
EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL ACUÍFERO DE ISLA FUERTE

Juan C. Gómez R., Camilo Polanco L. y Maria V. Vélez O.
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín
camilogora@hotmail.com

Recibido para evaluación: 20 de Agosto de 2004 / Aceptación: 09 de Noviembre de 2004 / Recibida versión final: 22 de Noviembre de 2004

RESUMEN

La isla está ubicada en el mar Caribe colombiano, a 11 Km al suroeste del golfo de Morrosquillo. Las principales fuentes de abastecimiento de agua dulce son el agua lluvia, una pequeña laguna artificial, y unos cuantos pozos de agua salobre ubicados muy cerca al mar. Motivados por esta situación, y por la carencia en la isla de corrientes superficiales de agua, se consideró evaluar el potencial de aguas subterráneas para detectar el(los) acuífero(s) de la isla estableciendo los siguientes objetivos en el estudio: determinar la geometría del acuífero, el tipo de acuífero (libre o confinado), la recarga por precipitación y la calidad del agua subterránea. Se presentan en este trabajo los resultados de esta evaluación.

PALABRAS CLAVES: Isla, Acuífero, Geofísica, Resistividad Eléctrica, Recarga, Agua Subterránea, Geomorfología, Geología.

ABSTRACT

This island is located in the colombian caribbean sea, at 11 Km from the southwest of the Golfo de Morrosquillo. There are three principal sources to supply the necessity of drinking water; rain, a small artificial lagoon and some wells which pump little salty water. This situation and the lack of superficial water currents motivated us to do a groundwater potential evaluation to detect the aquifers of the island establishing the next objectives in the research: to set aquifer's geometry, its type (unconfined or confined), the precipitation recharge and groundwater quality. Below, it presents the results of that evaluation.

KEY WORDS: Island, Aquifer, Geophysics, Electrical Resistivity, Recharge, Groundwater, Geomorphology, Geology.

1. INTRODUCCIÓN

Isla Fuerte tiene un área de 3.25 km² y una población de 2000 habitantes aproximadamente, cuya actividad económica principal es la pesca. Las fuentes de abastecimiento de agua de la isla son una laguna artificial de poca área, unos cuantos pozos de agua salobre y agua lluvia recolectada.

Isla Fuerte se encuentra localizada en la plataforma continental del noroeste colombiano, ver Figura 1, entre latitudes 9°20'30"N a 9°24'30"N y entre longitudes 76°10'00"W a 76°12'30"W. Hace parte de un domo diapírico parcialmente emergido, cubierto por formaciones arrecifales pleistocénicas y holocénicas (Vernette, 1989).

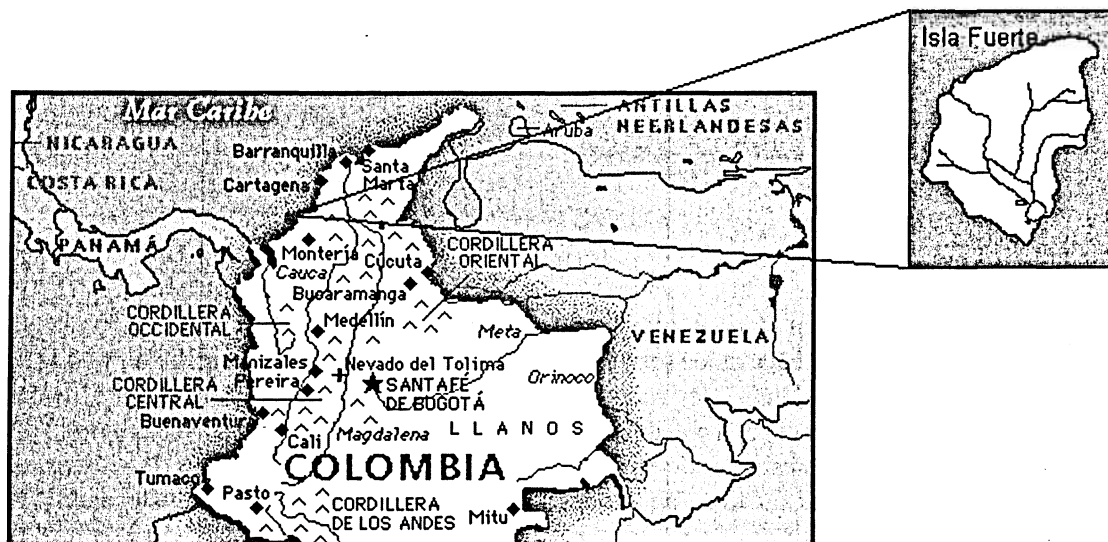


FIGURA 1.
Localización de Isla Fuerte.

