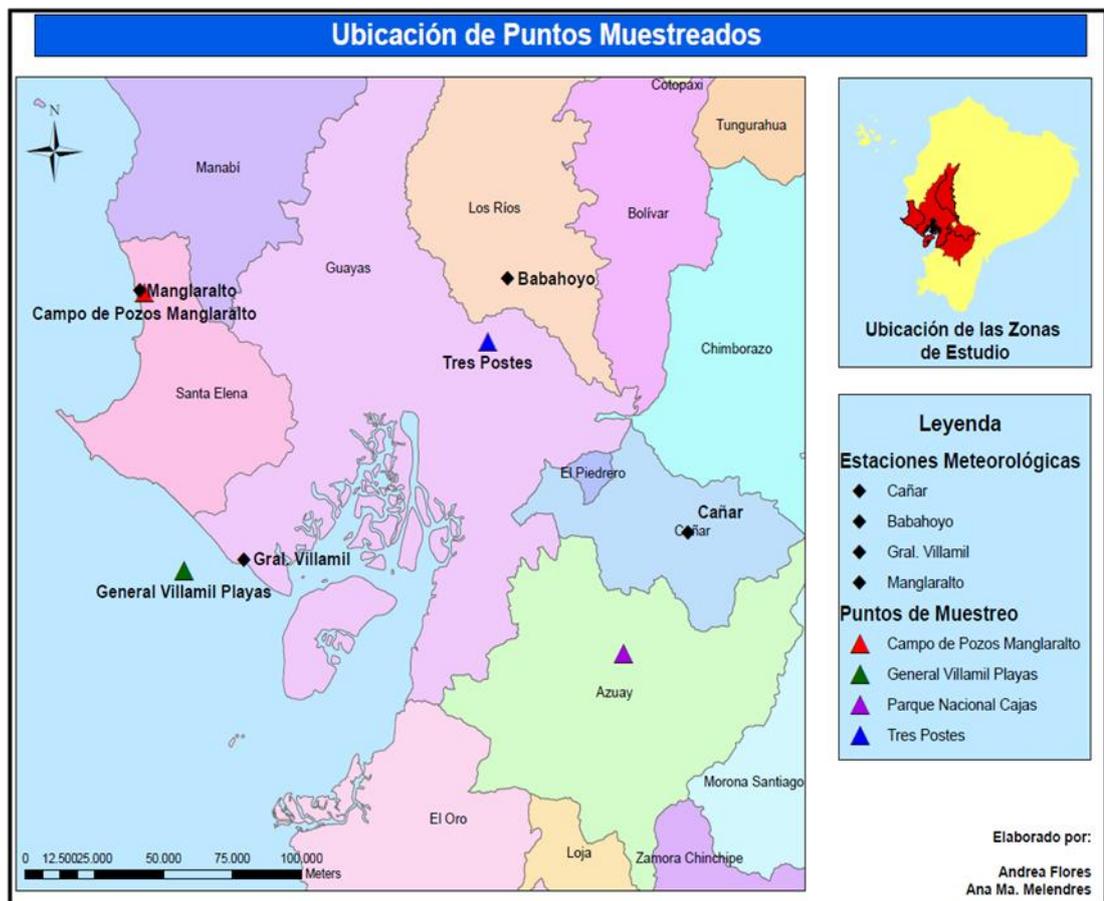


Figura 3. 1 Ubicación de puntos muestreados y estaciones climatológicas

3.1 Puntos muestreados para determinación de patrones

3.1.1 Tres Postes

3.1.1.1 Marco geográfico

El recinto Tres Postes se encuentra en el cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan), ubicado al noreste de la provincia del Guayas. Su territorio cuenta con topografía poco accidentada, y elevaciones entre 0 a 9 m.s.n.m.

3.1.1.2 Marco Geológico

El noroeste de la provincia del Guayas se caracteriza por tener una llanura Aluvial Cuaternario (Holoceno) donde dominan sedimentos del cuaternario y terrenos superficiales del reciente, que por las características litológicas de los materiales pueden erosionarse fácilmente y más aún cuando hay presencia de precipitaciones.

3.1.1.3 Hidrología

El cantón cuenta con ríos y esteros, entre los cuales tenemos a los ríos Los Amarillos, Chilintomo y Jujan; y los esteros Ñauza, Semibofe, El Congo, Convento, Carrizal, Dos Bocas, Boca de Cadi, Chijo y Angélica.

Alfredo Baquerizo Moreno tiene diversas fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano en donde los ríos y acuíferos juegan un papel fundamental, siendo estos últimos la principal fuente para la zona rural; tal como se listan a continuación:

Tabla V. Porcentajes del abastecimiento de agua en cantón Alfredo Baquerizo Moreno

	URBANA	RURAL
Red pública	84%	4%
Pozo	12%	67%
Río o vertiente	2%	26%
Carro repartidor	0%	1%
Otras	2%	2%

Fuente: Informe de Municipio de Jujan, 2006

3.1.1.4 Climatología

Considerando la altura sobre el nivel del mar y la región en la que se localiza el cantón Alfredo Baquerizo Moreno, y por lo tanto el recinto Tres Postes, posee un régimen climático semihúmedo de tipo tropical y fresco denominado megatérmico, teniendo dos estaciones climáticas muy bien definidas.

La estación climatológica más cercana a Tres Postes es la del cantón Babahoyo (663141,9801318), la cual posee el mismo nombre que el cantón, está localizada a 7 m.s.n.m., con código M051 y registra datos entre los años 1980 y 2010.

Según los datos registrados en la estación meteorológica Babahoyo del INAMHI (Instituto nacional de Meteorología e Hidrología), la temperatura media anual ronda los 25.58°C, teniendo como temperatura mínima media 21.9°C y como máxima media 29.9°C. Con los datos de temperatura media se elaboró un gráfico en donde se puede apreciar que entre los meses de diciembre a mayo (época lluviosa) se registran valores altos, siendo marzo y abril los meses de más altas temperaturas, mientras que los meses restantes se observa una notable disminución de la temperatura, correspondiéndole a agosto el de menor temperatura. (Gráfico 3.1)

Con los datos utilizados anteriormente también se elaboró una gráfica anual, en donde se registró datos desde el año 1980 al 2010, y podemos visualizar que el año 1997 se detectaron las más altas temperaturas, y las más bajas en 1989. (Gráfico 3.2)

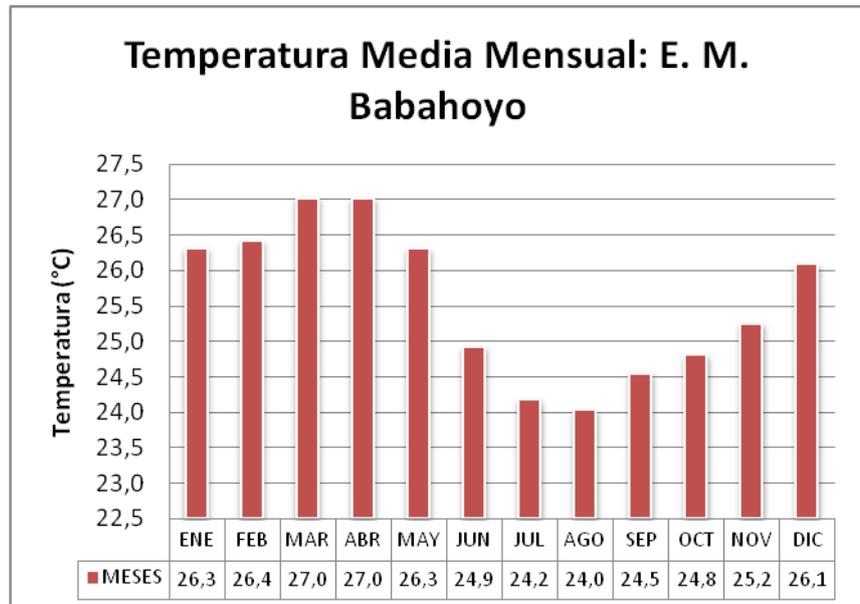


Gráfico 3. 1 Promedio histórico de temperatura media mensual: estación meteorológica Babahoyo
Fuente: INAMHI

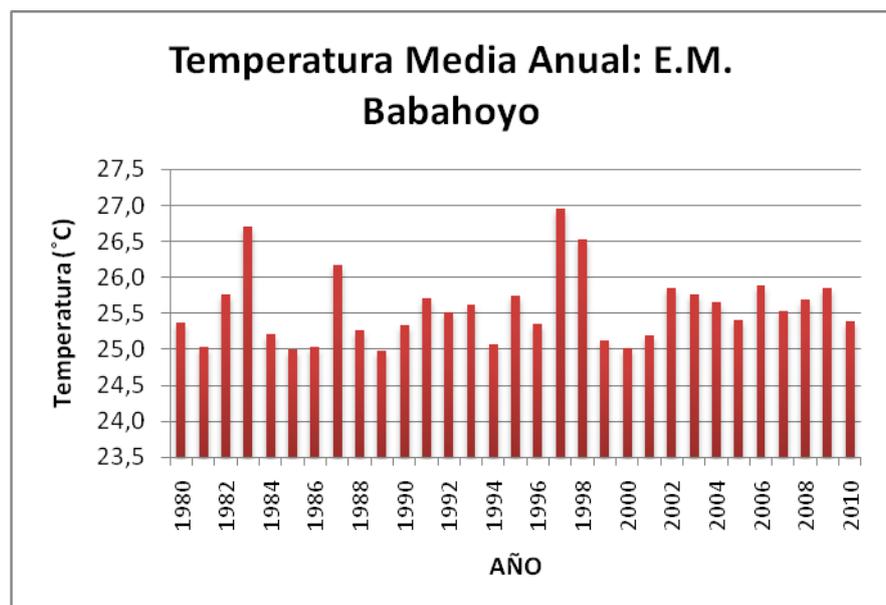


Gráfico 3. 2 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Babahoyo
Fuente: INAMHI

En base a los datos de pluviosidad, se registra un promedio anual de 2146 mm., considerando los meses con mayor precipitación los comprendidos entre enero y abril, entre los cuales febrero es el que registra mayor valor, mientras que el resto de los meses se registran también precipitaciones pero en bajas cantidades (gráfico 3.3); y el año 1983 como el de mayor pluviosidad (gráfico 3.4).

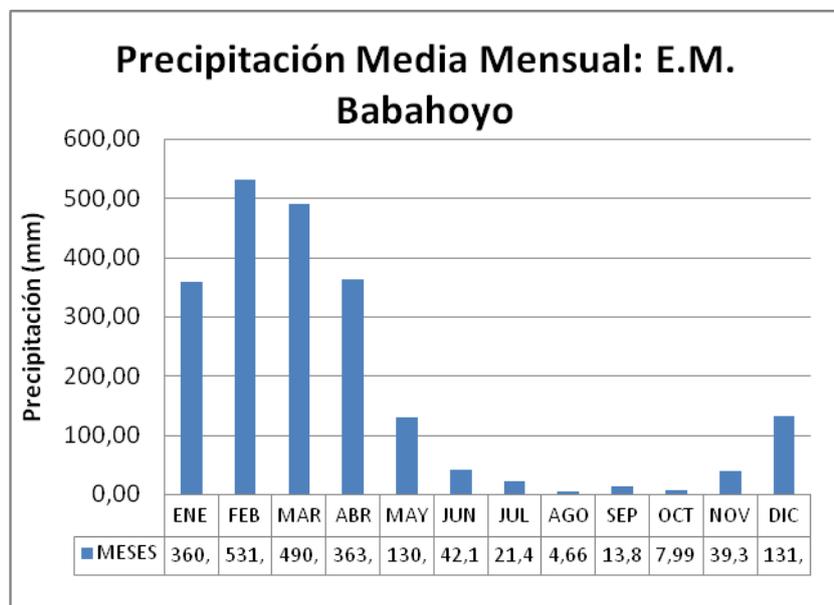


Gráfico 3. 3 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Babahoyo

Fuente: INAMHI

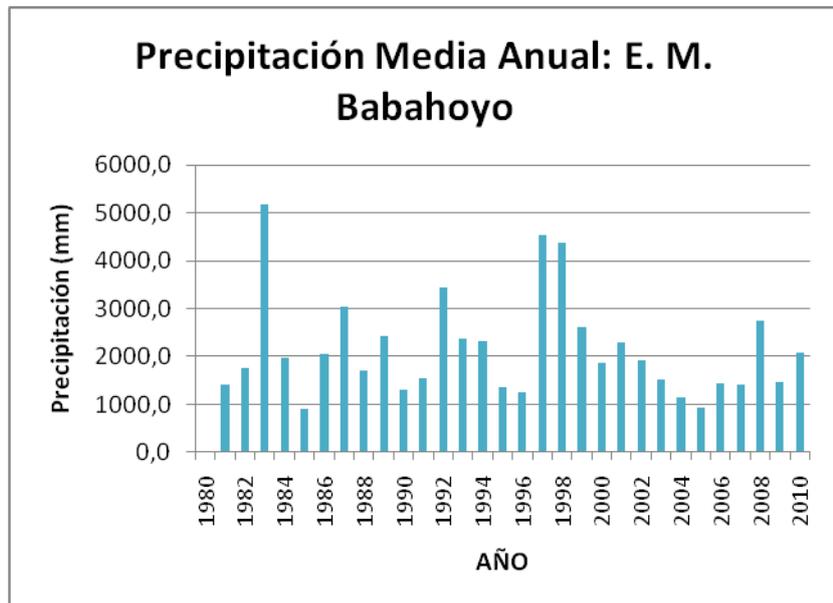


Gráfico 3. 4 Promedio histórico de precipitación media anual: estación meteorológica Babahoyo
Fuente: INAMHI

3.1.2 General Villamil Playas

3.1.2.1 Marco Geográfico

La ciudad General Villamil Playas es una ciudad de la Provincia del Guayas, es cabecera cantonal del cantón General Villamil ubicada a Orillas del Océano Pacífico a 3 m.s.n.m., está situado al sudoeste del país a 97 Km de la Ciudad de Guayaquil y a 20 km. del estuario del Río Guayas.

3.1.2.2 Marco Geológico

La geología del sur oeste de la costa ecuatoriana se caracteriza por la presencia de fallamientos gravitacionales y fenómenos de deslizamiento. Ubicada en la sección sur, el horst Azúcar-Playas, con rumbo NNW-SSE, está constituido por depósitos de pie de monte, seguidos de depósitos pleistocénicos (Tablazos) que descienden con una pendiente uniforme (1.5%) hasta la costa.

Su terreno es plano hacia el perfil costanero y muy sinuoso en la parte noroeste, en esta zona se levantan cerros de poca altura de 50 a 100 metros. [6]

3.1.2.3 Hidrología

Los principales ríos son: Río de Arena, Moñones y Tambiche que en su mayoría pertenecen secos durante el verano y en la época de invierno el agua que baja de las montañas se acumula donde ya existe agua de mar evitando el flujo normal del río, esto durante mareas altas y aguajes. Existen excavaciones poco profundas que son utilizadas para consumo del ganado.

3.1.2.4 Climatología

General Villamil Playas se encuentra en la región Sub-desértica tropical, donde convergen la corriente El Niño y la corriente fría de Humboldt cuya influencia origina un clima agradable por lo cual es considerado como el lugar que posee el segundo mejor clima del mundo según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 1982).

Los datos climatológicos presentados provienen de la estación agrometeorológica de General Villamil Playas (566573,9709503) que lleva el mismo nombre y tiene el código M173, con una elevación de 30 m.s.n.m.

