

**Congreso Internacional de Hidrogeología  
Sociedad Dominicana de Geología (SODOGEO)  
Del 07 al 09 de Octubre de 2015  
Santo Domingo, R.D.**



**UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS HIDROQUÍMICAS E ISOTÓPICAS  
EN LA ZONA HIDROGEOLÓGICA PLANICIE DE AZUA**

Australia Ramírez García  
Yenny Rodríguez Encarnación  
Servicio Geológico Nacional (SGN)  
República Dominicana  
aramirez@sgn.gob.do  
yrodriguez@sgn.gob.do  
+1 809-732+0363 ext. 17

# Agenda

1. Principales objetivos del estudio de la hidroquímica de las aguas subterráneas
2. Técnicas de estudio e interpretación de datos hidrogeoquímicos
3. Caso de estudio unidad hidrogeológica Planicie de Azua
  - 3.1 Síntesis del área de estudio
  - 3.2 Diseño del Plan de muestreo
  - 3.3 Resultados preliminares de Hidroquímica
4. Técnicas isotópicas en hidrología subterránea
5. Resultados isotópicos Planicie de Azua

# **Principales objetivos del estudio de la hidroquímica de las aguas subterráneas**

1. Conocer la calidad del agua subterránea
2. Cumplir la legislación
3. Generar la información y el conocimiento necesarios para gestionar los acuíferos (de forma sustentable)
4. Conocer los procesos y mecanismos que controlan el funcionamiento natural e influenciado de los acuíferos, con el fin de poder predecir con fiabilidad y de forma cuantitativa cambios probables en la calidad y cantidad del agua y la velocidad a la cuál ocurrirán.

# Técnicas de estudio e interpretación de datos hidrogeoquímicos

Las técnicas más comunes para estudiar la química de las aguas subterráneas son:

- Uso de gráficos, de relaciones iónicas y de tratamientos estadísticos (univariante, bivalente y multivariante) para: a) identificar/establecer agrupaciones de aguas con similares características, b) cambios químicos espaciales o temporales; c) relaciones entre distintos grupos de aguas.
- Correlación de cambios de salinidad con procesos de mezcla o con incremento de la mineralización a lo largo de líneas de flujo.
- Cálculo de mezclas, balances de masa y transferencia de masa a lo largo de líneas de flujo por correlación de cambios químicos en el agua con la mineralogía del acuífero.
- Cálculos de especiación iónica en el seno del agua y de índices de saturación; evolución temporal y espacial de índices de saturación.
- Modelación de reacciones hidrogeoquímica a lo largo de líneas de flujo.
- Simulación del transporte de solutos acoplado al flujo de agua.

Todas estas técnicas se pueden aplicar de forma cuantitativa para cuantificar recarga y descarga, cambios de composición, grados de contaminación, etc.

# **CASO DE ESTUDIO**

**UNIDAD HIDROGEOLOGICA  
PLANICE DE AZUA**

# Síntesis del área de estudio

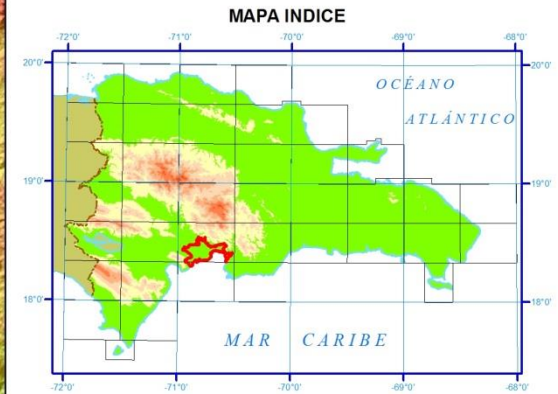
- En el municipio de Azua hay poca presencia de agua superficial, lo que deja a la comunidad y específicamente a los organismos encargados de suplir la misma, la responsabilidad de buscar agua en el subsuelo, para consumo humano, riego, uso animal e industrial.
- El agua subterránea tiene importancia también como componente esencial del ciclo hidrológico y como reserva fundamental.
- Los fenómenos de escurrimiento del agua en el suelo poseen una importancia capital para muchas ramas de la ingeniería: la construcción, la minería, la hidrogeología; por lo que la obtención de información sobre los mecanismos de recarga del acuífero del Valle de Azua y los tiempos de residencia de las aguas subterráneas, es decir, caracterizar la condición hidrogeológica actual de dicho acuífero, es de valioso interés por lo que significa el agua subterránea.