Isla fuerte presenta una temperatura promedio de 25°C a 30°C. Presenta dos épocas climáticas, una de verano que va desde diciembre a abril y una época de invierno que está comprendida entre mayo y noviembre. El régimen climático está influenciada por la zona de convergencia intertropical (Inter-Tropical Convergence Zone - ITC). (Anderson, 1971).

2. GEOMORFOLOGIA REGIONAL Y LOCAL

La geomorfología regional en la parte costera (continente) se divide en costa alta, la cual comprende la parte no acantilada, con elevaciones costeras como la de Paso Nuevo (caserío al frente de Isla Fuerte), San Antero, San Onofre y Punta Canoas al sur de Galerazamba. Estas están conformadas por colinas suaves, bajas en alturas (no mayor a 250 m.s.n.m), pendientes entre 14° y 5° y con orientaciones SSW-NNE. En el sector Paso Nuevo se observa una superficie disectada, en donde las cimas se encuentran a una misma altura (inferior a 30 m.s.n.m).

La geomorfología local de la isla se caracteriza por tener pendientes muy suaves, sin colinas o alturas considerables, presentando dos terrazas coralinas. La primera se encuentra a 20 m.s.n.m en el centro de la isla y fue la primera porción de la isla que emergió del mar. La segunda terraza se encuentra bordeando todo el perímetro de la isla a 9

metros de diferencia de la primera terraza y fue la segunda y última porción en emerger; presentando una topografía suave. Al igual que la primera terraza se encuentra inclinada hacia el oeste. (Anderson, 1971). Estas terrazas contrastan con las colinas onduladas que se observan en el continente.

3. GEOLOGIA

La isla, en su área total de 3.25 km² consta en su mayor parte de calizas coralinas de color amarillo con algunas cavernas con estalactitas, producto de una disolución de las calizas. Se observan arenas calcáreas producto de la desintegración de los organismos calcáreos. Este material junto con algo de arenas de origen continental, que provienen del delta del río Sinú, son los principales componentes del material de las playas de isla.

Se encuentran arcillas grises con algo de óxidos de hierro, en muy pocos afloramientos de la isla, estas arcillas no son pelágicas ni hemipelágicas (no se les encontró microfósiles), posiblemente provenientes de un volcanismo de lodo que caracteriza gran parte de la región del Caribe colombiano.

El suelo está compuesto de un Horizonte «A» de color gris de 10 cm de espesor. La materia orgánica se presenta en muy poca proporción debido al clima de la región, el cual no permite la acumulación de humus. El horizonte «B» tiene un color pardo rojizo, su espesor es un poco mayor a 1m. El horizonte «C» tiene un color gris claro y con un poco de coral meteorizado que se ha transformado en arcillas blancas y amarillas (Anderson, 1971).

Las calizas coralinas (estrato permeable), son corales fósiles de color amarillo a blanco, tienen un espesor de 11m aproximadamente, con algunas cavernas en diferentes lugares de la isla, estas cavernas son pequeñas, la mayor tiene dos metros de extensión horizontal por 1.5 m de altura y son producto de la disolución de las calizas cuando el nivel del mar estuvo a ese nivel. Las arenas con gran porcentaje de carbonatos y material continental (estrato permeable), son arenas de color blanco, tienen un espesor no mayor a 50 cm. Las arcillas grises con algunos óxidos de hierro (estrato impermeable), son un estrato de aproximadamente 7 m de altura, se cree (por registros eléctricos) que su espesor es bastante grande, son arcillas sin ningún contenido fosilífero.

En la Figura 2 se muestra una columna estratigráfica general de la isla.

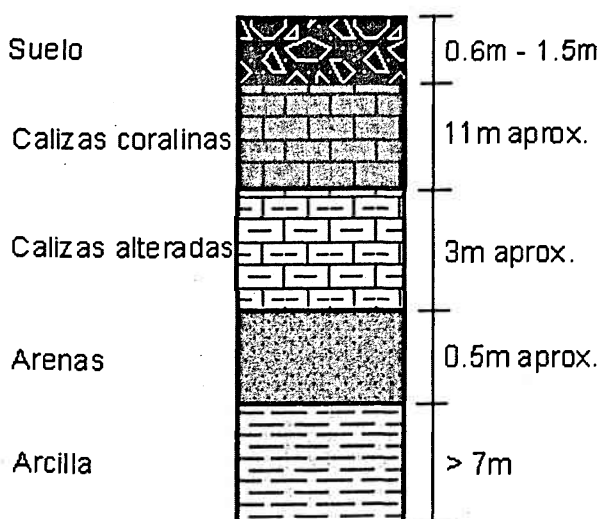


FIGURA 2.