Las temperaturas registradas por esta estación comprenden los años de 1982 al 2008, teniendo 19.35°C como temperatura mínima media y 28.78°C temperatura máxima media. Cabe indicar que durante el periodo de invierno comprendido entre los meses de enero a mayo se registran las mayores temperaturas en la zona de estudio considerándolo a marzo con un valor máximo y septiembre con valor mínimo. Esto se lo visualizar en los gráficos 3.5 y

General Villamil Playas se ve influenciado por el paso de las corrientes El Niño y Humboldt y la convergencia de estas aguas en diferentes estaciones del año dan origen a los periodos seco y lluvioso.

A partir de los datos de la estación meteorológica se determinó que el periodo “lluvioso” fluctúa entre los meses de enero a mayo, registrando el valor más alto en marzo, mientras que en periodo “seco” la presencia de precipitaciones es casi nula (Gráfico 3.7), y el año 1992 como el que registró mayores precipitaciones (Gráfico 3.8).

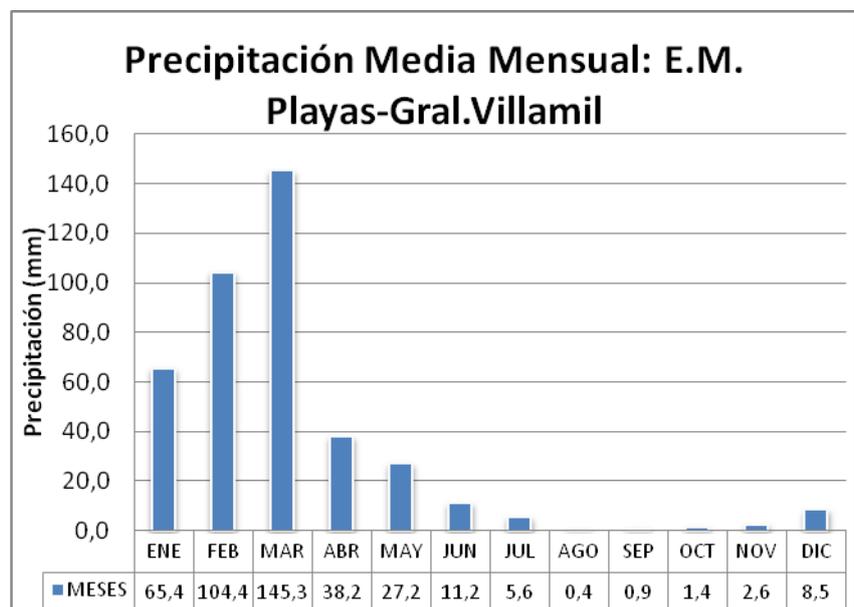


Gráfico 3. 7 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil
Fuente: INAMHI

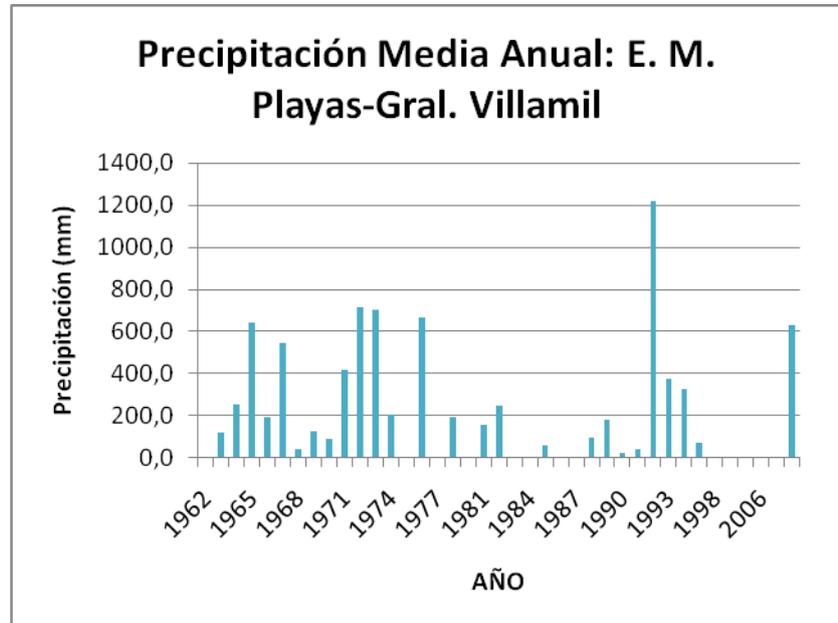


Gráfico 3. 8 Promedio histórico de precipitación media anual: estación meteorológica Playas-Gral. Villamil
Fuente: INAMHI

3.1.3 Parque Nacional El Cajas

3.1.3.1 Marco Geográfico

El Parque Nacional Cajas, constituido por bosque Pluvial Sub-Alpino conocido comúnmente como Páramo, está ubicado sobre la cordillera occidental de Los Andes en la provincia del Azuay, al occidente de la ciudad de Cuenca. Se extiende sobre una superficie de 28.800 Ha formados por grandes elevaciones que guardan en su interior, a manera de enormes cajas interconectadas, más de 230 lagunas, las mismas que regulan y conservan riachuelos

de la zona a través de su drenaje y dan origen a ríos como el Tomebamba, Mazán, Yanuncay y Migûir.

Se encuentra entre los 3.000 y 4.500 metros sobre el nivel del mar, teniendo como el pico más alto al Cerro Arquitectos, sin embargo no se encuentra cubierto de nieve debido a su cercanía a la línea ecuatorial.

3.1.3.2 Marco Geológico

Ubicado en la zona de Páramo Andino en la Cordillera de Los Andes, el Parque Nacional Cajas estuvo ocupado por glaciares durante la época del Pleistoceno medio y superior (Coltiri y Ollier, 2000) que dejaron formaciones características que se pueden apreciar y que dieron origen a la forma de “U” en los distintos valles formados y a su vez la creación lagunas de forma escalonada conectadas entre sí.

En el Cajas la característica de los suelos es predominantemente de origen volcánico de edad creática y pleistocénica, representativo de los periodos Mesozoico y Cuaternario, teniendo gran acumulación de materia orgánica y avistamientos rocosos superficiales.

3.1.3.3 Hidrología

El Parque Nacional Cajas se encuentra configurado por las cabeceras de las cuencas hidrográficas de los Ríos Cañar, Balao y Paute, desembocando las dos primeras al océano Pacífico y la última al océano Atlántico; por lo que es conocido como fuente de agua.

Estas cuencas están configuradas en 12 micro cuencas y 3 micro cuencas falsas (incompletas) (Tabla 3.2)

Es una fuente importante de recursos hídricos durante todo el año, ya que de él nacen principales afluentes de los Ríos Tomebamba o Matadero, Mazán, Yanuncay y Migüir, que junto con las lagunas proporcionan el 60% del agua que es consumida por los habitantes de la ciudad de Cuenca.

Tabla VI. Rasgos fisiográficos de las microcuencas del Parque Nacional Cajas

Cuenca	Área por cuenca (ha)	Nº lagunas	Lagunas (ha)	Lagunas (% Área)
R. Angas	1671,248	34	78,93	4,7
Q. del Jerez	1836,797	18	24,57	1,3
Q. del Atugyacu	1391,16	21	52,38	3,8
R. Luspa	2107,348	42	159,43	7,6
R. Soldados	4337,329	61	224,04	5,2
R. Matadero	2122,321	48	101,85	4,8
R. Llaviuco	4846,383	49	196,14	4,0
R. El Chorro	381,803	5	22,01	5,8
Q. Canoas	307,877	4	13,02	4,2
R. Guafesay	1578,791	40	117,50	7,4
R. Mazán	4912,497	27	131,66	2,7
R. Ishcayrumi	1700,219	33	59,11	3,5
Microcuenca Falsa 1	818,564	11	12,93	1,6
Microcuenca Falsa 2	219,438	5	1,47	0,7
Microcuenca Falsa 3	350,451	13	5,05	1,4

Fuente: Expediente para la inscripción del Parque Nacional Cajas y los tramos transversales del QhapaqÑan en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO

3.1.3.4 Climatología

El clima en el Parque Nacional Cajas no es regular, presentando frecuentes heladas, neblinas, lloviznas y días en los que hay intenso sol. Esto debido a que se mezclan aires húmedos provenientes de la costa con aires fríos que ascienden del oriente y con el aire seco que proviene de la Corriente del Niño.

En su ubicación no existe estación meteorológica, sin embargo por medio de las coordenadas del punto de

muestreo, pudimos considerar los datos registrados por la estación Cañar (728463,9717749) como los más aproximados, teniendo una altitud de 3083 m.s.n.m., es una estación de tipo climatológica principal (CP) con código M031, por lo que dispusimos de datos de temperatura y pluviosidad.

Entre los años 1960 a 2010, las temperaturas registradas en la zona de estudio varían de tal manera que se registró una mínima promedio de 3,8°C y una máxima promedio de 19,5°C, y una temperatura media mensual de 11,4°C, en donde se ubica al mes de mayo como el de mayor temperatura y julio como el de menor. (Gráfico 3.9)

En el Gráfico 3.10 podemos observar que el año que tuvo la temperatura media más alta fue en el año 2003, con un valor de 12,8°C y la más baja, de 9,9°C, se registró el año 1985.

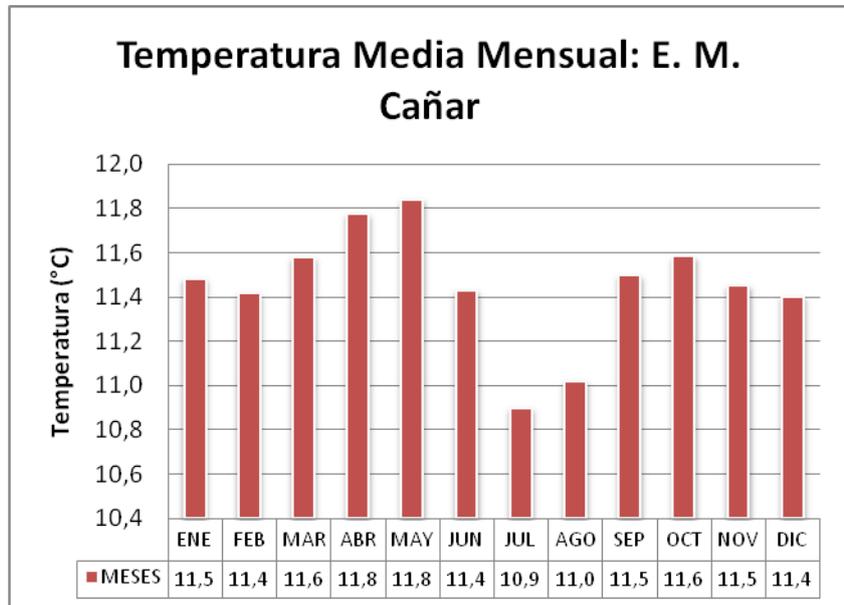


Gráfico 3. 9 Promedio histórico de temperatura media mensual: estación meteorológica Cañar
Fuente: INAMHI

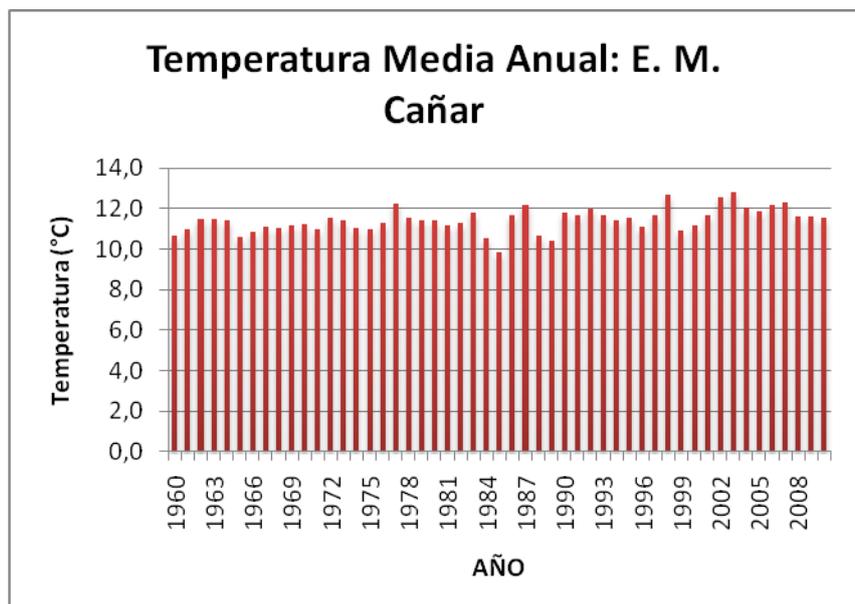


Gráfico 3. 10 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Cañar
Fuente: INAMHI

En el Parque Nacional Cajas se tiene una precipitación media anual a 1072 mm., con un valor mínimo de 829 mm. y un máximo de 1343 mm., correspondientes a los años 1965 – 1990.⁴ Mientras que los datos de la estación meteorológica mostró que la precipitación anual registrada fue de 469,8mm, refiriéndonos al mes de agosto como el que mantuvo menor cantidad de precipitación con 17,2 mm.; al mes de marzo como el de mayor, con 70 mm.; y el año 1963, con la mayor precipitación con 840,6 mm. (Gráfico 3.11 y 3.12)

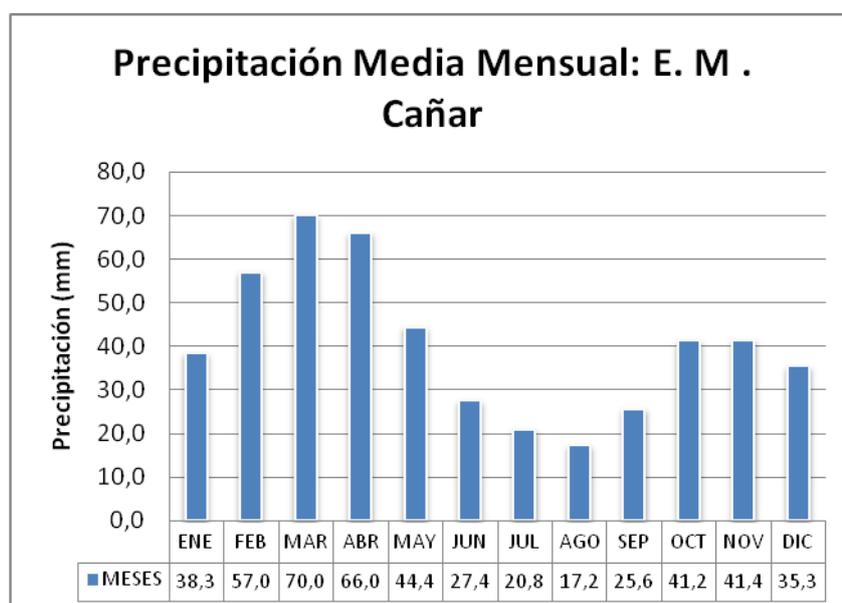
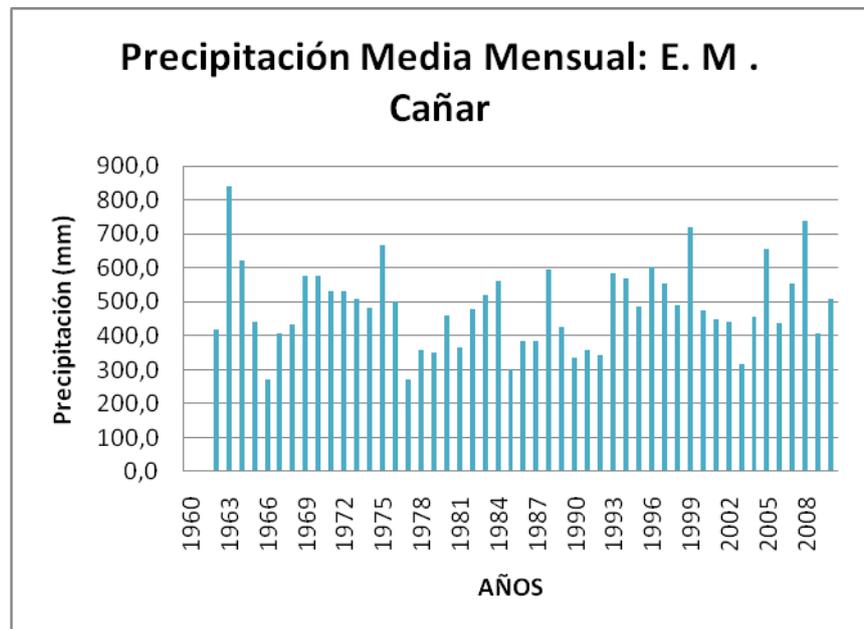


Gráfico 3. 11 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Cañar
Fuente: INAMHI

⁴ Expediente para la inscripción del Parque Nacional Cajas y los tramos transversales del QhapaqÑan en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO.