# Síntesis del área de estudio/ Ubicación



## MAPA UBICACION PLANICIE DE AZUA

Escala 1:125,000



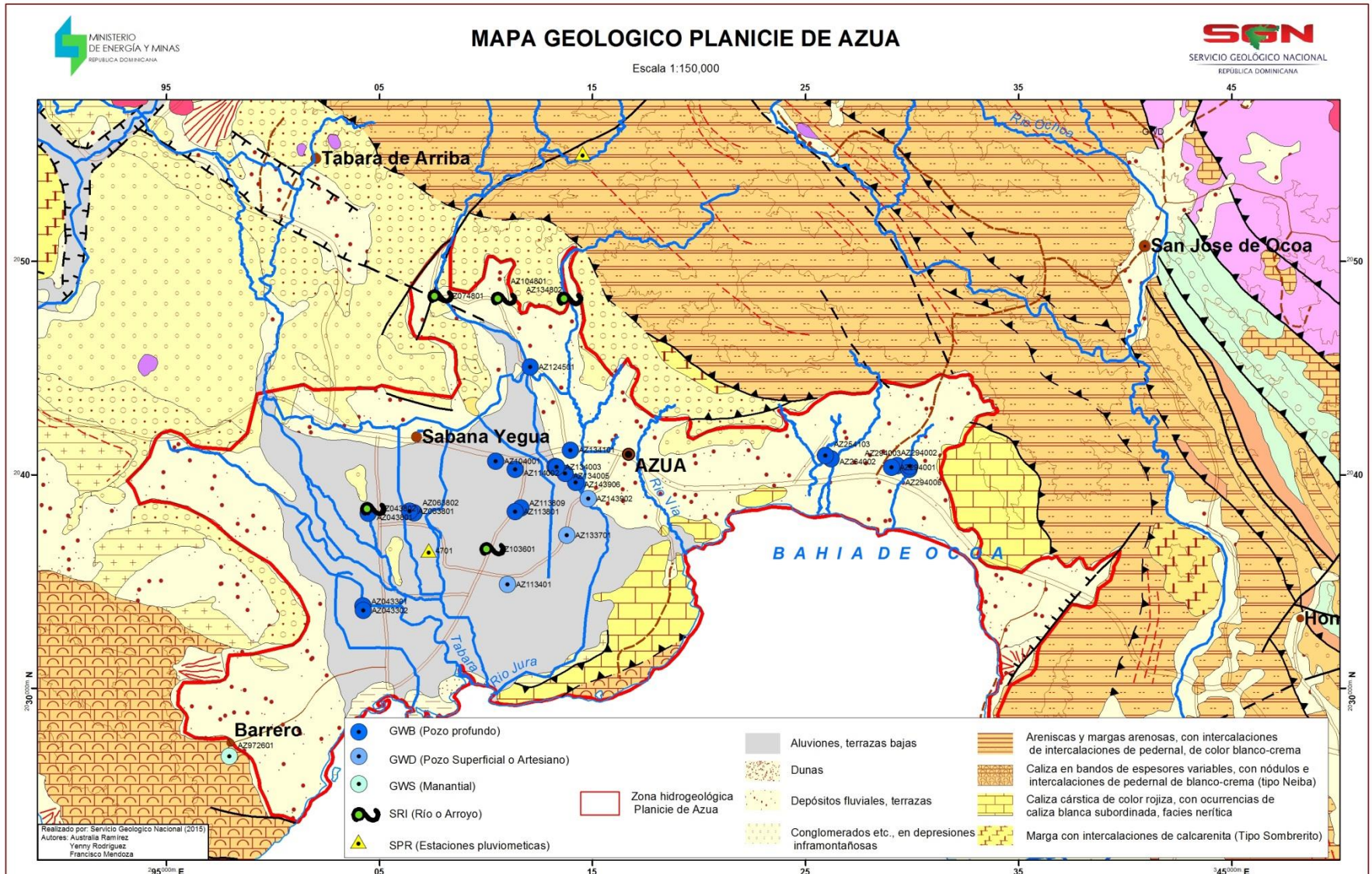
Superficie de aproximadamente 560 km<sup>2</sup>.

La llanura está situada entre las colinas bajas de la Cordillera Central que la limita por su flanco septentrional y el Mar Caribe y la Bahía de Ocoa, la limitan por el meridional. La planicie de Azua se extiende desde los terrenos aluviales del Río Yaqué del Sur por el oeste hasta el pie de la Loma El Número al este, interrumpiéndose solamente por las elevaciones calizas de la Loma La Vigía al oeste de la Bahía de Ocoa, que alcanza 425 m de altura.

Realizado por: Servicio Geológico Nacional (2015)  
Autores: Australia Ramirez  
Yenny Rodriguez  
Francisco Mendoza



# Síntesis del área de estudio/ Geología





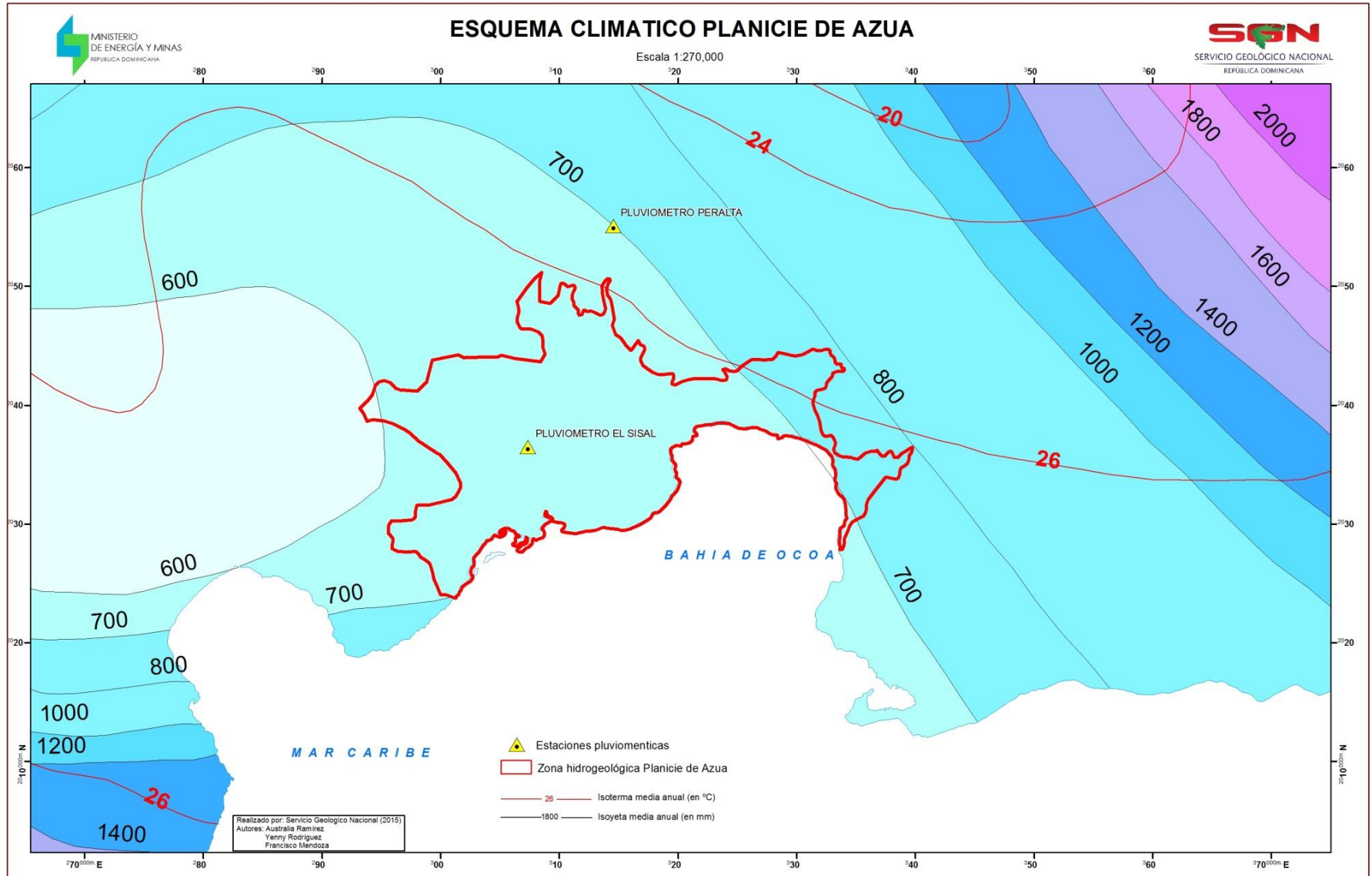
# Síntesis del área de estudio/ Geología