Columna estratigráfica general de la isla.

Para el origen geológico de Isla Fuerte, se tienen dos hipótesis. La primera según (Anderson, 1971) plantea que probablemente existió una saliente de la costa continental, posteriormente Isla fuerte quedó sumergida (por el incremento del nivel del mar), hasta una profundidad dada que los corales pudieran crecer. Al bajar el nivel del mar, los corales quedaron expuestos a la atmósfera, impidiendo que sobrevivieran y quedar finalmente fosilizados. Todo esto estuvo bajo una actividad tectónica, logrando un basculamiento de la isla hacia el oeste; este basculamiento o inclinación corresponde al levantamiento e inclinación de los estratos terciarios que se encuentran desde Urabá hasta el Cerro de la Popa en Cartagena. Se concluye con que los lodos fueron transportados por la boca del río Sinú y que Isla Fuerte posiblemente se formó al mismo tiempo que las Islas del Rosario hace 5.000 a 10.000 años (Cuaternario).

La segunda hipótesis (Vernette, 1989) sugiere la posibilidad de un origen diapírico. El margen colombiano del Caribe es un lugar de gran actividad diapírica arcillosa, la cual se manifiesta por una geoforma de volcanes de lodo. Estos volcanes se encuentran tanto en el talud como en la plataforma continental y la franja costera. Los domos volcánicos que se encuentran ubicados en la zona fótica están sujetos a la colonización de arrecifes y estos a su vez están controlados para su desarrollo por las variaciones del nivel del mar. Esta instalación de arrecifes representa una etapa intermedia en la construcción de esta margen activa por organización de islotes, con facies carbonatadas en un ambiente arcillo-arenoso. Muchos de estos islotes están asociados a diapirismo y cambios del nivel del mar (transgresión holocénica). Las formaciones actuales de arrecifes comprenden las Islas del Rosario, Islas de San Bernardo y otros bancos pocos profundos (entre ellos isla Fuerte). Algunos datos de C14 muestran una edad de los arrecifes de 12.000 y 9.000 años (Holoceno). Además las diferencias de edades de los arrecifes de la plataforma, las terrazas y mesetas arrecifales, sugieren un crecimiento en etapas sucesivas y pueden corresponder a la formación del sector oeste del frente de deformación del sur caribeño colombiano.

4. GEOFÍSICA

Se utilizó el método geofísico de resistividad eléctrica haciendo nueve sondeos eléctricos verticales (SEV) utilizando el arreglo electródico Schlumberger con el equipo de resistividad GEOTRADE GTR2 de fabricación suiza, ver Figura 3.

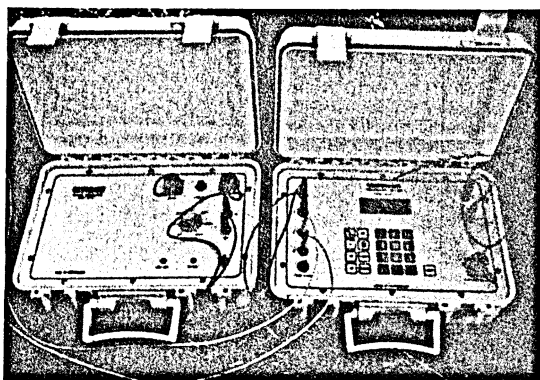


FIGURA 3.
Geotrade GTR2

Se hicieron tres calibraciones en afloramientos para saber la respuesta de las resistividades de los materiales que conforman el subsuelo de la isla. Los rangos obtenidos son:

Resistividad Ω	Suelo
5-10 Ohmio.m	Arcillas
11-30 Ohmio.m	Coral y coral meteorizado con agua dulce
31-100 Ohmio.m	Coral seco

La Figura 4 muestra la ubicación de los nueve sondeos eléctricos verticales.