**Gráfico 3. 12 Promedio histórico de precipitación
media anual: estación meteorológica Cañar**

Fuente: INAMHI

3.2 Puntos muestreados para análisis de variación isotópica.

3.2.1 Comuna Manglaralto

3.2.1.1 Marco Geográfico

La Junta de Agua Potable de Manglaralto, se ubica a orillas del mar, al noreste de la provincia de Santa Elena en la Comuna Manglaralto, a 4 kilómetros de Montañita. Tiene una extensión de 3100 metros, sin embargo, el área de estudio cuenta con una extensión de aproximadamente 159.6 km², terreno que abarca la cuenca del río

Manglaralto el cual constituye el principal acuífero para la explotación de agua.

3.2.1.2 Marco Geológico

La litología de las formaciones presentes en el lugar de estudio consiste en: formación Cayo, San Pablo, DebriFlow, Las Delicias, Tosagua y Aluviales, siendo esta última la predominante, en donde podemos encontrar los pozos que están siendo explotados. [7]

Los depósitos aluviales constituyen un importante acuífero del que se abastecen seis poblaciones entre las cuales la Comuna Manglaralto, siendo esta la única fuente de abastecimiento de agua. Las formaciones mencionadas anteriormente se caracterizan por tener areniscas, arenas gruesas y finas, y arcillas. Según sondeos eléctricos en el campo de pozos, la litología comprende capas de arena con espesor de 27,5 m. y otra de grava de 2,5 m. de espesor.

3.2.1.3 Hidrología

La cuenca del río Manglaralto está limitada al norte por la cuenca del Río Olón y al sur por el Río Atravesado. El Río

Manglaralto es de régimen casi permanente, recibe una serie de afluentes como el Río Culebra, Río de las Pajisas y Río Colin, nace en la Cordillera de Chongón-Colonche a 700 m.s.n.m., y se divide en dos, cuenca alta y cuenca baja, siendo la cuenca alta la que proporciona la mayor cantidad de agua al sistema fluvial ya que posee una espesa vegetación y alto contenido de humedad.

La Junta de Agua Regional Manglaralto se ha visto en la necesidad de explotar agua subterránea ya que por el clima árido de la zona y el importante desarrollo agrícola y turístico se ha presentado una escasez de agua superficial.

Cuenta con 8 pozos de los cuales se encuentran en funcionamiento 7 porque el Pozo 1 no cuenta con el equipamiento necesario para la explotación.

3.2.1.4 Climatología

Ubicada en la zona costera del Ecuador, Manglaralto cuenta con un clima seco y fresco, seco debido a que se localiza en una zona tropical húmeda-seca (según Koppen) y fresco ya que está influenciado por las corrientes oceánicas que convergen en la zona. Sin embargo, ni INAMHI ni el SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua,

quien está a cargo del manejo de la estación) cuenta con valores de las temperaturas ya que sólo cuenta con una estación climatológica pluviométrica que registra datos desde 1962.

La estación meteorológica que lleva el nombre de Manglaralto, cuyo código es M619, se localiza en las coordenadas 529164 y 9796867, y está a 6 metros sobre el nivel del mar.

Con respecto al parámetro temperatura se recurrió a material bibliográfico en donde se obtuvo que la temperatura media anual se encuentre entre los 23,1°C, teniendo como mínima 17°C entre los meses de verano (junio a diciembre) y una máxima de 29°C durante los meses de invierno (enero a mayo).

Localizándose en una zona árida, la Comuna Manglaralto posee un clima húmedo, presentando un promedio de 43,1 mm. de precipitación tomando datos desde 1962 hasta la actualidad, a excepción de los años 1962, 1969, 1970, 1971, 1972 y 1976 años en los que no se registraron todos los datos y por ende no han sido tomados en cuenta.

Todo el año se tiene presencia de precipitaciones, sin embargo entre los meses de febrero y marzo, correspondientes al invierno se registran los mayores valores; y en el mes de septiembre se registra el menor valor. (Gráfico 3.13) Y el año con mayor valor de precipitación fue 1997, año en el que se presentó el fenómeno del niño. (Gráfico 3.14)

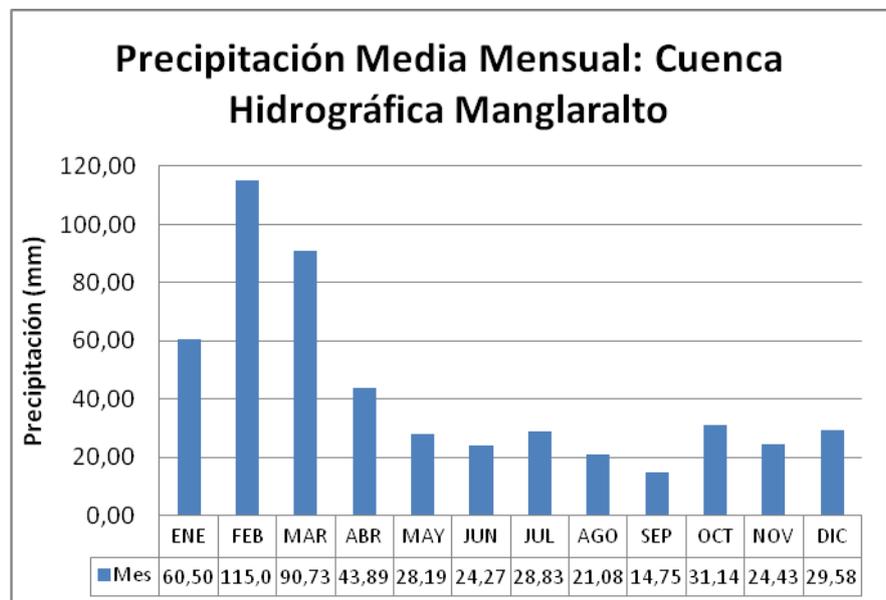


Gráfico 3. 13 Promedio histórico de precipitación media mensual: estación meteorológica Manglaralto
Fuente: INAMHI

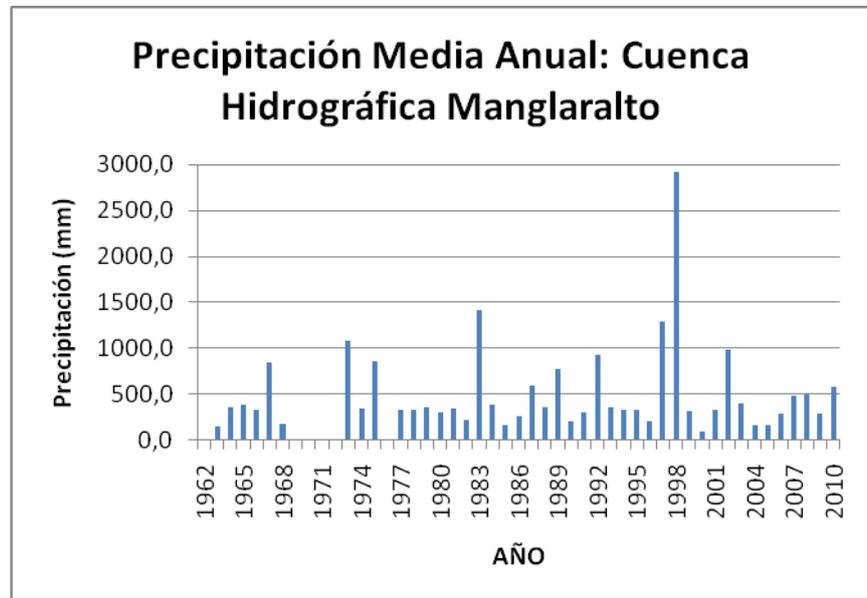


Gráfico 3. 14 Promedio histórico de temperatura media anual: estación meteorológica Cañar
Fuente: INAMHI

CAPÍTULO 4. DESARROLLO METODOLÓGICO

4.1 Metodología de Campo

4.1.1 Determinación de patrones

4.1.1.1 Muestreo y Almacenamiento

El muestreo se realizó en los sitios de localización de aguas tipo HEAVY, LIGHT y CONTROL anteriormente descritas, estas muestras fueron recolectadas en canecas de 25 litros.

En la etapa de muestreo y almacenamiento es importante evitar el fraccionamiento isotópico del agua por evaporación, pérdidas efusivas del vapor de agua, y/o el intercambio isotópico con el ambiente o los alrededores ya que estos factores alterarían el contenido de Deuterio y Oxígeno-18. Para garantizar la calidad del muestreo se siguió el procedimiento detallado en las prácticas generales de campo, que se especifican a continuación.

4.1.1.2 Prácticas de campos generales

Para el muestreo de aguas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- i) Preparar de documentos de campo como son: cartografías, manuales de uso y calibración de equipos.
- ii) Utilizar siempre una libreta de campo para anotar las observaciones y escribir los datos que se recojan.
- iii) Determinar coordenadas geográficas de los puntos de muestreo mediante GPS (Global Positioning Systems, sistemas de posicionamiento global).
- iv) Medir la altitud, la profundidad del nivel freático y el estado del pozo para agua subterránea, condiciones de pluviómetro, caudales y presiones atmosféricas.
- v) Registrar parámetros inestables como pH, temperatura, conductividad, salinidad y Sólidos totales disueltos para la posterior interpretación.
- vi) Etiquetar y referenciar las botellas con etiquetas adhesivas y resistentes al agua. Rotularlas con el código del proyecto, la localización, la fecha, el número de la muestra y el nombre del recolector.
- vii) Antes de recoger la muestra se lavaron las botellas 2 o 3 veces con el agua de la captación.
- viii) Llenar las botellas de muestreo completamente, previa adición de los conservadores necesarios procurando

no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre ni presencia de burbujas, siempre y cuando el agua no vaya a ser sometida a congelación durante transporte.

4.1.1.3 Agua Superficial

La muestra de agua superficial correspondiente a la laguna de El Cajas, se tomó en la zona central de la misma, para evitar contaminación que usualmente se encuentra en la orilla.

La muestra de agua de mar se tomó mar adentro para evitar la contaminación ocasionada por la actividad humana o embarcaciones.

Se debe tener cuidado cuando se tome muestras en una zona de confluencia ya que esta puede tener composiciones isotópicas variables consecuencia de la mezcla de agua fluviales.

4.1.1.4 Agua Subterránea

Para el muestreo de pozos subterráneos se debe purgar el pozo hasta aproximadamente dos veces su volumen, o hasta alcanzar condiciones químicas estacionarias

durante, con el fin eliminar aguas retenidas en las tuberías.

4.1.1.5 Envases para muestreo

Los envases que se utilizaron para recolectar las muestras para determinación de patrones fueron canecas de 25 litros, de polietileno de alta densidad cerradas herméticamente para evitar que la muestra se evapore.

4.1.2 Caso de estudio: Acuífero de la Comuna Manglaralto

4.1.2.1 Envases para el muestreo

Los envases que se utilizaron debieron cumplir con ciertas especificaciones que no permitan la variación del contenido isotópico en las muestras. Por consiguiente se emplearon envases no reutilizados de polietileno de alta densidad con cierres (tapón) herméticos de material similar al de la botella.

Dependiendo del análisis a realizar se seleccionó la capacidad de los envases, para la determinación de iones mayoritarios se utilizaron envases de 1 litro mientras que para análisis de isótopos estables de 0.03 litros (30 mL) con sus respectivos tapones.

4.1.2.2 Prácticas de campos generales

Se tuvieron las mismas consideraciones que para el muestreo de agua y almacenamiento para la determinación de patrones.

4.1.2.3 Toma de muestras

Para la caracterización isotópica del acuífero Manglaralto se realizaron dos campañas de muestreo, con un total de 26 muestras, se tomaron dos muestras por cada pozo. La primera campaña se realizó el 6 de diciembre del 2011, considerada como época seca por la baja presencia de lluvias, mientras la segunda campaña se efectuó el 17 de enero del 2012, considerándola como temporada lluviosa.

A continuación se detalla la ubicación y características principales de los pozos muestreados (Tabla 4.1)

Tabla VII. Inventario de pozos de Manglaralto

Inventario de Pozos JAAPR Manglaralto					
Pozo No.	Profundidad (metros)	Ubicación		Cota (metros)	Tipo de excavación
		Coordenada X	Coordenada Y		
2	29	529218	9797010	17	Perforado
3	22	529422	9796715	16	Perforado
4	33	529501	9796637	16	Perforado
5	35	529792	9796738	22	Perforado
6	30	529810	9796891	17	Perforado
7	28	530410	9796958	24	Perforado
8	30	530844	9796735	29	Perforado

Fuente: Junta Administradora de agua potable regional Manglaralto

En la primera campaña de muestreo se recolectó un total de 14 muestras, correspondientes a los 7 pozos de la JARM que se encontraban en funcionamiento, en la segunda campaña se muestrearon los mismos puntos a excepción del pozo 5 debido a que se encontraba en fase de clausura por colapso de estructura, por lo que se recolectó un total de 12 muestras.



Figura 4. 1 Toma de muestras de la primera campaña

Paralelamente a la toma de muestras se realizó el análisis de temperatura, pH, conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos (también llamados parámetros inestables) porque la composición de los mismos puede variar después de almacenada la muestra.



Figura 4. 2 Toma de muestras en la segunda campaña

El equipo utilizado para la medición de parámetros inestables fue la ***multiparamétrica MULTI 3500i WTW*** (Figura 4.3). Este equipo consta con una sonda con electrodos para medición de pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, densidad, sólidos totales disueltos y temperatura.

En las tablas 4.2 a 4.14 se presentan los valores de parámetros extraídos de las hojas de campo (anexo 1) utilizadas para el levantamiento de la información al momento del muestreo.