La formación geológica que presenta el acuífero de la Planicie de Azua está conformada por depósitos de gravas y arenas no consolidadas, intercalados frecuentemente con estratos de limos y arcillas, con pocas unidades de carbonatos.

Los extensos depósitos cuaternarios recientes que forman la amplia llanura de Azua y las dos llanuras menores de Estebanía y Hatillo están delimitados al NE por los relieves eocénicos del Grupo de Peralta y al SO por los terrenos calcáreos de la Sierra de Martín García.



# Síntesis del área de estudio/ Clima



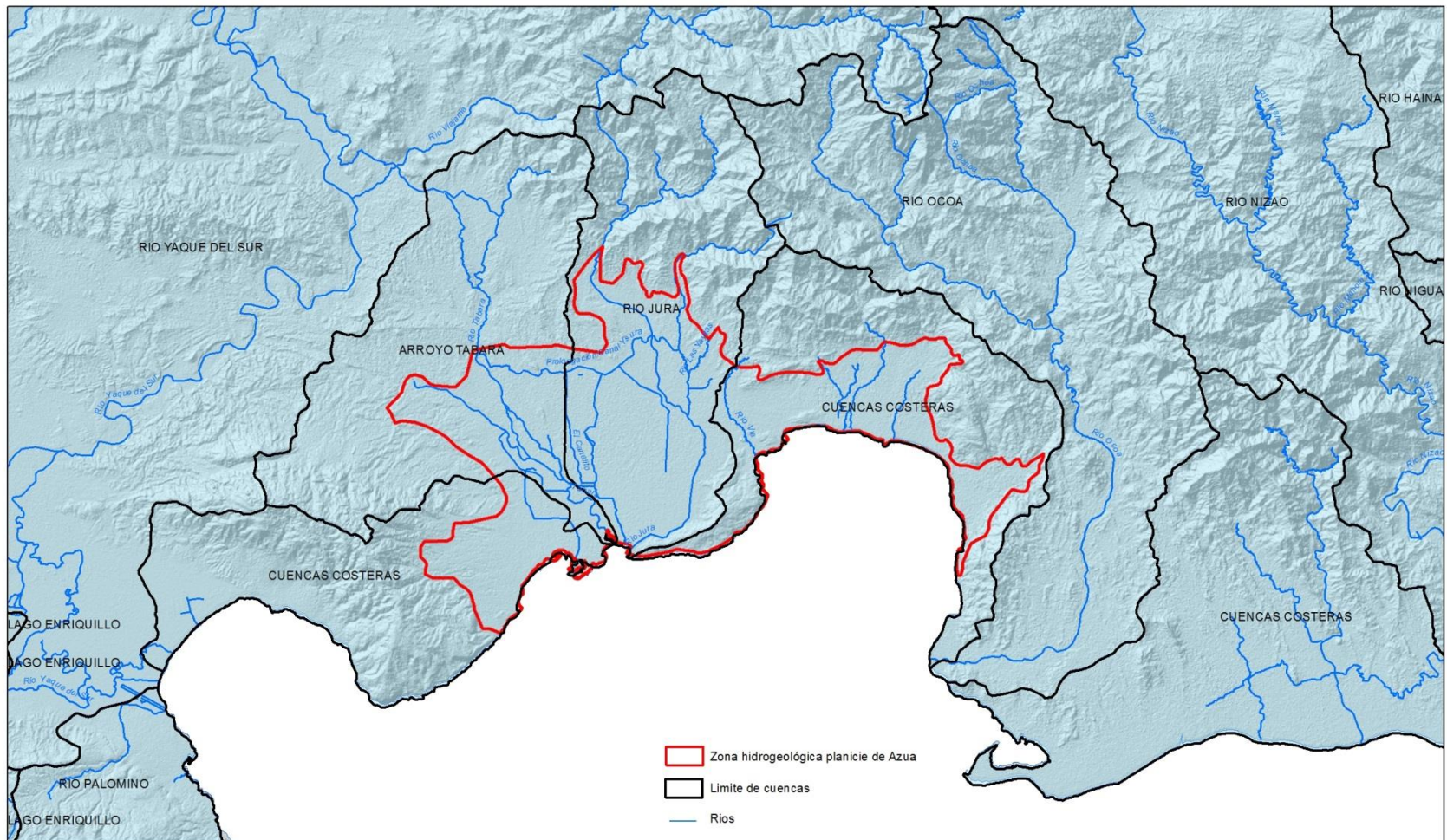


# Síntesis del área de estudio/Hidrología



## MAPA DE CUENCAS PLANICIE DE AZUA

Escala 1:250,000



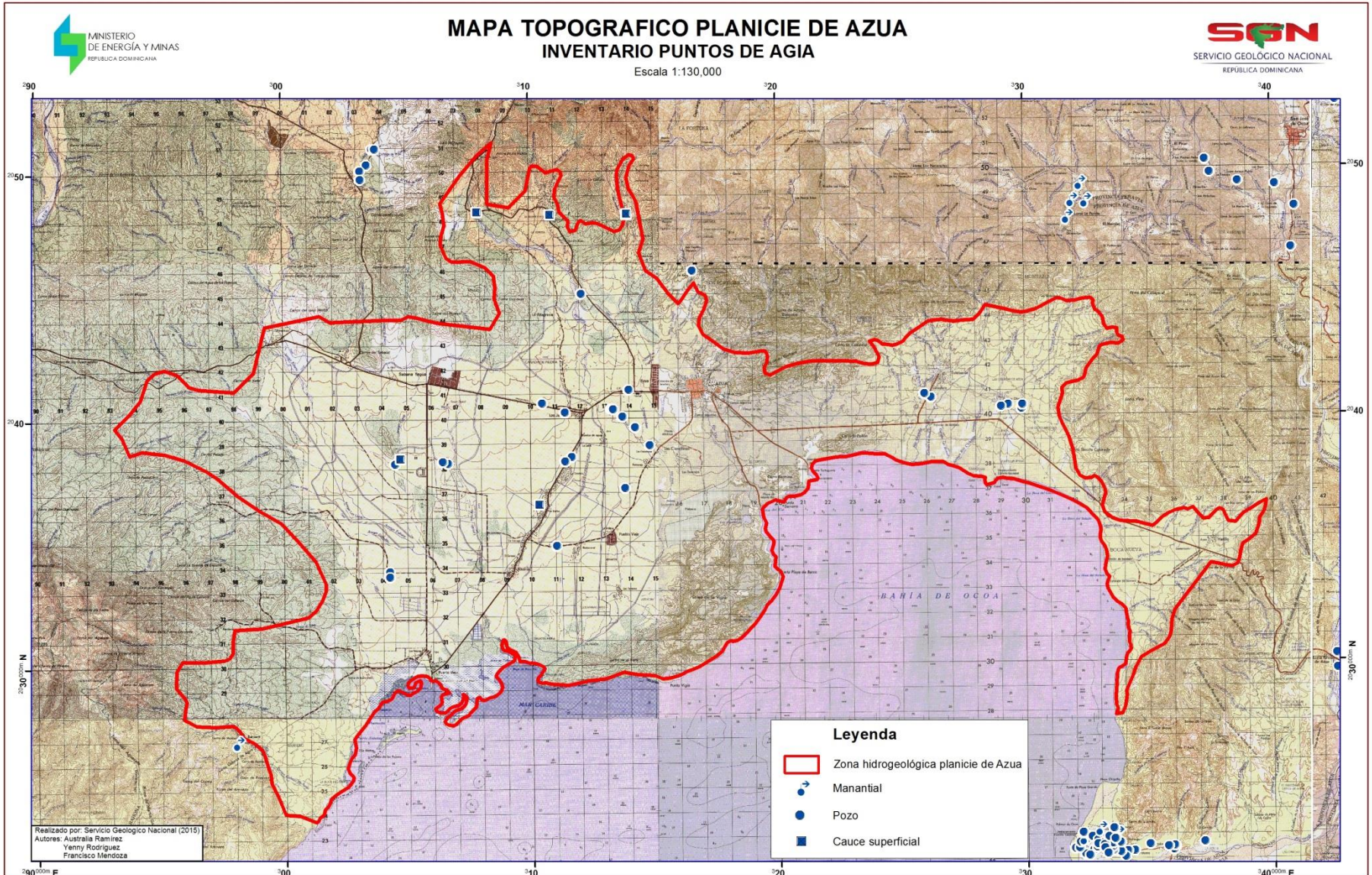
# Diseño plan de muestreo

Los procedimientos desarrollados fueron los siguientes:

- Evaluación inicial de datos existentes del área de estudio
- Inventario de puntos de agua
- Selección de puntos de muestreo
- Selección de los parámetros analíticos
- Selección de la frecuencia del muestreo
- Precauciones de seguridad para el muestreo
- Muestreo de la descarga de pozos de producción, ríos, arroyos, manantiales para análisis químicos e isotópicos