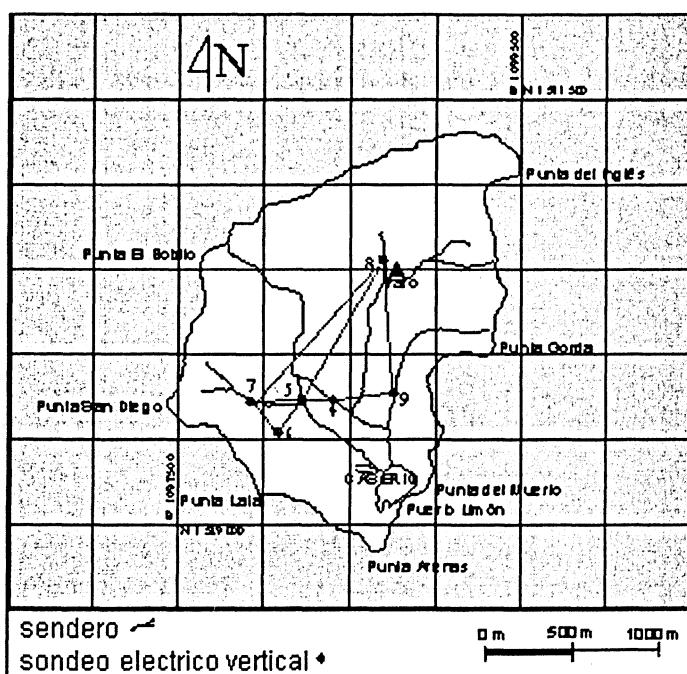


FIGURA 4.
Ubicación de los SEV

Las curvas de resistividad se analizaron con el software WINSEV5.1. Un ejemplo se muestra en la Figura 5. Los rangos de resistividad mencionados anteriormente establecidos según las calibraciones, se relacionan con los valores de resistividad propuestos por el modelo generado por el WINSEV, y así, representar el SEV con su respectiva columna estratigráfica. Un ejemplo se muestra en las Figuras 6 y 7.

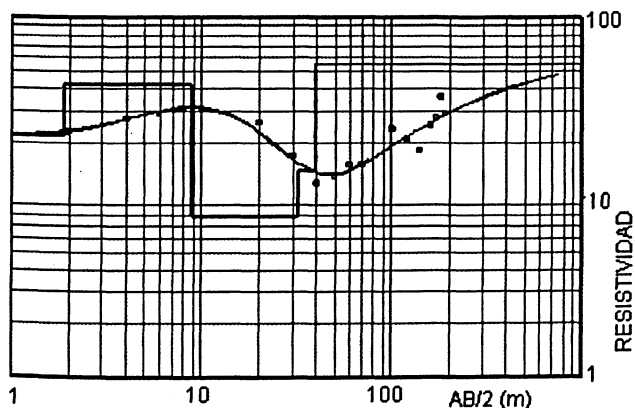


FIGURA 5.
Curva de resistividad del SEV 5

Correlacionando las columnas generadas a partir de la interpretación de las curvas de resistividad aparente por medio de transectos, además de la información geológica y niveles de agua en los aljibes, se estableció el modelo hidrogeológico de la isla definiendo la ubicación del acuífero y su espesor. Este espesor varía desde unos pocos centímetros hasta más de cinco metros. Un ejemplo de un transecto se muestra en la Figura 8.