**Figura 4. 3 Multiparamétrica
MULTI 3500i**

**Tabla VIII. Datos de parámetros inestables del pozo
2. Campaña 1**

Punto de Muestreo	Pozo 2	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,137	-	
Temperatura	26,7	°C	
Sólidos Totales Disueltos	2100	mg/L	
Conductividad Eléctrica	2100	us/cm	
Salinidad	1,1	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

**Tabla IX. Datos de parámetros inestables del pozo
2. Campaña 2**

Punto de Muestreo	Pozo 2	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,353	-	
Temperatura	26,3	°C	
Sólidos Totales Disueltos	2790	mg/L	
Conductividad Eléctrica	2790	us/cm	
Salinidad	1,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

**Tabla X. Datos de parámetros inestables del pozo 3.
Campaña 1**

Punto de Muestreo	Pozo 3	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,306	-	
Temperatura	26,5	°C	
Sólidos Totales Disueltos	961	mg/L	
Conductividad Eléctrica	960	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

**Tabla XI. Datos de parámetros inestables del pozo
3. Campaña 2**

Punto de Muestreo	Pozo 3	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,382	-	
Temperatura	26,7	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1013	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1013	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

**Tabla XII. Datos de parámetros inestables del pozo
4. Campaña 1**

Punto de Muestreo	Pozo 4	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,242	-	
Temperatura	26,5	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1871	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1872	us/cm	
Salinidad	0,9	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XIII. Datos de parámetros inestables del pozo 4. Campaña 2

Punto de Muestreo	Pozo 4	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,183	-	
Temperatura	26,5	°C	
Sólidos Totales Disueltos	2130	mg/L	
Conductividad Eléctrica	2130	us/cm	
Salinidad	1,1	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XIV. Datos de parámetros inestables del pozo 5. Campaña 1

Punto de Muestreo	Pozo 5	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,269	-	
Temperatura	27,2	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1202	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1202	us/cm	
Salinidad	0,6	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XV. Datos de parámetros inestables del pozo 6. Campaña 1

Punto de Muestreo	Pozo 6	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,299	-	
Temperatura	25,7	°C	
Sólidos Totales Disueltos	967	mg/L	
Conductividad Eléctrica	967	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XVI. Datos de parámetros inestables del pozo 6. Campaña 2

Punto de Muestreo	Pozo 6	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,585	-	
Temperatura	25,9	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1076	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1076	us/cm	
Salinidad	0,5	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XVII. Datos de parámetros inestables del pozo 7. Campaña 1

Punto de Muestreo	Pozo 7	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,460	-	
Temperatura	26,9	°C	
Sólidos Totales Disueltos	981	mg/L	
Conductividad Eléctrica	981	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XVIII. Datos de parámetros inestables del pozo 7. Campaña 2

Punto de Muestreo	Pozo 7	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,232	-	
Temperatura	26,1	°C	
Sólidos Totales Disueltos	984	mg/L	
Conductividad Eléctrica	984	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XIX. Datos de parámetros inestables del pozo 8. Campaña 1

Punto de Muestreo	Pozo 8	Fecha:	06-12-2011
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,240	-	
Temperatura	27,0	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1080	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1082	us/cm	
Salinidad	0,5	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

Tabla XX. Datos de parámetros inestables del pozo 8. Campaña 2

Punto de Muestreo	Pozo 8	Fecha:	17-01-2012
Elaborado por: Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Parámetros	Valor medido	Unidades	
pH	7,402	-	
Temperatura	26,2	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1017	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1017	us/cm	
Salinidad	0,4	ppm	

Fuente: Flores A., Melendres A.

4.2 Metodología de Laboratorio

Se utilizó el equipo analizador de isótopos de agua LWIA-24d de la empresa Los Gatos Research, que se fundamenta en la espectroscopia láser por absorción. El equipo está conectado a un automuestreador CTC-Pal que toma la muestra con una jeringa de 1.2 μ L y la inyecta en un calentador que está conectado a una línea de transferencia que transporta la muestra al equipo para analizarla internamente. (Figura 4.4)



Figura 4. 4 Equipo láser analizador de isótopos y automuestreador

Para la determinación del contenido isotópico en los patrones locales se utilizaron los estándares internacionales VSMOW2, GISP y SLAP2 (Figura 4.5). Para el análisis de las muestras procedentes de Manglaralto se utilizaron los patrones locales previamente determinados.



Figura 4. 5 Estándares internacionales de la OIEA

La cantidad de muestra requerida para el análisis es de 1 mL, la cual es colocada en viales que deben estar previamente rotulados para su posterior disposición según arreglos establecidos por OIEA.



Figura 4. 6 Viales rotulados con el código de la muestra

4.2.1 Tratamiento de las muestras de agua para determinación de patrones

El analizador de isótopos no requiere tratamiento químico o físico previo al análisis de las muestras, sin embargo tiene límites permisibles para algunos parámetros como son la salinidad y la turbidez.

A la muestra de agua de mar tomada en General Villamil Playas fue necesario realizarle una destilación simple, ya que presentó un contenido salino superior al 4%, que es el máximo permisible, este tratamiento no altera el contenido isotópico de la muestra, pero es útil para reducir este parámetro y conservar la vida útil equipo.

Cuando las muestras presentaron alta turbidez, como en el caso de las tomadas en el recinto Tres Postes, se procedió al filtrado, este procedimiento no altera el contenido isotópico, y es muy importante para garantizar la efectividad en los resultados debido a que por el método de estudio es imprescindible que no exista interferencias que puedan afectar la absorción del láser durante el análisis.

4.2.2 Caso de estudio: Tratamiento para las muestras de agua del acuífero de Manglaralto

Para el caso de las muestras de procedentes de Manglaralto, no fue necesario realizarle tratamientos previos, debido a que no presentaba contenidos salinos por encima del límite permisible para el equipo, ni tampoco turbidez.

4.2.3 Disposición de las muestras para análisis

Para el análisis isotópico se hizo uso de los arreglos establecidos por OIEA, tanto para la determinación de estándares (Figura 4.7), como para la caracterización isotópica del caso de estudio (Figura 4.8)

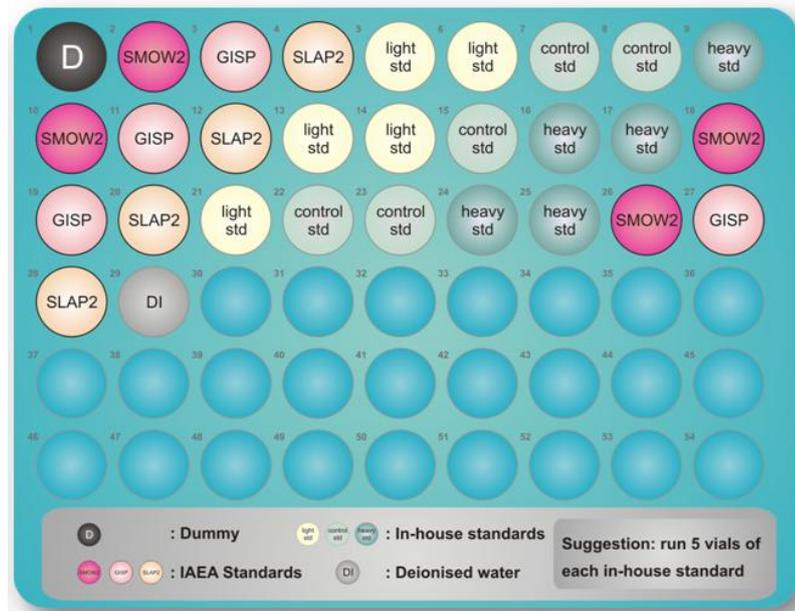


Figura 4. 7 Arreglo establecido por la OIEA para la determinación de patrones locales

Fuente: OIEA

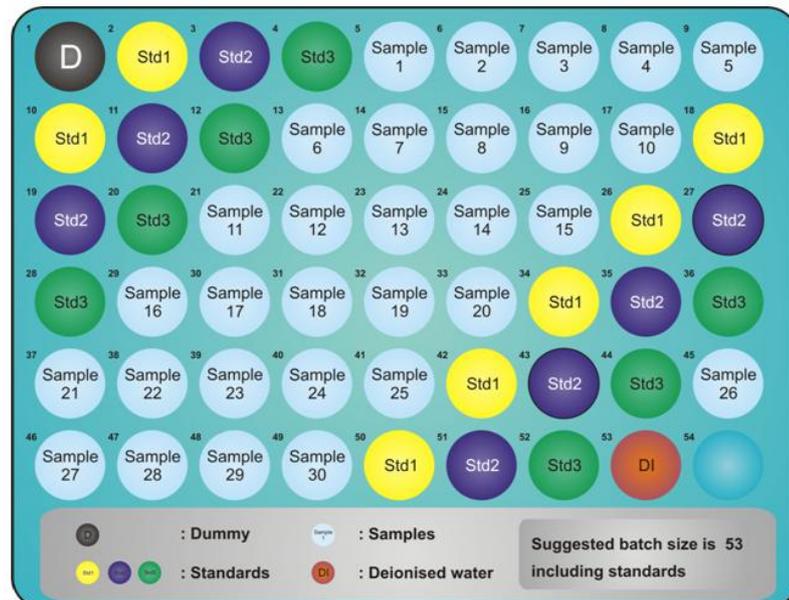


Figura 4. 8 Arreglo establecido por la OIEA para caracterización isotópica

Fuente: OIEA

4.2.4 Proceso de medición

Determinación de patrones locales

Para el análisis de muestras se realizaron alrededor de 2 corridas, con 29 viales cada una y configurado para 20 inyecciones a cada vial, los análisis de estas muestras se realizaron con estándares OIEA.

Se realizó una primera corrida para analizar las muestras tomadas como futuros patrones, los resultados obtenidos fueron descartados debido a la presencia de errores de tipo **PRES**, que se generan por la falta de presión de vacío en las líneas de transferencia durante el proceso de análisis. (Figura 4.8).

	P	Q	R	S	T
	O18/O16	stdO18/O16	delta_D/H	delta_O18/O16	Error_Coc
1					
2	1,99E+02	5,23E-02	-3,05E+06	-5,46E+05	pres
3	2,00E+02	4,32E-02	-2,57E+06	-4,98E+05	pres
4	2,00E+02	6,00E-02	-2,57E+06	-4,97E+05	pres
5	2,00E+02	6,44E-02	-2,48E+06	-4,82E+05	pres
6	2,00E+02	6,11E-02	-2,37E+06	-4,76E+05	pres
7	2,00E+02	4,45E-02	-2,34E+06	-4,60E+05	pres
8	2,00E+02	4,84E-02	-1,09E+06	-2,44E+05	pres
9	2,00E+02	4,70E-02	-1,03E+06	-2,40E+05	pres
10	2,00E+02	4,73E-02	-1,02E+06	-2,11E+05	pres
11	2,00E+02	4,44E-02	-8,45E+05	-2,00E+05	pres
12	2,00E+02	4,21E-02	-9,60E+05	-2,08E+05	pres
13	2,00E+02	5,16E-02	-8,97E+05	-1,98E+05	pres

Figura 4. 9 Error de presión en análisis de patrones

Para eliminar este error se realizó la limpieza de ciertos componentes del equipo, lo que se detalla a continuación:

Limpieza del bloque del automuestreador: se realizó sumergiendo el bloque durante una hora en una solución de ácido fosfórico al 35%.

Limpieza de la línea de transferencia de la muestra, se realizó insertando aire comprimido por ambos lados de la misma.

Limpieza de la aguja, se la realizó succionando agua desionizada para eliminar impurezas y residuos de otras muestras.

Adicionalmente se realizó el cambio de **septa** y se configuró el espectro de absorción, desplazándolo alrededor de 5 GHz., con lo cual se evidenció la presencia de 3 picos que representan la absorción de los isótopos de las moléculas de agua, condición que es necesaria para el correcto funcionamiento del analizador de isótopos. (Figura 4.10)

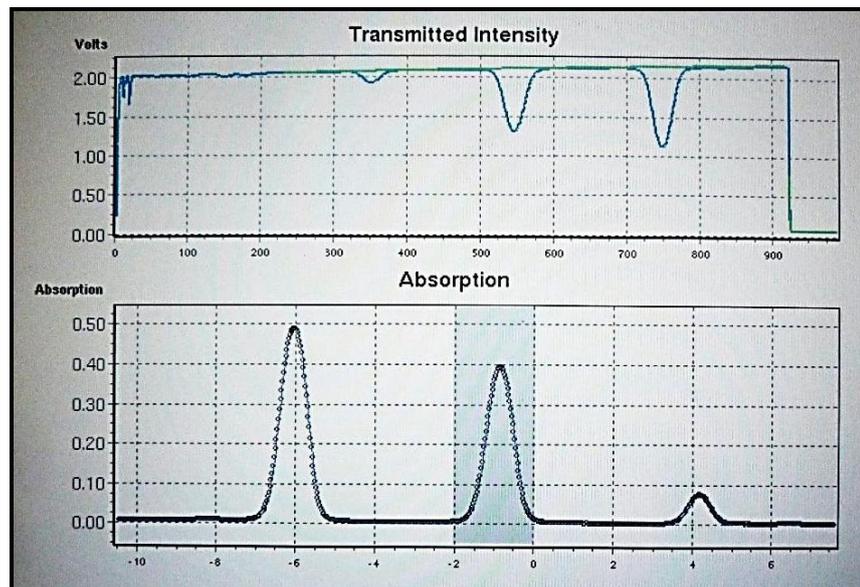


Figura 4. 10 Espectro de absorción con 3 picos

En una segunda corrida de análisis, se registró un nuevo error de tipo **HISO**, generado al no contar con la cantidad de muestra necesaria para detectar el deuterio, esto se debe al poco volumen inyectado o a la mala calibración del espectro. Por lo que se resolvió configurar el volumen de inyección a la capacidad máxima de la aguja que es 1.2 μL .

Finalmente se realizó una nueva limpieza de la línea de transferencia de muestra y de la aguja, se hizo un cambio de septa y se colocó nuevos estándares, al efectuar las corridas posteriores el equipo no generó ningún error en las mediciones ni en la interpretación de los resultados.

Caso de estudio

Para el análisis de muestras tomadas en Manglaralto se realizaron alrededor de 4 corridas, con 29 viales cada una y configurado para 6 inyecciones a cada vial, los análisis de estas muestras se realizaron con estándares OIEA y patrones locales respectivamente.

4.3 Metodología de Interpretación

4.3.1 Determinación de patrones locales

Se procesaron los datos con el simulador para determinación de patrones locales (Figura 4.11).

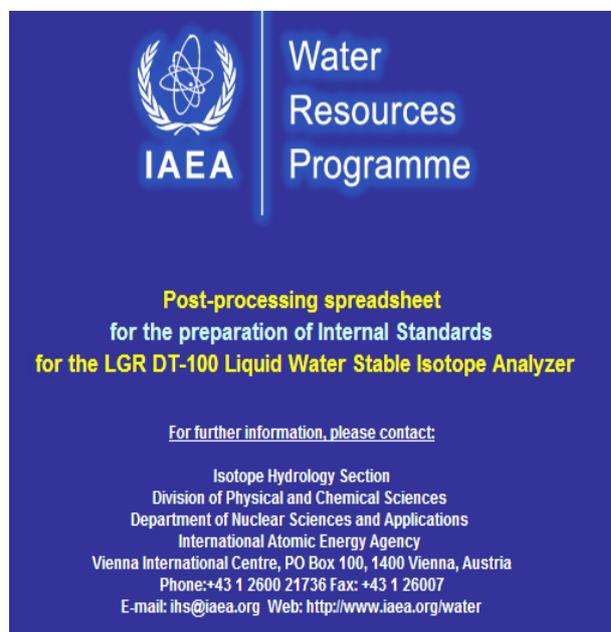
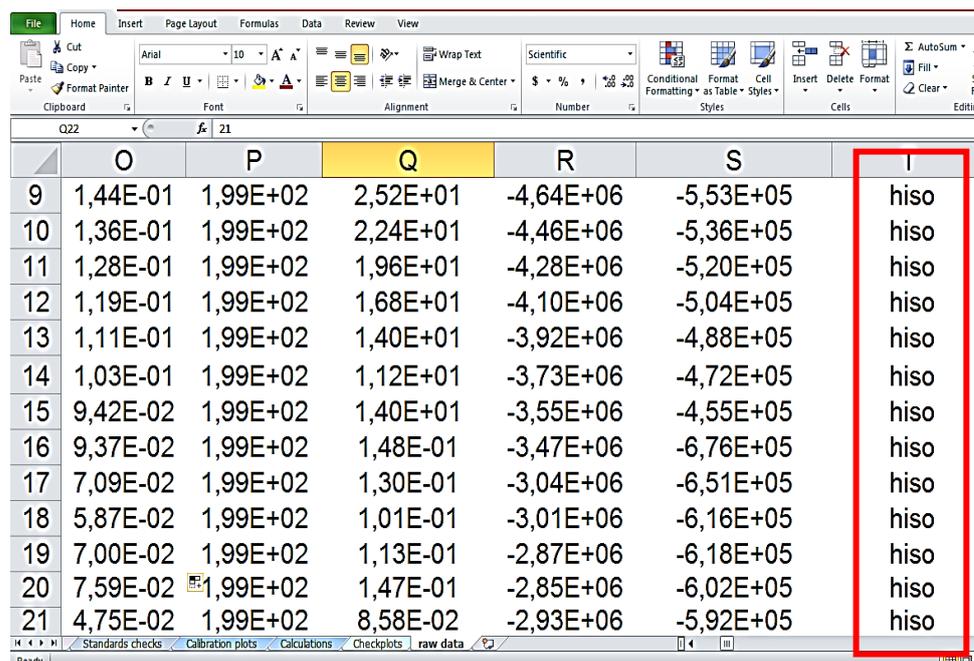


Figura 4. 11 Pantalla principal del simulador para determinación de patrones locales

Con el fin de analizar la afectación que tuvieron los errores generados en los resultados finales, se procedió a interpretar los datos de todas las corridas.