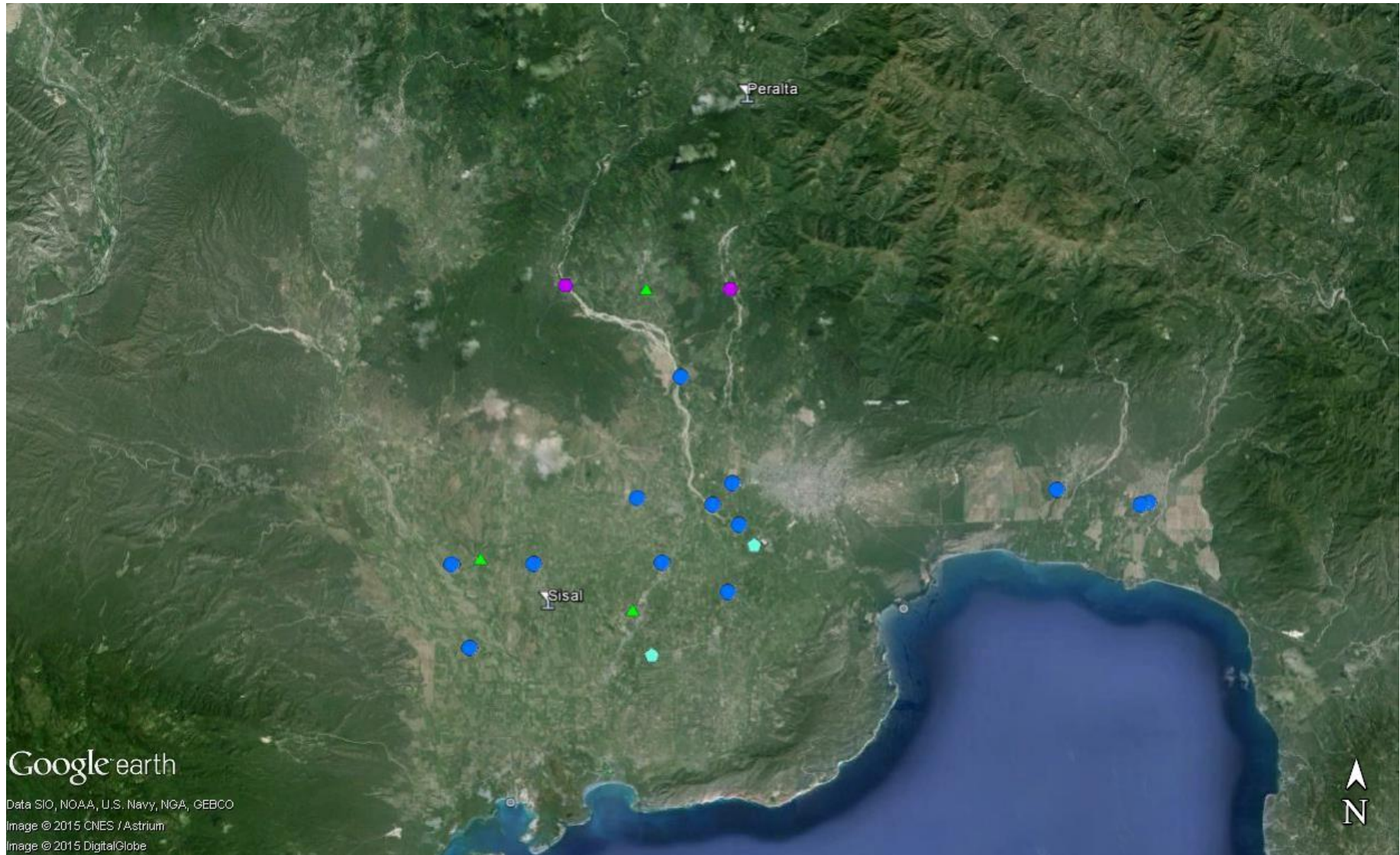


# Diseño plan de muestreo





# Diseño plan de muestreo/ Red de Monitoreo



# Diseño plan de muestreo/cont.

Fecha	No. de Campañas	Cantidad de puntos muestreados	Cantidad por tipo de puntos de agua
13 oct. 2013	1	19	RJ, RI,1M, 13P, 3A
29 - 30 abr. Y 1 de may 2014	2	16	2R, 13P, 1A,2C
29 mayo	3	4	2C, 2P
1 jul. 2014	4	8	8P
13 ago. 2014	5	11	1R, 8P, 2C
10 sep. 2014	6	9	1R, 1A,2C, 5P
1 oct. 2014	7	15	3A, 1C, 10P, 1R
18 nov. 2014	8	5	1R, 3P, 2C

# Determinaciones químicas

**Las determinaciones químicas** se realizaron en los laboratorios del Centro Para la gestión sostenible de los recursos hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA) y del Instituto Nacional de agua potable (INAPA) de la República Dominicana pertenecientes a oficinas gubernamentales.

- **Total de muestras recolectadas**
- Aguas subterráneas: 61
- Aguas superficiales: 19
- Aguas de lluvia: 14

# Resultados/Hidroquímica

SampleSiteName	SampleType	Sampling Campaign	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	Alk	NO3	SiO2	Fe Tot	Dureza Total	TDS	EC	pH	Temp
Arroyo El Barro en el puente	SRI	1	55.2	11.6	27.6	1.2	34.8	9.0	231.8	190.0	4.4	22.1		186.5	294	498	7.3	30.9
Arroyo Ganadero	SRI	1	40.4	9.7	37.0		35.0	15.0	183.0		3.0		3.1	141.0	233	439	8.1	28.2
Arroyo Las Barías	SRI	1	61.0	21.0	60.7	8.6	49.4	21.0	317.2	260.0	13.6	24.5		240.0	477	752	7	31.2
bombeo # 1, Azua	GWB	1	101.7	10.4	13.0		23.0	8.0	337.9		8.0		0.1	297.0	354	667	7.7	28.1
bombeo # 1, Azua	GWB	2	101.0	12.96	11.0		22.0	11.0	346.5	285.0	4.0			306.0	357	606	6.9	29.3
bombeo # 1, Azua	GWB	3	95.4	12.4	16.0		21.0	8.0	345.3	283.0	4.0			289.0	339	605	7.06	30.2
bombeo # 1, Azua	GWB	4	95.0	13.4	35.0		25.0	1.0	400.2	328.0	4.0			292.0		596	7.11	28.8