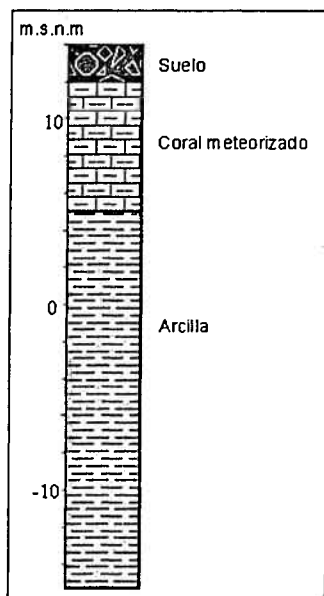


FIGURA 6.
Columna asociada al SEV5

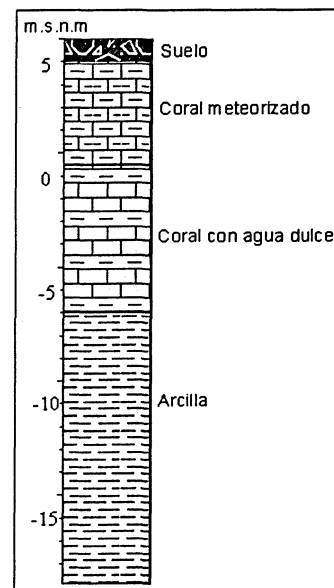


FIGURA 7.
Columna asociada al SEV7

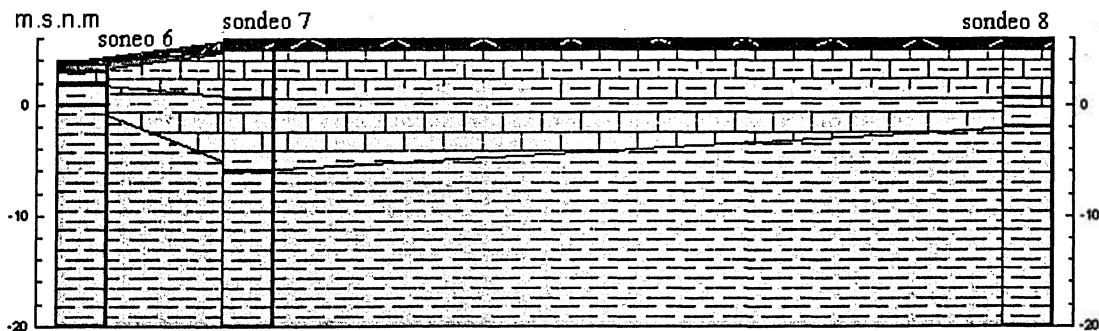


FIGURA 8.
Correlación entre SEV 6,7 y 8

El acuífero se dividió por zonas de recarga según los espesores de los estratos no saturados para efectos del balance hídrico, su ubicación se muestra en la Figura 9.

5. BALANCE HIDROLÓGICO

Se estima la recarga del acuífero proveniente de la precipitación únicamente, ya que en la isla no hay corrientes de agua superficiales como quebradas o arroyos, ni cuerpos de agua que podrían representar otra fuente de aporte, como lagos o lagunas. Aunque en el centro de la isla existe, la llamada laguna, pero se encuentra aislada con impermeabilizantes en su fondo que evitan el intercambio con la zona no saturada (zona vadosa) y saturada del subsuelo (acuífero).

El volumen de control para hacer el balance está definido por los estratos que componen la zona no saturada, ver Figura 10.

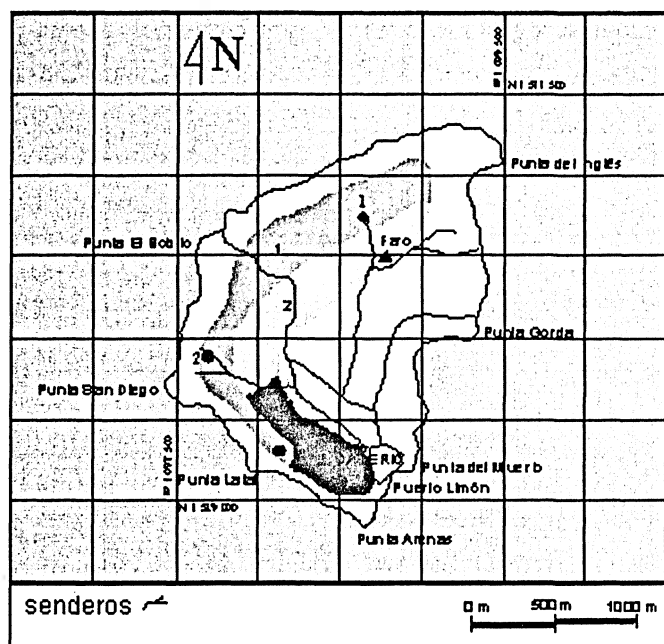


FIGURA 9.
Ubicación del acuífero.

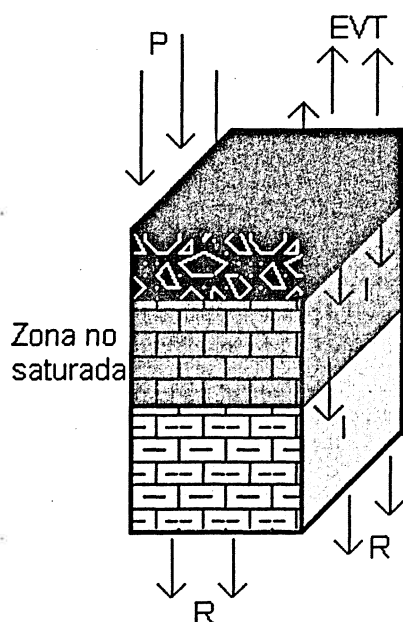


FIGURA 10.
Volumen de control para estimar la recarga.

La ecuación de balance hídrico para la isla se puede plantear según el volumen de control como:

Entradas = Salidas

$$P = EVT + I$$

La escorrentía superficial se desprecia, debido a que la topografía de la isla, a pesar de tener dos terrazas, se considera plana.

El intervalo de tiempo para el balance se discretiza para el período seco y húmedo del año, con base en el ciclo anual de precipitaciones.