Se procesaron los datos que presentaron error HISO durante el análisis (Figura 4.12), obteniendo como resultado valores del cuadrado del coeficiente de correlación (R^2) superiores a 0,99, lo que indica que los resultados entre las mediciones de los patrones son altamente confiable (Figura 4.13)



	O	P	Q	R	S	T
9	1,44E-01	1,99E+02	2,52E+01	-4,64E+06	-5,53E+05	hiso
10	1,36E-01	1,99E+02	2,24E+01	-4,46E+06	-5,36E+05	hiso
11	1,28E-01	1,99E+02	1,96E+01	-4,28E+06	-5,20E+05	hiso
12	1,19E-01	1,99E+02	1,68E+01	-4,10E+06	-5,04E+05	hiso
13	1,11E-01	1,99E+02	1,40E+01	-3,92E+06	-4,88E+05	hiso
14	1,03E-01	1,99E+02	1,12E+01	-3,73E+06	-4,72E+05	hiso
15	9,42E-02	1,99E+02	1,40E+01	-3,55E+06	-4,55E+05	hiso
16	9,37E-02	1,99E+02	1,48E-01	-3,47E+06	-6,76E+05	hiso
17	7,09E-02	1,99E+02	1,30E-01	-3,04E+06	-6,51E+05	hiso
18	5,87E-02	1,99E+02	1,01E-01	-3,01E+06	-6,16E+05	hiso
19	7,00E-02	1,99E+02	1,13E-01	-2,87E+06	-6,18E+05	hiso
20	7,59E-02	1,99E+02	1,47E-01	-2,85E+06	-6,02E+05	hiso
21	4,75E-02	1,99E+02	8,58E-02	-2,93E+06	-5,92E+05	hiso

Figura 4. 12 Error hiso en los datos extraídos del equipo

	K	L	M	N	O	P
5	0,00	X Variable 1(Slope)	33,1812789233	1		38
6	0,00	R ²	0,9993043424			39
7	0,00					40
8	0,00	Cal1 δ ¹⁸ O (Inj 1-66)		1		75
9	-55,50	Intercept	-1020,5068084418			76
10	-55,50	X Variable 1 (Slope)	5,0951061575			77
11	-55,50	R ²	0,9996812490			78
12	-55,50					79
13	-55,50	Cal2 δ ² H (Inj 67-114)		2		80
14	-55,50	Intercept	1024,5851214024			55
15	0,00	X Variable 1(Slope)	33,0165878529			56
16	0,00	R ²	0,9993921628			57

Figura 4. 13 Valores del cuadrado del coeficiente de correlación

Los contenidos isotópicos de los estándares presentaron valores dentro del rango permisible, ya que para el Deuterio y Oxígeno-18 la desviación generó valores inferiores al 2 ‰ y 0.3 ‰ respectivamente. (Figura 4.14)

Luego de una serie de corridas consecutivas y al comprobar la precisión de los resultados, se determinaron los valores de contenido isotópico para los patrones locales LIGHT, CONTROL y HEAVY, con sus respectivas desviaciones estándar. (Figura 4.15)

F28				
0,42	OK	Std. Deviation	0,23	OK
-186,76	-189,50	2,74	-24,73	-24,78
-186,46	-189,50	3,04	-24,99	-24,78
-186,61	-189,50	2,89	-24,60	-24,78
-186,34	-189,50	3,16	-24,65	-24,78
-186,86	-189,50	2,64	-24,99	-24,78
-185,96	-189,50	3,54	-24,42	-24,78
-187,40	-189,50	2,10	-24,41	-24,78
-186,63	Average		-24.68	
0,45	OK	Std. Deviation	0,24	OK

Figura 4. 14 Valores del cuadrado del coeficiente de correlación

Sample Name	Average $\delta^2\text{H}$ (permil)	$\delta^2\text{H}$ Standard Deviation (permil)	Average $\delta^{18}\text{O}$ (permil)	$\delta^{18}\text{O}$ Standard Deviation (permil)
Light	-72,72	0,30	-10,39	0,08
Light				
Control	-24,01	0,26	-4,66	0,05
Control				
Heavy	-10,26	0,38	-1,75	0,09
Heavy				

Figura 4. 15 Valores de los contenidos isotópicos de las muestras patrones

4.3.2 Análisis de contenido isotópicos de muestras caso de estudio

Posteriormente, para el procesamiento de datos del contenido isotópico de las muestras tomadas en Manglaralto, se utilizó el simulador otorgado por la OIEA para análisis de muestras varias. (Figura 4.16)

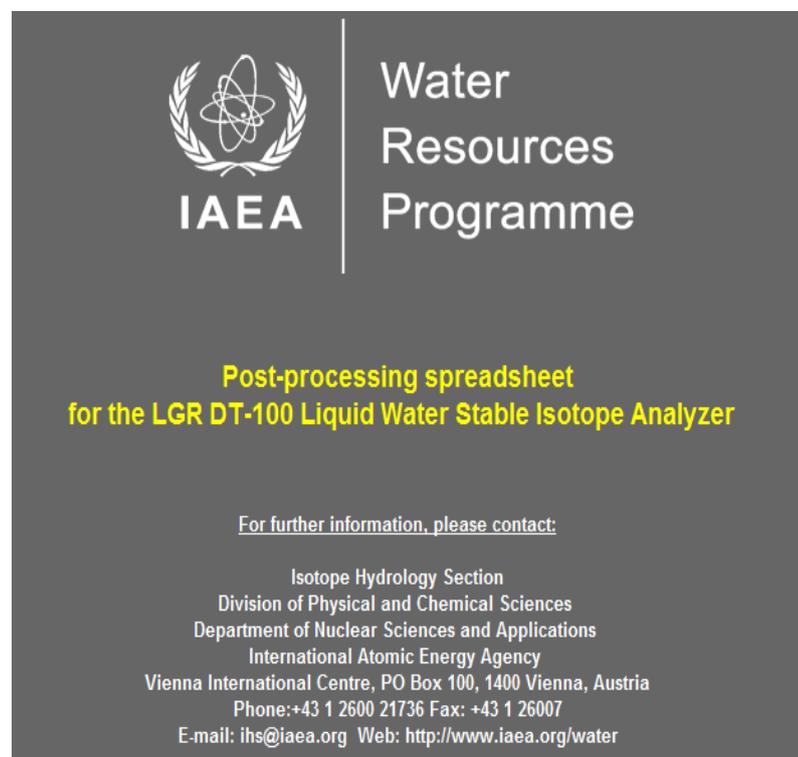


Figura 4. 16 Hoja de cálculo para el post-procesamiento de datos de muestras

El procesamiento de los datos de la corrida generó coeficientes de regresión superiores a 0,99, el contenido isotópico de los estándares dentro del rango permisible (Figura 4.17) y el contenido

isotópico para las muestras de cada uno de los pozos de Manglaralto. (Figura 4.18)

	C	D	E	F	G	H
19	-72,52		Average	-10,06		
20	0,40	OK	Std. Deviation	0,11	OK	
21						
22	-24,55	-24,00	0,55	-4,66	-4,66	0,0
23	-25,37	-24,00	1,37	-4,63	-4,66	0,0
24	-25,53	-24,00	1,53	-4,37	-4,66	0,2
25	-25,12	-24,00	1,12	-3,92	-4,66	0,7
26						
27						
28						
29	-25,14		Average	-4,39		
30	0,43	OK	Std. Deviation	0,16	OK	

Figura 4. 17 Revisión de patrones locales al analizar muestras de Manglaralto

	B	C	D	E	F	G	H
	Sample Name	δ ² H Reportable Value (permil)	δ ² H Standard Deviation (permil)	δ ¹⁸ O Reportable Value (permil)	δ ¹⁸ O Standard Deviation (permil)	δ ² H Quality (stdev <2)	δ ¹⁸ C (stdev)
4	POZO 2 temporada seca	-7,57	0,46	-2,20	0,01	OK	
5	POZO 3 temporada seca	-7,83	0,29	-2,22	0,08	OK	
6	POZO 4 temporada seca	-7,57	0,41	-2,26	0,08	OK	
7	POZO 5 temporada seca	-9,16	0,14	-2,42	0,03	OK	
8	POZO 6 temporada seca	-7,40	0,49	-2,10	0,09	OK	
9	POZO 7 temporada seca	-10,21	0,13	-2,32	0,05	OK	
10	POZO 8 temporada seca	-8,71	0,27	-2,23	0,03	OK	
11	POZO 2 temporada lluviosa	-7,46	0,21	-2,01	0,02	OK	
12	POZO 3 temporada lluviosa	-8,29	0,22	-2,15	0,08	OK	

Figura 4. 18 Contenido isotópico de muestras de Manglaralto

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1 Contenido isotópico en muestras patrones

Los datos obtenidos del simulador de Excel son el contenido de Deuterio y Oxígeno-18 de los nuevos patrones, y muestra la relación con los estándares universales usando como referencia la Línea Meteorológica Mundial, ya que no se cuenta con una Línea Local.

Los valores del contenido isotópico para los patrones locales se muestran en la tabla 5.1, los cuales se expresan como δ (delta).

Tabla XXI. Valores de Deuterio y Oxígeno-18 en nuevos patrones

Muestras	$\delta^2\text{H}$ Valores (‰) Reportados	$\delta^{18}\text{O}$ Valores (‰) Reportados
Light	-72,722	-10,39
Control	-24,01	-4,6567
Heavy	-10,255	-1,7512

Fuente: Flores A., Melendres A.

Cabe indicar que los estándares proporcionados por la OIEA son una mezcla de muestras tomadas en distintas partes del mundo, según sus aprovechamientos, debido a esto los contenidos hallados en los patrones locales presentan valores diferentes pero guardarán relación en su orden.

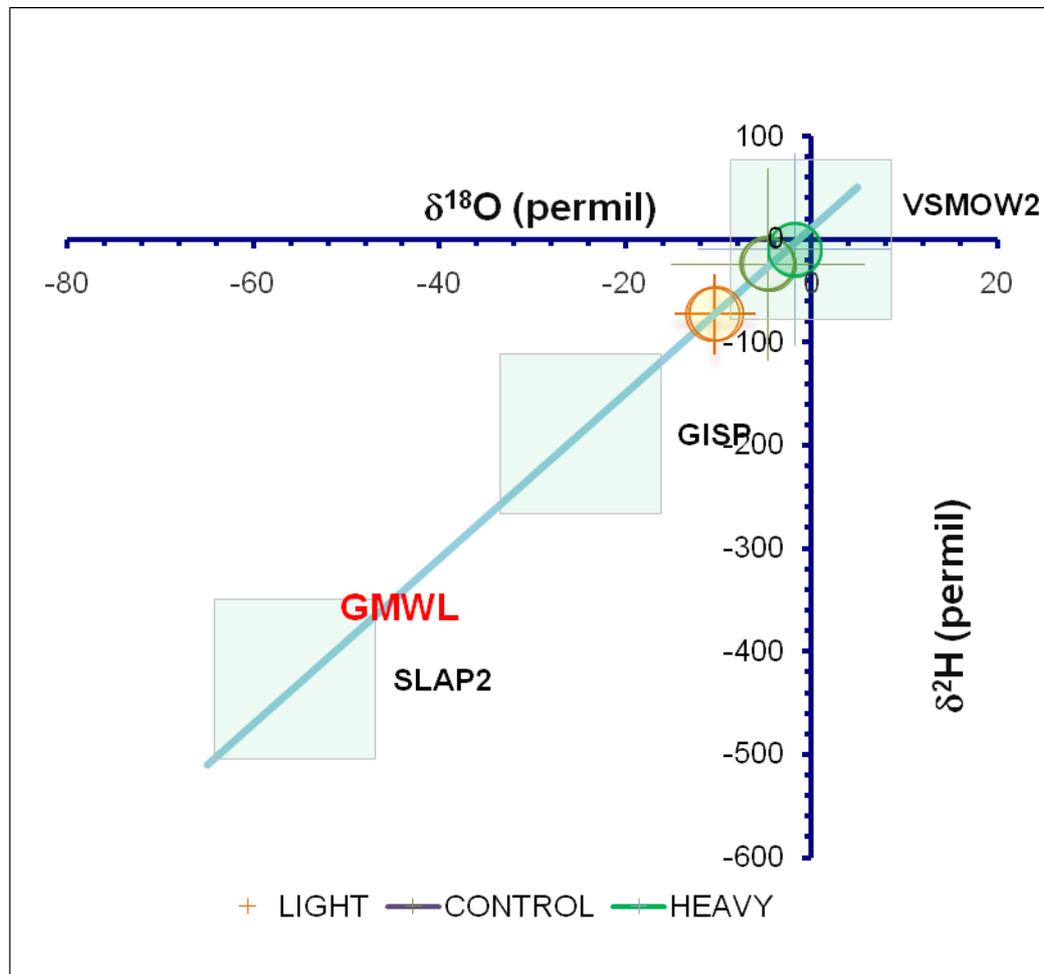


Gráfico 5. 1 Ubicación de los patrones locales en relación a los Estándares Universales, usando como referencia la Línea Meteórica Mundial.

Una vez determinados los contenidos isotópicos de los patrones locales, las muestras fueron almacenadas en envases con capacidad 25 litros de acero inoxidable, cerrado al vacío, con un dispensador para extracción de muestras (Figura 5.1), las características de estos

envases evitan la evaporación, fraccionamiento isotópico, difusión o intercambio de agua con el ambiente.



Figura 5. 1 Envases de Acero Inoxidable para almacenar patrones locales

5.2 Resultados Caso de estudio

5.2.1 Análisis de parámetros inestables medidos In Situ

Se inició con la interpretación de datos de los parámetros inestables tomados in situ con el fin de analizar la variación de los mismos entre la época seca y lluviosa. A partir de los cuales se elaboró gráficas para cada uno de ellos.