bombeo # 1, Azua	GWB	6	101.4	10.9	21.0		23.0	6.0	394.1	323.0				298.0	354	595	8.2	29.2
bombeo # 1, Azua	GWB	7	101.4	10.9	30.0		22.0	2.0	402.6	330.0				298.0	353	609	7.3	28.7
bombeo # 1, Azua	GWB	8	98.2	11.4			21.0		313.5	257.0				292.0		629	7.2	25
bombeo # 1, Las Charcas	GWB	1	65.8	29.3	36.8	0.5	34.8	41.0	341.6	280.0	7.5	30.5		286.5	440	790	7	32
bombeo # 1, Las Charcas	GWB	2	66.9	42.1	37.0		36.0	37.0	392.8	323.0	7.0			340.0	460	758	7.4	34.5
bombeo # 1, Las Charcas	GWB	3	66.1	38.4	49.0		29.0	28.0	429.4	353.0	7.0			323.0		727	7.1	32.6
bombeo # 1, Las Charcas	GWB	7	74.9	40.6	44.0		29.0	22.0	470.9	386.0				354.0	454	782	7.7	33.6
bombeo # 1, Villa Corazón	GWB	1	89.8	22.1	21.0		93.0	10.0	262.3	216.0	7.0			316.0	453	734	7.37	29.9
bombeo # 1, Villa Corazón	GWB	2	88.2	18.2	49.0		85.0	6.0	328.2	271.0	7.0			295.0		668	7.9	33.4
bombeo # 3, Estebania	GWB	1	63.6	25.7	89.7	1.8	96.9	12.0	292.8	240.0	41.4	29.8		283.0	766	931	7.1	29.2
bombeo # 3, Estebania	GWB	2	130.7	20.7	8.0		89.0	10.0	300.1	246.0	60.0			411.0	586	922	7.1	28.6
bombeo # 3, Estebania	GWB	3	119.8	26.3	33.0		90.0	11.0	363.6	298.0	53.0			407.0		903	7.1	29.6
bombeo # 3, Estebania	GWB	7	133.5	15.1	5.0		80.0	5.0	351.4	288.0				395.0	494	882	7.3	35.3
bombeo # 4, Finca 4 de Azua	GWB	1	89.7	7.3	17.0		27.0	14.0	283.0		6.0		0.1	254.0	320	604	7.6	27.8
bombeo # 4, Finca 4 de Azua	GWB	2	84.6	12.2	13.0		26.0	10.0	290.4	240.0	3.0			262.0	318	538	7.11	28.3
bombeo # 4, Finca 4 de Azua	GWB	3	81.4	11.7	32.0		20.0	4.0	348.9	286.0	4.0			251.0		523	7.4	28
bombeo # 4, Finca 4 de Azua	GWB	6	82.2	9.2	27.0		18.0	2.0	335.5	275.0				243.0	292	522	7.5	28.5
bombeo # 4, Finca 4 de Azua	GWB	7	83.4	7.5	31.0		19.0	5.0	335.5	275.0				239.0	297	531	7.4	28.6
bombeo # 4A, Finca 4 de Azua	GWB	1	89.7	12.1	23.0		35.0	16.0	305.0		6.0		0.1	274.0	361	668	7.7	28.1