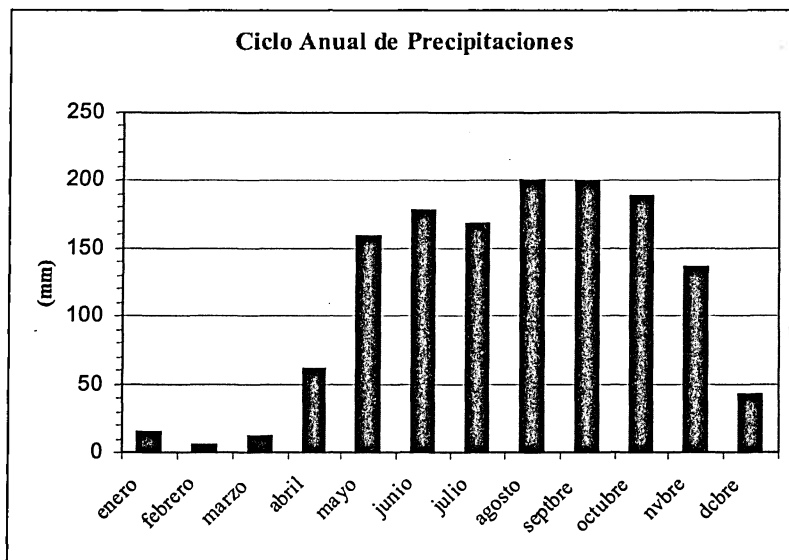


FIGURA 11.
Ciclo anual de precipitaciones

En la Figura 11 se muestra el ciclo anual de precipitaciones y en la Tabla 1 se presentan la precipitación mensual y los resultados del cálculo de la evapotranspiración real mensual calculada con la ecuación de Budyko, a partir de la evapotranspiración potencial, como promedio de la calculada por los métodos de Thornthwaite, García y López, Cenicafé y Turc Modificado.

TABLA 1. Precipitación y Evapotranspiración mensual		
Mes	P (mm)	EVP Real (mm)
Diciembre	43	42
Enero	15	15
Febrero	6	6
Marzo	12	12
Abril	62	57
Final periodo seco	137	130
Mayo	159	103
Junio	178	107
Julio	168	106
Agosto	200	112
Septiembre	199	109
Octubre	189	108
Noviembre	137	94
Final periodo húmedo	1229	740

La ecuación de balance será entonces:

$$I = P - EVT$$

$$\text{Si } I_e = I - Cc - Pm$$

En donde I_e : infiltración eficaz

Cc : capacidad de campo

Pm : Punto de marchitez

La recarga, $R = I_e$, o sea

$$R = P - EVP - Cc - Pm$$

El punto de marchitez y la capacidad de campo son parámetros del suelo necesarios para hacer el balance hídrico, ya que expresan la cantidad de agua que retiene el suelo en el proceso de infiltración

El agua que no puede absorber la planta se llama inerte o higroscópica y una buena aproximación de su valor es la humedad residual del suelo θ_r . La capacidad de campo se considera como la cantidad de agua que un suelo retiene después de que el agua libre ha sido filtrada, o sea la cantidad máxima que puede retener contra la gravedad, depende del tipo de suelo y una buena aproximación de su valor es la humedad de saturación θ_s .

Para hallar estos valores, se tomaron muestras de suelo en diferentes apiques hechos en la isla. La ubicación de los apiques se muestra en la Figura 12.

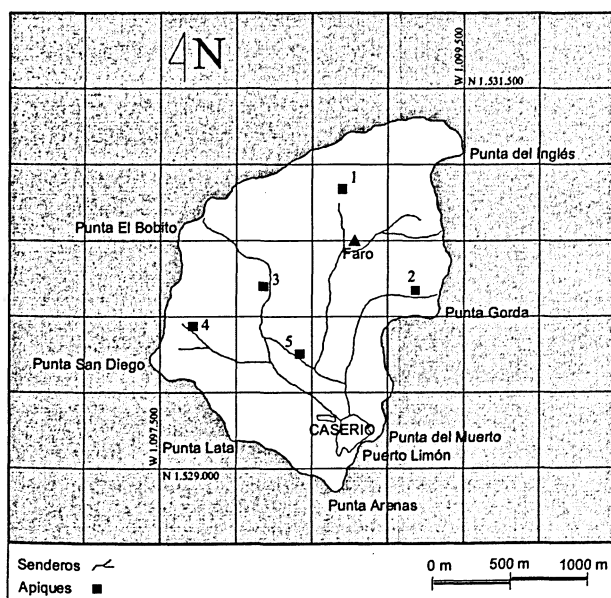


FIGURA 12.

Ubicación de las muestras de suelo.