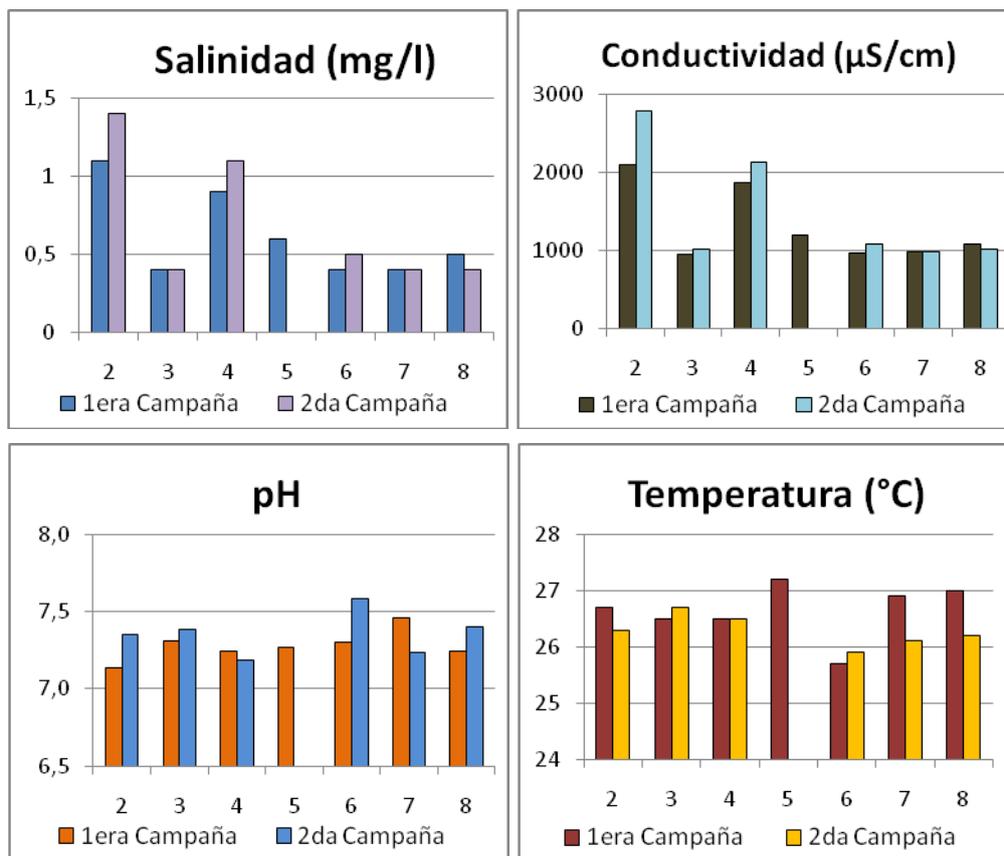


Gráfico 5. 2 Variación de Parámetros inestables en las campañas de muestreo.

Fuente: A. Flores, A. Melendres

Los parámetros analizados muestran una variación mínima en el paso de una campaña a otra como se observa en la gráfica 5.2, por lo que se puede concluir que el cambio de época seca a lluviosa no tuvo mayor incidencia en el contenido fisicoquímico del agua del acuífero.

5.2.2 Caracterización isotópica del acuífero Manglaralto

El simulador de Excel proporcionado por la OIEA permitió determinar el contenido de Deuterio y Oxígeno-18 para cada una

de las muestras y a su vez observar la tendencia de nuestras aguas usando como referencia la Línea Meteorica Mundial.

Los resultados obtenidos de la variación del contenido isotópico se detallan en la tabla a continuación:

Tabla XXII. Valores de Deuterio y Oxígeno-18 para caso de estudio

1^{era} CAMPAÑA-ÉPOCA SECA		
Muestra	$\delta^2\text{H}$ Valores Reportados	$\delta^{18}\text{O}$ Valores Reportados
Pozo 2	-7,57	-2,20
Pozo 3	-7,83	-2,22
Pozo 4	-7,57	-2,26
Pozo 5	-9,16	-2,42
Pozo 6	-7,40	-2,10
Pozo 7	-10,21	-2,32
Pozo 8	-8,71	-2,23
2^{da} CAMPAÑA-ÉPOCA LLUVIOSA		
Pozo 2	-7,46	-2,01
Pozo 3	-8,29	-2,15
Pozo 4	-7,37	-2,05
Pozo 6	-8,82	-1,84
Pozo 7	-9,64	-1,99
Pozo 8	-8,61	-1,73

Fuente: Flores A., Melendres A.

Se graficó la variación del contenido de Deuterio (δD) con respecto al de Oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$) teniendo como referencia la Línea Meteorica Mundial, en esta gráfica se observó que el carácter isotópico del acuífero Manglaralto es **enriquecido en**

isótopos en mención (debido a su ubicación en zona costera recibe intrusión marina, rica en isótopos pesados).

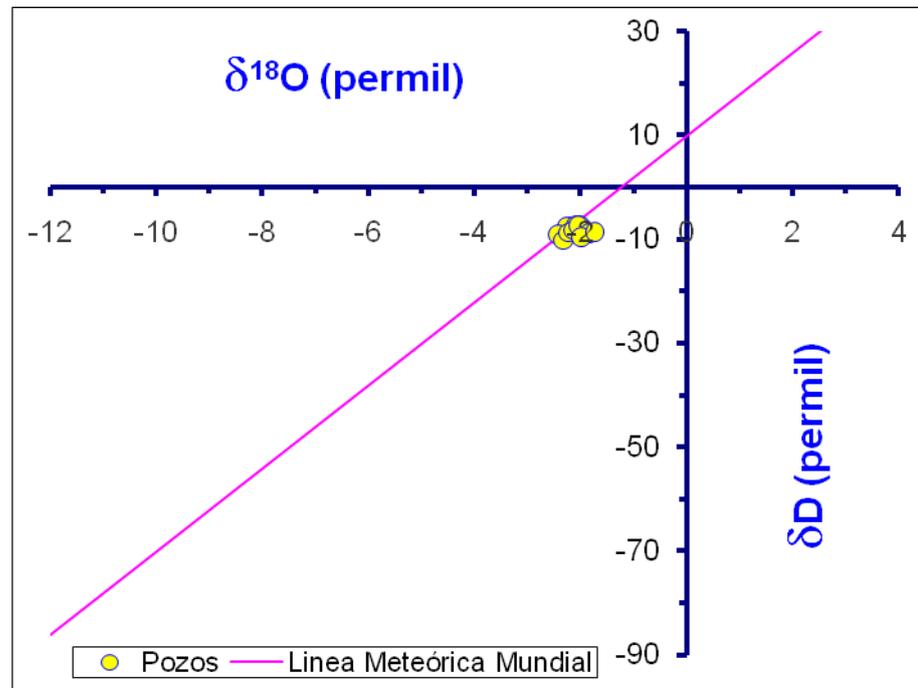


Gráfico 5. 3 Ubicación de las muestras de los acuíferos de Manglaralto según su contenido de Deuterio y Oxígeno-18, usando como referencia la Línea Meteórica Mundial.

A partir de los resultados de la tabla 5.2 se elaboraron gráficas comparativas de la variación de contenido isotópico de Deuterio (Gráfica 5.4) y Oxígeno-18 (Gráfica 5.5), en las cuales se evidenció que la variación de estos contenidos entre las campañas realizadas es mínima.

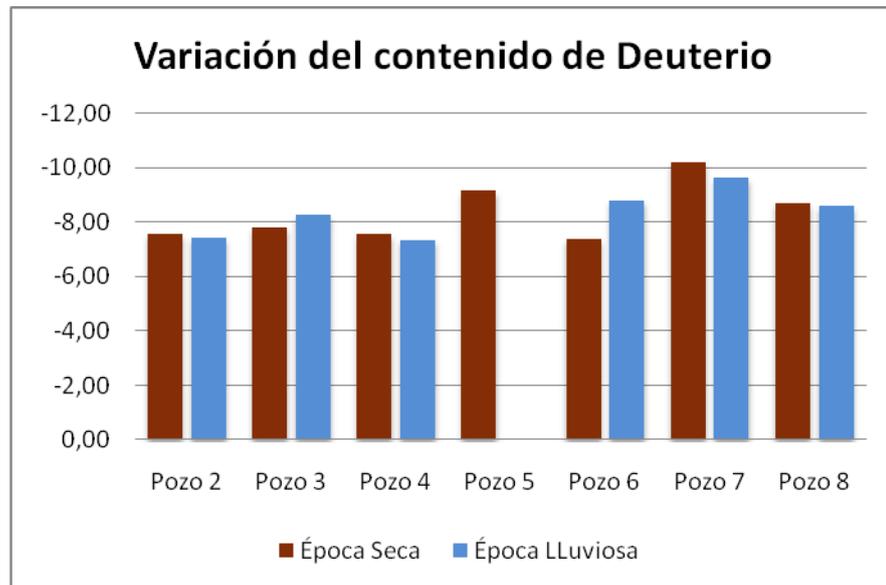


Gráfico 5. 4 Variación del contenido isotópico de Deuterio época seca-lluviosa
Fuente: Flores A., Melendres A.

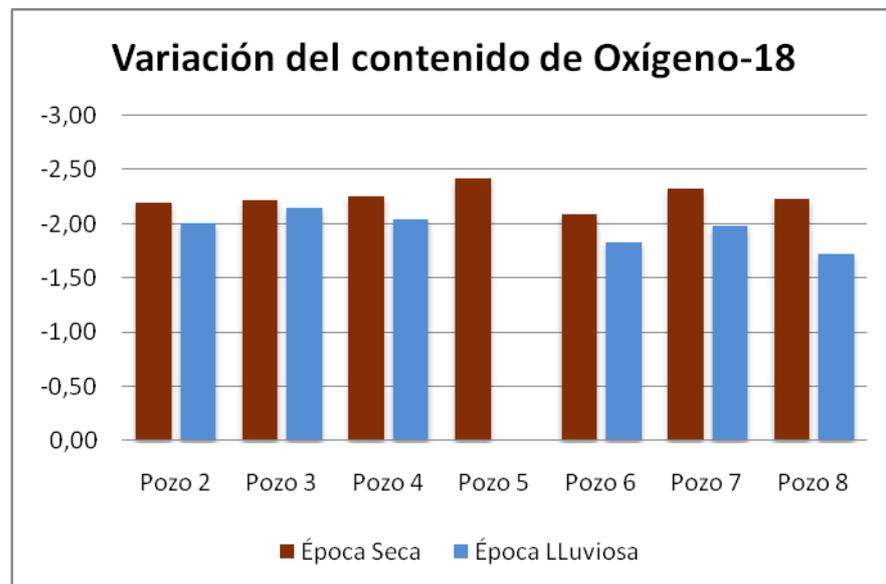


Gráfico 5. 5 Variación del contenido isotópico de Oxígeno-18 época seca-lluviosa
Fuente: Flores A., Melendres A.

Se puede observar un enriquecimiento de ambos isótopos en las muestras de la segunda campaña debido posiblemente a la

intrusión marina o a la sobreexplotación de estos pozos. Sin embargo, en los pozos 3 y 6 se registró un ligero empobrecimiento de Deuterio, lo cual puede ser debido a la evaporación o difusión de las muestras tomadas durante el proceso de almacenamiento y preparación para análisis de laboratorio, o debido al proceso de análisis ya que la exactitud en la detección de Deuterio es del 2‰, y la variación observada en el gráfico es inferior a este valor.

5.2.3 Caracterización hidroquímica del acuífero Manglaralto

Como parte de la caracterización también se realizó el análisis de iones mayoritarios, los cuales nos permiten determinar el tipo de agua presente en el acuífero.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos se realizaron los diagramas hidroquímicos de Stiff y Schoeller-Berkaloff. Los primeros fueron elaborados con el software **AquaChem** y fueron utilizados con el propósito de distinguir la variación de cada uno de los iones estudiados entre la época seca y la lluviosa para cada punto muestreado; mientras que el segundo se lo graficó con el simulador **EasyQuim** y se empleó para determinar el tipo de agua que existente en el acuífero de Manglaralto.

Se procedió con el análisis de los diagramas de Stiff, tanto para la época seca como para la lluviosa, por cada punto muestreado, y se representó mediante un mapa de ubicación espacial, (Figura 5.2) a partir del cual se obtienen los siguientes resultados:

Se puede observar que el pozo 6 fue el único que presentó un aumento de concentración de iones sodio (Na^+) de la temporada seca a la lluviosa, lo que presuntamente se debe al lavado de sedimentos de origen marino, o contaminación urbana. Los demás pozos presentaron empobrecimiento de este ión especialmente en los pozos 3 y 8, debido posiblemente al agua lluvia infiltrada.

Se registró un aumento en el contenido de iones calcio en los pozos 2 y 8, provenientes posiblemente de la disolución de calizas, y demás rocas que componen en suelo. La concentración de este ion está controlada por los procesos de dilución por aguas de precipitaciones o por el intercambio iónico con las rocas del acuífero. El pozo 4 es el que presenta una mayor dilución en el contenido de este ion, que se presume se debe a la infiltración de las aguas lluvia.

En los pozos 7 y 8 se puede visualizar el aumento de los iones magnesio, procedentes del lavado de rocas, de la disolución de calizas presentes en el suelo, y procesos de intercambio iónico.

El aumento de iones calcio observado en los pozos 2 y 8 pudo haberse dado por la disolución de CO_2 del suelo, así como también por la disolución de calizas y de ácido naturales. La disminución registrada en los demás pozos se considera que se debió por la dilución con el agua lluvia.

En los pozos 3 y 6 se puede observar un aumento en la concentración de iones sulfato procedente posiblemente del lavado del terreno que presenta aridez o del ambiente marino, de la oxidación de sulfuros de las rocas y de la dilución del yeso. La infiltración de las precipitaciones registradas en la zona puede ser una de las principales causantes de la disminución de este ion en los demás pozos estudiados.

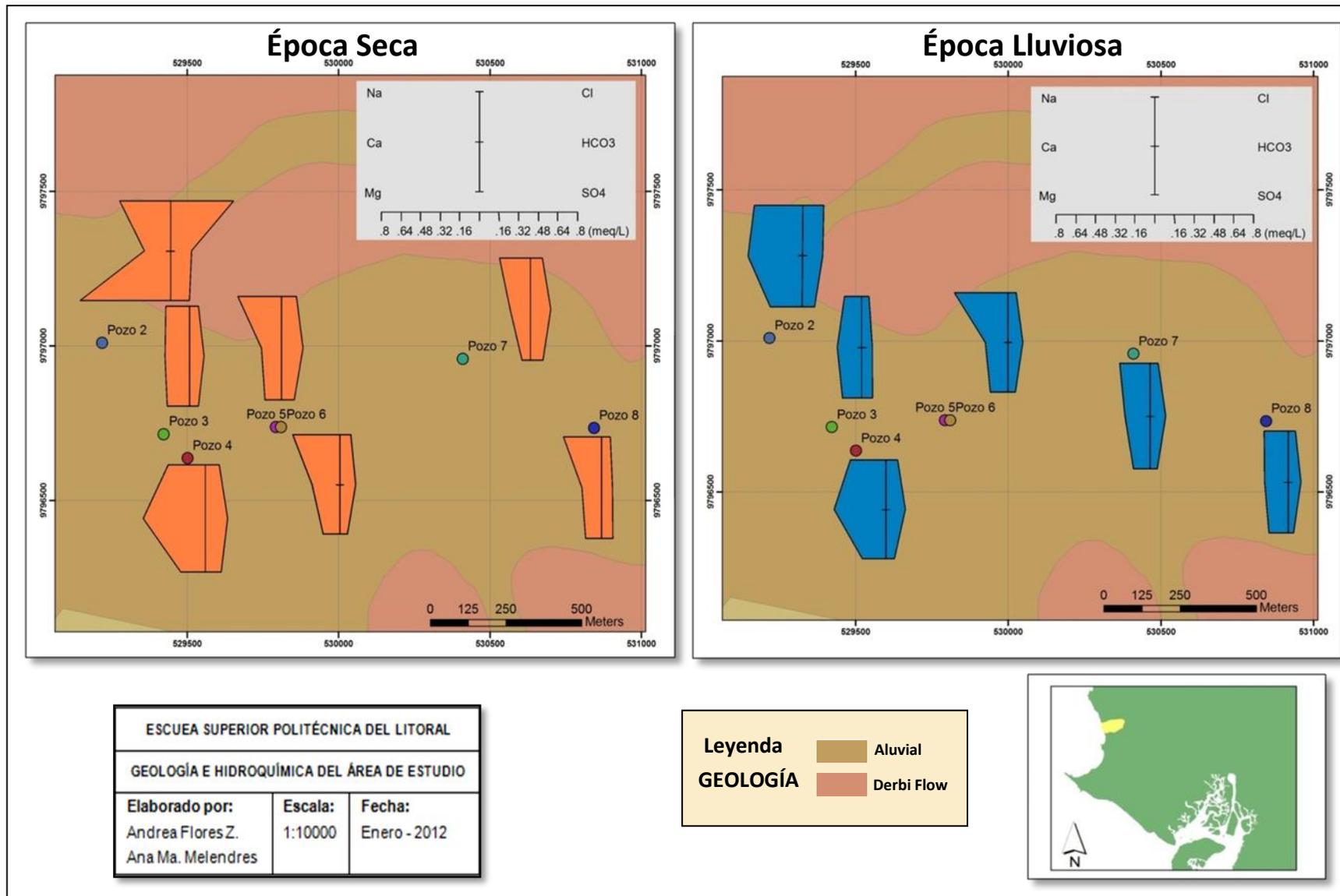


Figura 5. 2 Distribución espacial de los Diagramas de Stiff

En el diagrama de Schoeller-Berkaloff se puede observar que la tendencia del agua que se tiene en el acuífero es del tipo bicarbonatada sódica, debido a una mezcla entre el agua dulce con iones de Ca^{+2} y HCO^{-3} proveniente de las precipitaciones junto con la intrusión marina con iones Cl^{-} y Na^{+} , sin embargo, el pozo 2 reveló tener un tipo de agua clorurada sódica debido a que es el pozo más cercano al mar. (Gráfico 5.4).