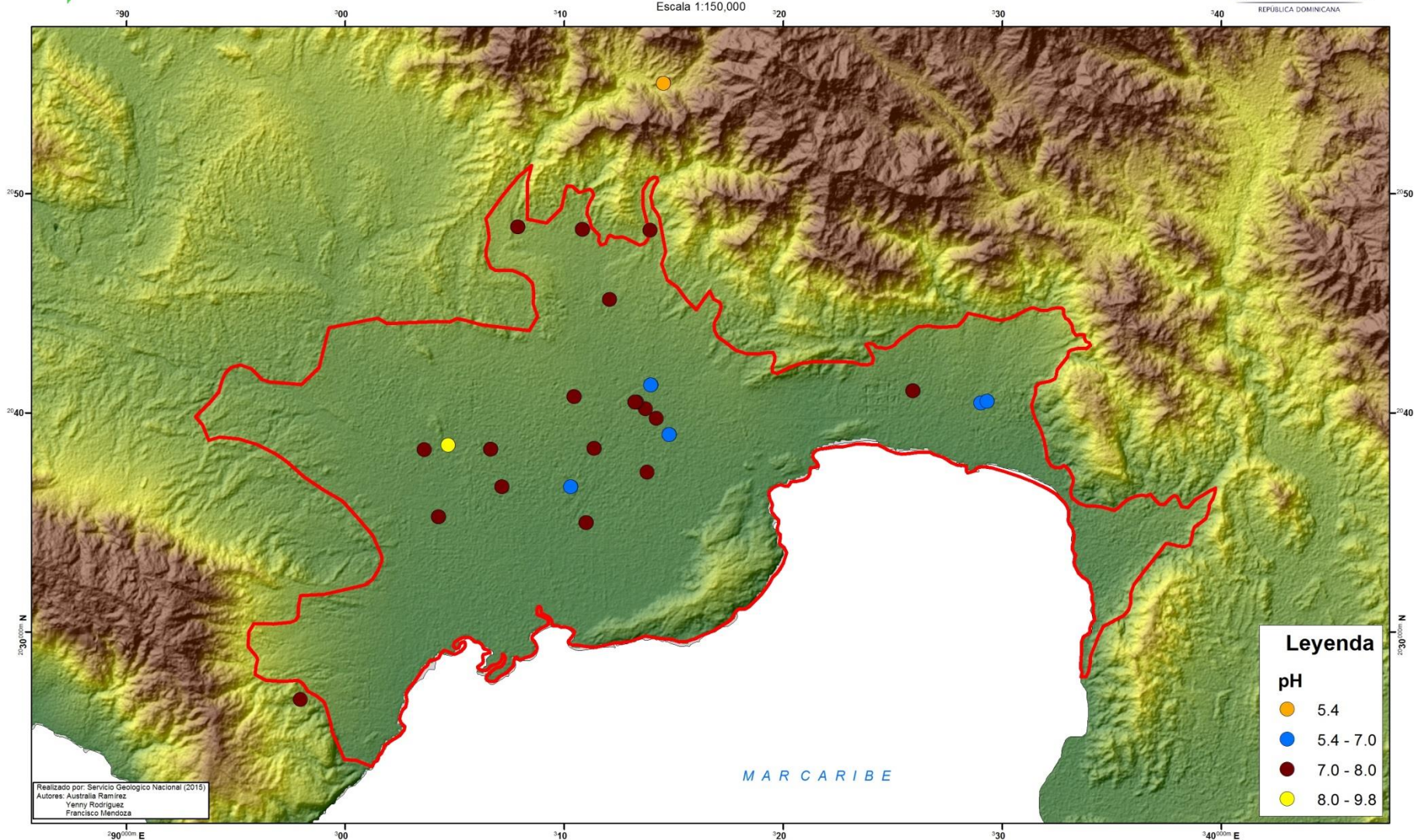


# Resultados/Hidroquímica



## MAPA DE pH PLANICIE DE AZUA

Escala 1:150,000



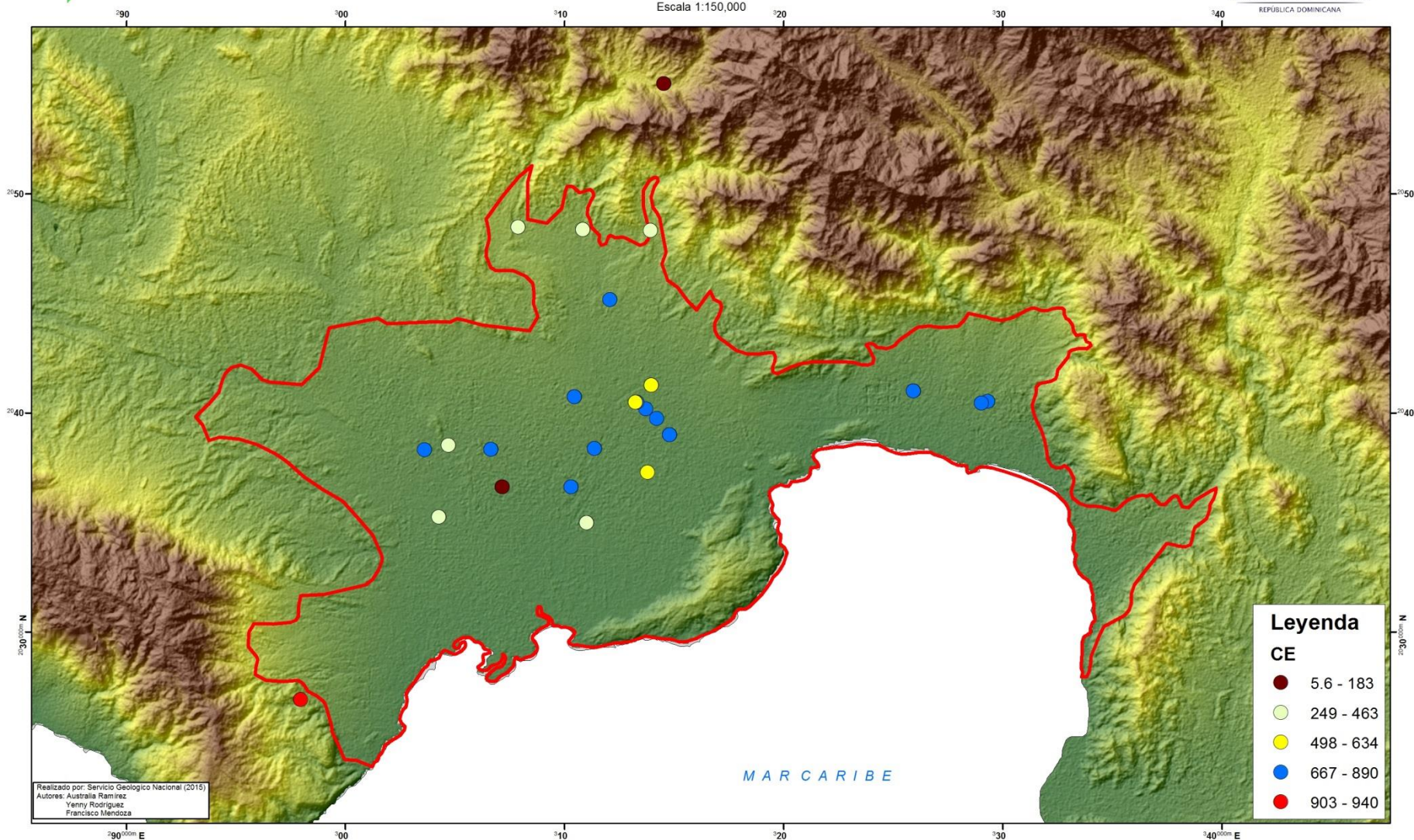


# Resultados/Hidroquímica



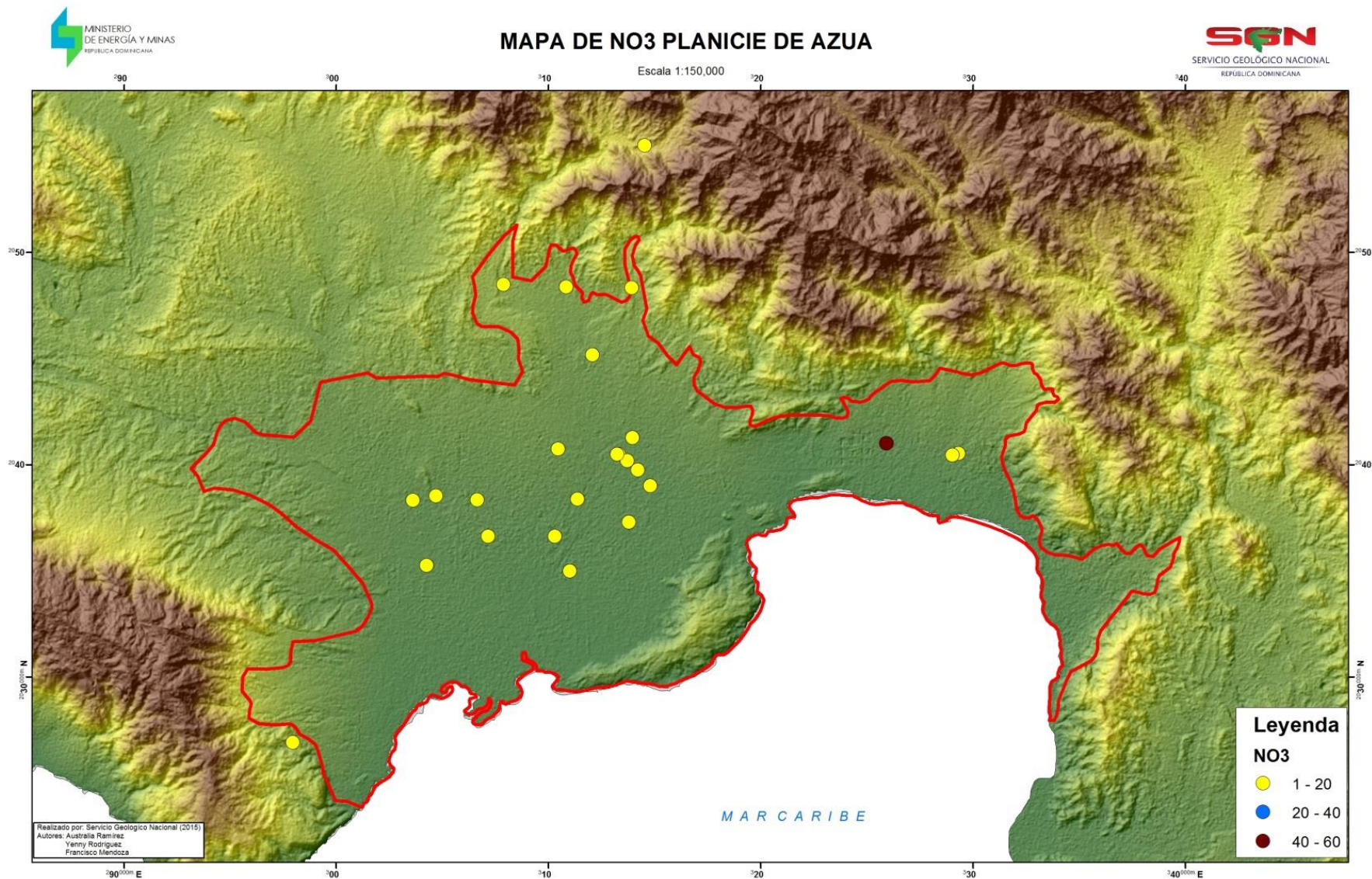
## MAPA DE CE PLANICIE DE AZUA

Escala 1:150,000





# Resultados/Hidroquímica



# **Técnicas isotópicas útiles para distintos tipos de estudios en hidrología subterránea**

**Las técnicas isotópicas son herramientas poderosas para la evaluación cualitativa y caracterización cuantitativa del acuífero.**