La metodología empleada para determinar la humedad de saturación se basa en el principio de succión por capilaridad, y utiliza un recipiente que contiene arena fina (60-100 μ m) saturada. A las muestras de suelo se le coloca un papel filtro sujeto con una banda elástica en la superficie en contacto con la arena y luego se colocan sobre ella tapando el recipiente que contiene la arena para evitar que se evapore el agua, ver Figura 13. Lo que se pretende es que todos los poros queden llenos de agua sin que se produzca una sobresaturación del suelo.

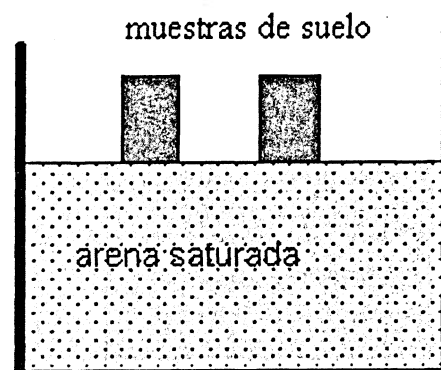


FIGURA 13.
Muestras saturadas

Para hallar la humedad de residual θ_r , las muestras utilizadas se pesaron secas al aire; se llevaron al horno por 72 horas y se pesaron luego de secadas al horno. Ambos parámetros se calculan como el porcentaje de peso del agua con respecto al suelo, teniendo en cuenta el peso del agua para cada estado.

$$\theta = \frac{\text{peso agua}}{\text{peso suelo seco en horno}}$$

Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

TABLA 2.
Cálculo de la humedad de saturación θ_s

	Peso	Peso	Peso	Altura	Volumen	θ_s
Muestra	Saturado (g)	Seco Horno(g)	agua (g)	Muestra	Muestra(cm3)	(%)
A5E1	166.4	136.4	30	5	83.1	22.0
A2E1	150.5	114.5	36	4.4	73.1	31.4
A4E1	174.1	134.8	39.3	4.5	74.8	29.2
A5E2	185.7	152.5	33.2	4.5	74.8	21.8
A2E2	207.1	174.3	32.8	5	83.1	18.8
A1E1	191.6	153.7	37.9	5	83.1	24.7
A3E1	201.1	164.4	36.7	5	83.1	22.3
Coral	283.3	234.5	48.8	-	237.6	20.8

TABLA 3.Cálculo de la humedad residual q_r

Muestra	Peso Seco al Aire (g)	Peso Seco Horno(g)	Peso agua (g)	Altura Muestra	Volumen Muestra(cm3)	θ_r (%)
A2E1	124.7	114.1	10.6	4	66.5	9.3
A4E1	142.5	129.2	13.3	4.7	78.1	10.3
A5E2	145.8	132.6	13.2	4.8	79.8	10.0
A1E1	180.8	164.7	16.1	5	83.1	9.8
A3E1	176.2	158.8	17.4	4.7	78.1	11.0
Coral	254.2	234.5	19.7	-	237.6	8.4

Para hacer el balance hídrico, el contenido de humedad se expresa en milímetros de agua por longitud de espesor de suelo, en lugar de porcentajes de pesos. Para lograr esto, se emplea la siguiente ecuación:

$$d = \frac{\rho_s * \theta_d}{\rho_a} * e$$

En donde

 d : milímetros de agua en el suelo ρ_s : densidad de la masa

$$\left(\frac{\text{peso muestra secada al horno}}{\text{volumen muestra}} \right)$$

 ρ_a : densidad del agua

$$\left(\frac{1g}{cm^3} \right)$$

 θ_d : humedad disponible

$$(\theta_s - \theta_r)$$

 e : espesor de suelo**TABLA 4.**Agua equivalente a los estados de humedad θ_r y θ_s

Estrato	ρ (g/cm ³)	θ_r (%)	e (m)			d_r (mm)		
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Suelo	1.9	10	0.6	1	0.8	114	190	152
Coral	1.0	8	0.2	4.5	1.5	16	360	120

Estrato	ρ (g/cm ³)	θ_s (%)	e (m)			d_s (mm)		
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Suelo	1.9	25	0.6	1	0.8	285	475	380
Coral	1.0	21	0.2	4.5	1.5	42	945	315

Cálculo de la recarga

La recarga se hace para cada zona y se estima de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R = P - EVT - RETIENE EL SUELO$$

El balance se comienza con el período seco y se supone que el suelo está seco o a capacidad de campo, se hace por estratos para ir acumulando para cada uno de ellos lo que retiene el suelo y valorar la infiltración efectiva que sucede con el paso del agua a través de ellos, teniendo en cuenta que, para que el agua drene de un estrato al otro, el primero debe alcanzar la capacidad de campo o el valor de θ_s .

TABLA 5.
Balance hídrico para la zona 1.