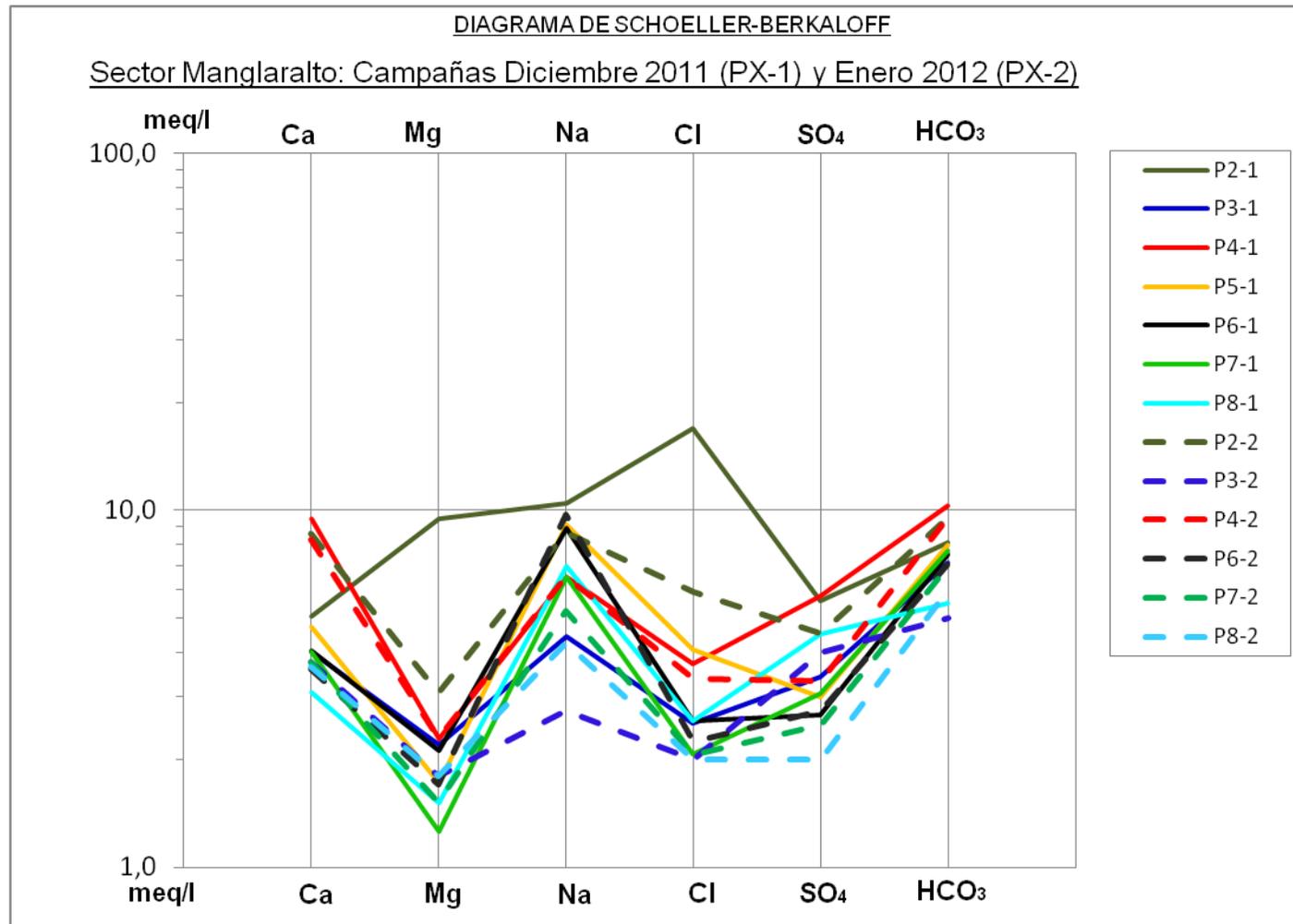


Gráfico 5. 4 Diagrama de Schoeller-Berkaloff de aguas del campo de pozos de Manglaralto
 Fuente: Flores A., Melendres A.

5.2.4 Relación de resultados

Se elaboró una tabla con valores de salinidad y contenido isotópico del acuífero Manglaralto obtenidos en el presente trabajo (Tabla XXIII), con la cual se realizó gráficos comparativos de Deuterio vs Salinidad (Gráfica 5.6) y Oxígeno-18 vs Salinidad (Gráfica 5.7).

Tabla XXIII. Relación de Contenido Isotópico y Salinidad

Muestra	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	Salinidad
Pozo 2-1	-7,57	-2,2	1,1
Pozo 3-1	-7,83	-2,22	0,4
Pozo 4-1	-7,57	-2,26	0,9
Pozo 6-1	-7,4	-2,1	0,4
Pozo 7-1	-10,21	-2,32	0,4
Pozo 8-1	-8,71	-2,23	0,5
Pozo 2-2	-7,46	-2,01	1,4
Pozo 3-2	-8,29	-2,15	0,4
Pozo 4-2	-7,37	-2,05	1,1
Pozo 6-2	-8,82	-1,84	0,5
Pozo 7-2	-9,64	-1,99	0,4
Pozo 8-2	-8,61	-1,73	0,4

Fuente: Flores A., Melendres A.

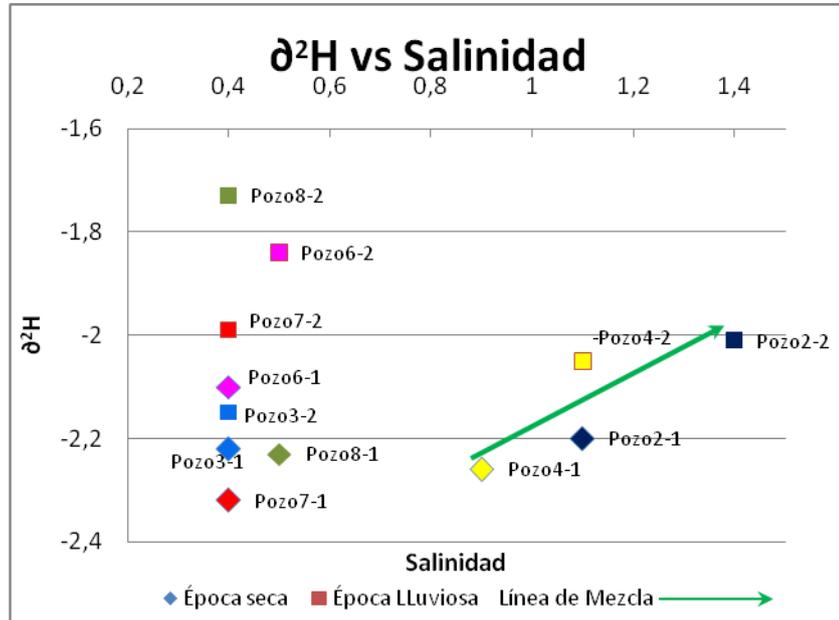


Gráfico 5. 6 Contenido de Deuterio Vs Salinidad
Fuente: Flores A., Melendres A.

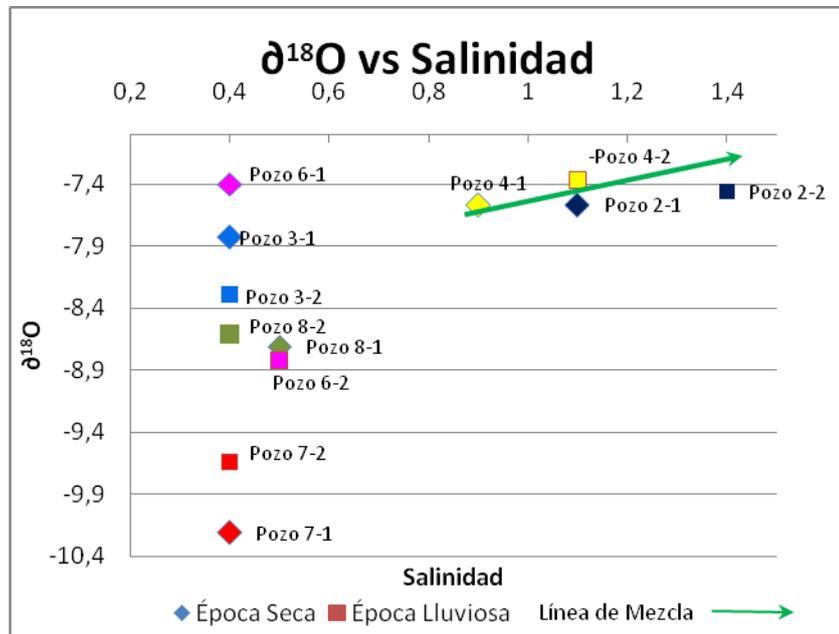


Gráfico 5. 7 Contenido de Oxígeno-18 Vs Salinidad
Fuente: Flores A., Melendres A.

En general se evidencia que en los pozos 2 y 4 al incrementar la salinidad aumenta el contenido isotópico, generando una línea de mezcla con tendencia a enriquecerse isotópicamente conforme aumenta la salinidad, mientras que para los demás pozos no existe una variación relevante de salinidad en ambas épocas.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos se tomó como referencia al proyecto “Caracterización de Acuíferos Costeros en la Península de Santa Elena” realizado en el año 2009, que contiene valores de conductividad eléctrica en relación a la profundidad de los pozos, datos de contenido isotópico de los pozos de la cuenca Manglaralto y contenidos isotópicos de precipitaciones de la Comuna Olón, localizada a 19 kilómetros de la Comuna Manglaralto.

En la caracterización isotópica de los pozos de la cuenca Manglaralto en el año 2009 se mostraron valores enriquecidos en isótopos pesados (Tabla XXIV), similares a los obtenidos en el presente trabajo (Tabla XXII), lo cual es un indicativo de tendencia de este acuífero a presentar valores enriquecidos en Deuterio y Oxígeno-18.

Tabla XXIV. Caracterización isotópica de pozos de la cuenca Manglaralto – 2009

Muestra	Identificación	Fecha Análisis	$\delta \text{‰}^2\text{H}$	$\delta \text{‰}^{18}\text{O}$
ECU-43	Manglaralto 1	29/01/2009	-8.6	-2.28
ECU-44	Manglaralto 1	29/01/2009	-8.4	-2.25
ECU-45	Manglaralto 4	29/01/2009	-8.9	-2.37
ECU-46	Manglaralto 4	29/01/2009	-10.1	-2.51
ECU-47	Manglaralto 5	29/01/2009	-10.2	-2.44
ECU-48	Manglaralto 5	29/01/2009	-9.7	-2.42
ECU-49	Manglaralto 7	02/02/2009	-9.9	-2.40
ECU-50	Manglaralto 7	02/02/2009	-12.6	-2.39

Fuente: Proyecto “Caracterización de acuíferos costeros en la Provincia de Santa Elena”

En la caracterización isotópica de aguas lluvias de la zona de Olón se muestra contenidos empobrecidos en Deuterio y Oxígeno para esta época (Tabla XXV).

Tabla XXV. Caracterización isotópica de aguas lluvias de la zona de Olón – 2009

Muestra	Identificación	Fecha Análisis	$\delta \text{‰}^2\text{H}$	$\delta \text{‰}^{18}\text{O}$
ECU-1	Colector Olón	27/01/2009	-42.3	-6.31
ECU-2	Colector Olón	27/01/2009	-32.8	-5.42
ECU-4	Colector Olón	27/01/2009	-43.0	-5.45

Fuente: Proyecto “Caracterización de acuíferos costeros en la Provincia de Santa Elena”

Debido a que Manglaralto posee condiciones climáticas similares a las de Olón se presume que el contenido isotópico de las precipitaciones de ambas zonas sea parecido. En base a esto podemos inferir que el carácter enriquecido en Deuterio y Oxígeno-18 del acuífero Manglaralto no se debe a la infiltración de precipitaciones, pero si a la mezcla de estas con la intrusión marina, siendo esta última la más rica en isótopos pesados.

Se elaboraron registros de conductividad eléctrica vs profundidad con datos correspondientes al año 2009 (Tabla XXVI), con los cuales se realizó una gráfica (Gráfica 5.8) que evidencia una zona de mezcla en el pozo 1 y 2 a partir de los 16 hasta los 22 metros de profundidad, ya que entre esos valores se observa un aumento brusco en la conductividad eléctrica, debido a la interfase ocasionada por la mezcla de agua dulce con la intrusión marina a estas profundidades.

Tabla XXVI. Registros de Conductividad en relación a la profundidad de los pozos del acuífero Manglaralto-2009

Pozo	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Profundidad (m)
Pozo 1	2220	30,00
	2220	25,00
	1946	20,00
	1678	19,00
	1339	18,00
	1188	17,00
	1079	16,00
	1055	15,00
	1029	14,00
	962	12,00
	901	10,00
	887	9,00
Pozo 2	2070	29,50
	1680	25,00
	1416	20,00
	1107	15,00
	1098	10,00
	1098	8,00
Pozo 6	1237	30,00
	1201	25,00
	1167	20,00
	1170	15,00
	1152	13,00
	1086	12,00
	1038	11,00

Fuente: Proyecto "Caracterización de acuíferos costeros en la Provincia de Santa Elena"

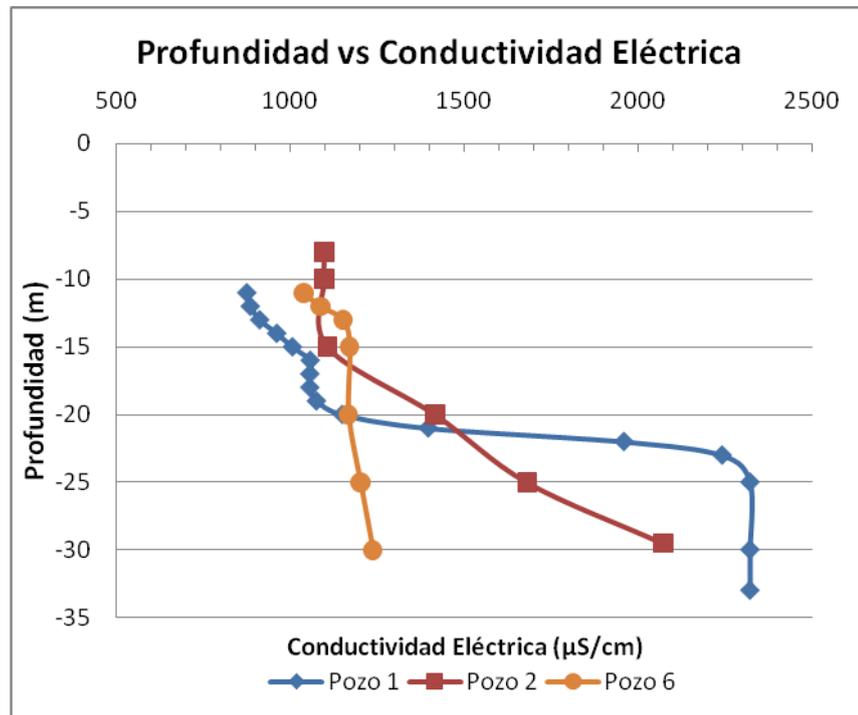


Gráfico 5. 8 Profundidad vs Conductividad

Fuente: Proyecto "Caracterización de acuíferos costeros en la Provincia de Santa Elena"

**CAPÍTULO 6.
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES

1. Los valores medidos del contenido isotópico de los **patrones locales** presentan **alta confiabilidad** debido a que la desviación estándar de los contenidos de Deuterio son inferiores a 2‰ y los de Oxígeno-18 son inferiores a 0.3‰, los mismos que fueron determinados a partir de los **estándares internacionales** VSMOW2, GISP y SLAP2, proporcionados por la OIEA.