1. Variaciones espaciales y / o temporales de los isótopos ambientales contenidos (trazadores naturales): informar sobre el origen de las aguas subterráneas, la dinámica y la edad (o tiempo de residencia).
2. La inyección de isótopos ambientales no presentes en las aguas subterráneas o en concentraciones insignificantes (trazadores artificiales): informar acerca de las rutas de flujo de las aguas subterráneas, los procesos de transporte de solutos, la cantidad de recarga y la magnitud de los parámetros hidráulicos y de transporte.
3. Cuantificación de parámetros hidráulicos de pozos.
4. Propuesta y validación de modelos de flujo y transporte.

# Información que proporcionan los isótopos ambientales estables

- Los isótopos estables son en su mayoría conservativos en el ciclo del agua. Por lo tanto, sus valores reflejan el origen de la molécula de agua o la de los contaminantes estudiados.
- Los cambios en las abundancias naturales son generalmente debido a fraccionamiento isotópico, que afecta más significativamente a los isótopos de la molécula de agua. El fraccionamiento isotópico es controlado principalmente por temperatura, presión y humedad relativa.
- En cuanto a  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ , cada cuerpo de agua de recarga de un acuífero (lluvia, ríos, lagos, mar) tienen su propia composición isotópica. Esta composición es una huella digital para las aguas subterráneas.
- La abundancias en agua de isótopos relacionados con contaminantes ( $^{34}\text{S}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) reflejan su origen y los procesos químicos que tienen lugar a lo largo de sus ciclos.
- Potencial de alerta temprana indicador de l sistema antes de que la cantidad o la calidad del agua esté irreversiblemente dañada.



# ISOTOPOS EN LA PLANICIE DE AZUA

## **$^2\text{H}$ y $^{18}\text{O}$ (estables)**

Información que aportan: localización área de recarga (altitud), origen del agua de recarga (lluvia, río, lago,..), conexión hidráulica con otros acuíferos adyacentes (mezcla), cuantificación de mezclas, existencia de paleoaguas,...

## **$^3\text{H}$ (radioactivo)**

Información que aportan: presencia de agua recargada recientemente, modelo de flujo del agua (flujo tipo pistón, mezcla total), cantidad de recarga, tiempo de residencia del agua subterránea, edad del agua.

# ISOTOPOS EN LA PLANICIE DE AZUA

## **$^{14}\text{C}$ (radioactive); $^{13}\text{C}$ (estable)**

Information que aportan: identificación de paleoaguas, edad del agua, procesos hidrogeoquímicos ocurridos entre el agua y el medio (sólido + gases + materia orgánica), detección de procesos de contaminación desde vertederos urbanos,...

# Determinaciones Isotópicas

**Las determinaciones isotópicas** fueron realizadas por diferentes laboratorios.

El Oxígeno 18 y el Deuterio se realizaron en el laboratorio de Hidrología Isotópica de la IAEA, Viena.

El Tritio fue determinado en los laboratorios analíticos de Seibersdorf, Austria e Hydrosys labor de Budapest.

El Carbono 13 y 14 fueron realizados por la Universidad de Groningen, Netherlands.

**Total de muestras recolectadas  
18O y 2D**

Aguas subterráneas: 61

Aguas superficiales: 19

Aguas de lluvia: 14

# Resultados de Tritio

**Isótopos que indican tiempos de residencia corto.**

<b>Nombre</b>	<b>3H</b>	<b>3H_ERR</b>	<b>3H_Lab</b>
Colector de precipitación Peralta	1.6	0.2	Hydrosys
Est. de bombeo # 1, acueducto de Azua	1.54	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo # 3, acueducto de Estebanía	0.64	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo # 3, acueducto de Estebania	0.6	0.2	Hydrosys
Est. de bombeo # 4, Finca 4 de Azua	1.06	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo # 4A, Finca 4 de Azua	1.74	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo # 5, Finca 4 de Azua	1.27	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo # 6, acueducto de Las Charcas	-0.49	0.4	SEIBERSDORF
Esta. de bombeo # 6, acueducto de Las Charcas	< 0.4		Hydrosys
Est. de bombeo # 6, Finca 4 de Azua	1.14	0.4	SEIBERSDORF
Est. de bombeo #1, acueducto Los Jovillos	1.43	0.4	SEIBERSDORF
Río Irabon 1, Cabullita	1.8	1.8	Hydrosys

# Resultados de 13C y 14C

**Isótopos que indican tiempos de residencia largo.**

Nombre	3H	3H_ERR	3H_Lab	13C	14C	14C_ERR	14C_Lab
Est. de bombeo # 3, acueducto de Estebanía	0.6	0.2	Hydrosys	-11.49	89.31	0.36	Groningen
Esta. de bombeo # 6, acueducto de Las Charcas	< 0.4			-12.86	88.4	0.34	



# Participaciones

Segunda reunión técnica celebrada en la ciudad de Panamá, 2013.

VIII Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea celebrado en la ciudad de Montevideo, Uruguay, 2014.

Tercera reunión técnica celebrada en la ciudad de Santiago de Chile, 2015.

# Algunas conclusiones preliminares

Los resultados de Deuterio y Oxígeno 18 muestran que las aguas de los pozos, ríos y arroyos tienen características isotópicas similares.

Los resultados obtenidos reflejan que en el municipio de Azua, las aguas son jóvenes, mientras que en los municipios de Estebanía y Las Charcas las aguas resultaron más antiguas.

Las muestras analizadas de precipitación, en el municipio de Peralta resultaron más empobrecida que las de El Sisal, debido al proceso de altitud.

# Agradecimiento