Suelo período seco							
P (mm)	EVT (mm)	I (mm)	dr (mm)	df (mm)	ds (mm)	Déficit de θ (mm)	R (mm)
137	130	7	114	121	285	-164	0
Suelo período húmedo							
1229	740	489	121	285	285	0	325
Coral período húmedo							
		325	16	42	42	0	299

TABLA 6.
Balance hídrico para la zona 2.

Suelo período seco							
P (mm)	EVT (mm)	I (mm)	dr (mm)	θ_f (mm)	ds (mm)	Déficit de θ (mm)	R (mm)
137	130	7	190	197	475	-278	0
Suelo período húmedo							
1229	740	489	197	250	250	0	211
Coral período húmedo							
		211	360	571	945	-374	0

TABLA 7.

Balance hídrico para la zona 3.

Suelo período seco							
P (mm)	EVT (mm)	I (mm)	dr (mm)	θ_f (mm)	ds (mm)	Déficit de θ (mm)	R (mm)
137	130	7	152	159	380	-221	0
Suelo período húmedo							
1229	740	489	159	200	200	0	268
Coral período húmedo							
		268	120	315	315	195	73

La recarga nula en la zona dos implica que el espesor de coral (4.5m) tiene la capacidad de retener el agua en una cantidad mayor a la que se infiltra.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agua infiltrada de la precipitación se almacena en un estrato compuesto por coral, con interfases de coral meteorizado y arena fina. Por correlación entre los sondeos eléctricos verticales, se piensa que se extiende se sur a norte, entre la margen de la costa oeste y muy probablemente hasta la proyección vertical de la segunda terraza (10 m.s.n.m) con un área de 0.8 Km² aproximadamente. Su espesor varía entre 0.5m a 6.5m, debido posiblemente a pinchamientos entre estratos.

El fondo del acuífero es toda su extensión está limitado por arcilla y su superficie se encontraría limitada en unas partes por una capa directa de suelo de unos pocos centímetros hacia la margen de la costa, y por coral meteorizado precedido de suelo hacia el centro de la isla. No se detectaron estratos impermeables o semi-impermeables entre el coral y la arcilla con los sondeos eléctricos verticales, lo que supone que el acuífero es libre.

La recarga por precipitación para la zonas 1 y 2 es de 299 y 73 mm de agua respectivamente, con un total de 372 mm al año, que distribuidos sobre el área de 0.8 Km² representarían un volumen de 297600 m³ de agua disponible al año con un caudal de explotación máximo de 0.009 m³/s ó 9 L/s.

Teniendo en cuenta el consumo por habitante al día para suplir las necesidades de aseo, preparación de alimentos, lavado de ropas y otras actividades, se calcula una demanda de 65 a 85 L/hab.día, que para la población (2000 hab.) representa 130000 a 170000 L/día y un caudal de 1.5 a 2.0 L/s. Este caudal de demanda es menor que el caudal disponible dado por el acuífero (9 L/s), supliendo perfectamente la demanda de agua en la isla.

Sería ideal corroborar el método indirecto de resistividad eléctrica con otro método geofísico para tener más certeza de la conformación del subsuelo.

No se hicieron pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero como su permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

El alto contenido de hierro en agua subterránea se asocia a la disolución del mineral proveniente de las arcillas que están en contacto con el acuífero. No representa riesgo para la salud.

El pozo 3, presenta altos contenidos de cloruros (Cl), muy probablemente se presenta intrusión salina, más no se asegura que sea la causa.

Se recomienda la rehabilitación de los cuatro pozos existentes, implementándolos de bombas manuales y un recubrimiento adecuado con el fin de mejorar la técnica de explotación del recurso hídrico y el mejoramiento de la calidad del agua.

Se recomienda la construcción de un quinto pozo que se ubique en la zona noroeste (Punta EL Bobito), con el fin de brindar comodidad y accesibilidad a los habitantes de este sector.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, P. 1971. Isla Fuerte, Geografía Micro Regional de la Isla Colombiana. Tesis de Maestría en Geografía. Universidad de California, Berkeley
- Barco, O. y Cuartas, A. 1996. Estimación de la Evaporación en Colombia, Tesis de Maestría, Posgrado en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 136 pp.
- Perez, J. A. 1997. Manual de Potabilización del Agua, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 504 p.
- Perez, J. A. 1998. Diseño de Acueductos y Alcantarillados, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 276 p.
- Vernette, G. 1989. . Impact du Diapirisme Argileux sur les Recifs de la Plate-Forme Colombienne des Caraibes . Tesis doctoral, Universidad de Bordeaux. pp 97-105,