2. La **muestra LIGHT** se recolectó alrededor de los 4000 m.s.n.m. alejada de la zona costera, condiciones necesarias para que el agua presente empobrecimiento de isótopos pesados; la **muestra HEAVY** se tomó mar adentro ya que esta agua manifiesta enriquecimiento isotópico debido a la evaporación de isótopos ligeros concentrando los pesados en sus aguas; la **muestra CONTROL** se recolectó a condiciones climáticas y geográficas medias en relación a las otras muestras; estos lugares se escogieron con el fin de crear una **línea de tendencia local** teniendo como referencia el punto más alto, bajo y medio que permita analizar la característica isotópica de aguas dentro del país.

3.El **Patrón LIGHT**, procedente de agua del Parque Nacional Cajas, presenta un contenido isotópico de -72.72 de δD y -10.39 de $\delta^{18}O$, considerado como empobrecido en isótopos pesados; El **patrón HEAVY**, procedente de Gral. Villamil Playas, con contenido isotópico de -10.25 de δD y -1.75 de $\delta^{18}O$, es el enriquecido en contenido isotópico; y el **patrón CONTROL**, procedente del recinto Tres Postes, con contenido isotópico de -24.00 de δD y -4.65 de $\delta^{18}O$, presenta valores medianamente enriquecidos, por lo que se lo considera como patrón de calibración.

4.La **caracterización isotópica** realizada al conjunto de pozos de la cuenca Manglaralto permitió clasificar al **acuífero** como **enriquecidos en isótopos pesados**, debido al efecto continental ya que se encuentran en la zona costera y por ende reciben infiltraciones de agua de mar siendo esta la más rica en isótopos.

5.Las gráficas de comparación del contenido isotópico de los acuíferos en las dos campañas de muestreo, permitieron identificar un **aumento mínimo en la cantidad de isótopos pesados**, debido a la intrusión marina, ya que no se cuenta con la caracterización isotópica de las precipitaciones, y por lo tanto no se puede asegurar que existe infiltración superficial.

6. Para la **caracterización hidroquímica** realizada en los pozos de la cuenca Manglaralto se elaboraron **diagramas de Stiff** para observar la **variación del contenido de los iones** estudiados durante las dos campañas, evidenciando que el pozo 2 registró un aumento considerable de calcio, de 5,04 a 8,6 meq/l, que puede ser producto del intercambio iónico con el exceso de sodio proveniente del agua de mar, lo que sustentaría que existe intrusión marina en el mismo.

7. Como parte de la caracterización hidroquímica se elaboró un diagrama de Schoeller-Berkaloff que permitió clasificar al **agua** de este acuífero como **bicarbonatada sódica**, debido posiblemente a la mezcla de agua proveniente de las precipitaciones con el agua de mar.

8. El **pozo 2**, que se encuentra más cercano al mar, tiene **agua del tipo clorurada sódica**, origina por proceso de intrusión marina, debido a que estos iones están presentes en grandes cantidades en el agua de mar.

RECOMENDACIONES

- Realizar campañas de muestreo mensuales, como mínimo durante un año, lo que permitiría tener un mejor control de la variación del contenido isotópico.
- Realizar muestreo de fuentes de aguas superficiales cercanas a los pozos para utilizar el contenido isotópico de las mismas como trazadores.
- Controlar periódicamente estos pozos para conocer las variaciones de la posición de la interfase y, por tanto, la sensibilidad del acuífero frente a cambios en su composición.
- Implementar colectores de agua lluvia para análisis isotópicos de estas aguas y posteriormente elaborar la línea meteórica local.
- Realizar los estudios mencionados en el laboratorio de isótopos del CIPAT, teniendo como consideración las especificaciones del equipo así como también que la temperatura del medio no puede variar debido a que esto afecta en el funcionamiento del equipo.

- Sellar el pozo 5 que colapsó a finales del 2011, ya que este puede ser una fuente de contaminación directa al acuífero en general.

ANEXOS

Anexo A.

Fichas de campo

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		 CIPAT-ESPOL
Fecha:	06-12-2011	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84		Altitud
		X: 529218		17 m. s. n. m.
		Y: 9797010		
Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		206		
Tipo de muestra		X	Subterránea	
Cantidad de muestra		60 mililitros		
Punto de Muestreo		Pozo 2		
Parámetros		Valor medido	Unidades	
pH		7,137	-	
Temperatura		26,7	°C	
Sólidos Totales Disueltos		2100	mg/L	
Conductividad Eléctrica		2100	<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm
Salinidad		1,1	ppm	

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 529422		16 m. s. n. m.		
		Y: 9796715				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		306				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 3				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,306		-		
Temperatura		26,5		°C		
Sólidos Totales Disueltos		961		mg/L		
Conductividad Eléctrica		960		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm		
Salinidad		0,4		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 529501		16 m. s. n. m.		
		Y: 9796637				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		406				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 4				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,242		-		
Temperatura		26,5		°C		
Sólidos Totales Disueltos		1871		mg/L		
Conductividad Eléctrica		1872		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm		
Salinidad		0,9		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 529792		22 m. s. n. m.		
		Y: 9796738				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		506				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 5				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,269		-		
Temperatura		27,2		°C		
Sólidos Totales Disueltos		1202		mg/L		
Conductividad Eléctrica		1202		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		0,6		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 529810		17 m. s. n. m.		
		Y: 9796891				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		606				
Tipo de muestra		X	Agua			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 6				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,299		-		
Temperatura		25,7		°C		
Sólidos Totales Disueltos		967		mg/L		
Conductividad Eléctrica		967		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		0,4		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 530410		24 m. s. n. m.		
		Y: 9796958				
		Responsable				Andrea Flores, Ana Ma. Melendres
Código de muestra		706				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 7				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,460		-		
Temperatura		26,9		°C		
Sólidos Totales Disueltos		981		mg/L		
Conductividad Eléctrica		981		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		0,4		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 530844		29 m. s. n. m.		
		Y: 9796735				
		Responsable				Andrea Flores, Ana Ma. Melendres
Código de muestra		806				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 8				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,240		-		
Temperatura		27,0		°C		
Sólidos Totales Disueltos		1080		mg/L		
Conductividad Eléctrica		1082		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		0,5		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	17-01-2012	X: 529218		17 m. s. n. m.		
		Y: 9797010				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		217				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 2				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,353		-		
Temperatura		26,3		°C		
Sólidos Totales Disueltos		2790		mg/L		
Conductividad Eléctrica		2790		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		1,4		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	17-01-2012	X: 529422		16 m. s. n. m.		
		Y: 9796715				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		317				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 3				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,382		-		
Temperatura		26,7		°C		
Sólidos Totales Disueltos		1013		mg/L		
Conductividad Eléctrica		1013		<input type="checkbox"/> ms/cm	<input checked="" type="checkbox"/> us/cm	
Salinidad		0,4		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	17-01-2012	X: 529501		16 m. s. n. m.		
		Y: 9796637				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		417				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 4				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,183		-		
Temperatura		26,5		°C		
Sólidos Totales Disueltos		2130		mg/L		
Conductividad Eléctrica		2130		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm		
Salinidad		1,1		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84
Fecha:	06-12-2011	X: 529810		17 m. s. n. m.		
		Y: 9796891				
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres		
Código de muestra		617				
Tipo de muestra		X	Subterránea			
Cantidad de muestra		60 mililitros				
Punto de Muestreo		Pozo 6				
Parámetros		Valor medido		Unidades		
pH		7,585		-		
Temperatura		25,9		°C		
Sólidos Totales Disueltos		1076		mg/L		
Conductividad Eléctrica		1076		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm		
Salinidad		0,5		ppm		

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		 CIPAT - ESPOL			
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	
Fecha:	17-01-2012	X: 530410		24 m. s. n. m.			
		Y: 9796958					
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Código de muestra		717					
Tipo de muestra		X	Agua				
Cantidad de muestra		60 mililitros					
Punto de Muestreo		Pozo 7					
Parámetros		Valor medido		Unidades			
pH		7,232		-			
Temperatura		26,1		°C			
Sólidos Totales Disueltos		984		mg/L			
Conductividad Eléctrica		984		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm			
Salinidad		0,4		ppm			

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		 CIPAT - ESPOL			
						Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	
Fecha:	17-01-2012	X: 530844		29 m. s. n. m.			
		Y: 9796735					
		Responsable		Andrea Flores, Ana Ma. Melendres			
Código de muestra		817					
Tipo de muestra		X	Agua				
Cantidad de muestra		60 mililitros					
Punto de Muestreo		Pozo 8					
Parámetros		Valor medido		Unidades			
pH		7,402		-			
Temperatura		26,2		°C			
Sólidos Totales Disueltos		1017		mg/L			
Conductividad Eléctrica		1017		<input type="checkbox"/> ms/cm <input checked="" type="checkbox"/> us/cm			
Salinidad		0,4		ppm			

2.- Segunda campaña

Prmt.	Unid.	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 6	Pozo 7	Pozo 8
Código		217	317	417	617	717	817
pH	u.	7,45	7,48	7,21	7,69	7,53	7,48
CE	u-mhos	2060	1000	1800	1130	980	1030
SDT	mg/l	1318	640	1152	723	627	659
Ca	meq/l	8,60	3,76	8,30	3,60	3,76	3,64
Mg		3,08	1,80	2,30	1,70	1,52	1,80
Na		8,70	3,04	6,52	9,70	5,22	4,25
K		0,26	0,03	0,19	0,11	0,10	0,10
Suma		20,64	8,63	17,31	15,11	10,60	9,79
CO ₃ H		9,60	5,00	9,59	7,10	7,00	6,00
SO ₄		4,50	4,00	3,33	2,74	2,50	2,00
Cl		5,90	2,00	3,37	2,25	2,07	2,00
Suma	20,00	11,00	16,29	12,09	11,57	10,00	
NO ₃	ug/l	0,670	0,093	0,731	0,030	0,400	0,190
RAS	meq/l	3,60	1,82	2,83	5,96	3,21	2,59
Clase	USDA	C ₃ S ₁	C ₃ S ₁	C ₃ S ₁	C ₃ S ₂	C ₃ S ₁	C ₃ S ₁

BIBLIOGRAFÍA

[1] Payne, P. R. *Variaciones de los isótopos ambientales: aplicación al estudio de un acuífero subterráneo del Ecuador*. Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). 1979. Vol. 21. N°1.

[2] Mook W. G. *Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. Principios y Aplicaciones*. Custodio, Emilio (sup.); Ramajo, Hipólita (trad.); Custodio, Javier (comp.). Serie N°1. Madrid: IGME, 2001. ISBN: 84-7840-465-1

[3] Custodio E., Llamas M.R. *Hidrología Subterránea*. Segunda edición. Barcelona: Ediciones OMEGA, 2001. ISBN: 84-282-0446-2

[4] *VSMOW2 & SLAP2 reference sheet*. OIEA. Vienna (Austria): Paul Martin, Manfred Gröning, Mayo 2009. Disponible en internet: http://nucleus.iaea.org/rpst/Documents/VSMOW2_SLAP2.pdf

[5] *GISP reference sheet*. OIEA. Vienna (Austria): Manfred Gröning, Agosto 2007. Disponible en internet: http://nucleus.iaea.org/rpst/Documents/rs_GISP.pdf

[6] Núñez Del Arco, E. *Geología Del Ecuador*. Ecuador: Edición y Diseño Teresa Meza C, 1993. ISBN:9978-43-162 (Pág. 1, 109-113)

[7] Amado Garzaro J. "*Estudio Hidrogeológico de la Cuenca baja del río Manglaralto, Provincia del Guayas*" Guayaquil, Ecuador, 1990. (Pág. 45-75)

Appelo, C., & Postma, D.. *Geochemistry, groundwater and Pollution*. 2nd edition. Gran Bretaña: Balkema, 1993. ISBN:04-15-36421-3 (Pág. 242, 243)

Betancur, T. Técnicas hidroquímicas e isotópicas para la validación de modelos hidrogeológicos. En *Hidrogeología para la Gestión del Recurso Hídrico* (págs. 75 - 85). Colombia: Universidad de Antioquía, 2008

Calle Eguiguren, E. *Ecuador País Capital del Agua*. <http://www.aeisa.org.ec/paiscapital/eCUADORpAiScAPITALdELaGUA.pdf>

Galárraga, R. Estado Y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador. Quito, 2001.

Gat, J. R. (2010). Isotope Hydrology. A Study of the water cycle. Londres: Imperial College Press.

IAEA.(04/08/2011).Isotopes in water and environmental management. <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Isotopes/progs.html>

IAPWS. What is the isotopic composition of ordinary water?. <http://www.iapws.org/faq1/isotope.htm>.

KazimierzRozanski, K. F. *Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico*. Madrid, 2002.

Lisa Gardiner. *Agua Subterránea*. Estados Unidos. Mayo 2003 <http://www.windows2universe.org/earth/Water/groundwater.html&lang=sp>

Manzaneque Casero, JesúsA. *LITOSFERA, HIDROSFERA Y ATMÓSFERA*. Ciudad Real, España. Septiembre 2008. http://almez.pntic.mec.es/~jmac0005/ESO_Geo/TIERRA/Html/Oceanos.htm

Masone, Michelle. Aspen Global ChangeInstitute. *La Hidrosfera*. Estados Unidos. <http://www.agci.org/classroom/hydrosphere/index.php>

Perlman, Howard. *El ciclo hidrológico*. Estados Unidos. Diciembre 2011 <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

Pidwirny, M. "El Ciclo Hidrológico". *Fundamentos de la Geografía Física, Segunda Edición*. Estados Unidos, 2006 <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>

SENAGUA. (02/01/2011). Ley de Creación de la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA. <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ley-Creacion-SENAGUA.html>

SENAGUA. (31/01/2011). Información pública de concesiones, <http://201.219.3.221/senagua/buscador/>

UNESCO. (04/08/2011). UNESCO.org.
http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/index_es.shtml

UNESCO. (13/03/2008). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.
http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2_ch_4_es.pdf

Viteri Díaz, G. (2007). *Reforma Agraria en el Ecuador*.
<http://eumed.net/libros/2007b/2298/>

Wikipedia. (03/10/2008). Archivo: Potable Water.
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Potable_water.png