

ESCENARIOS RELACIONADOS CON LA INTRUSIÓN MARINA.  
CASO DE ESTUDIO CUENCA ARTEMISA – QUIVICÁN, PROVINCIA HABANA.  
LA HABANA – CUBA

*Manuel Núñez Lafitte*<sup>1</sup>

**RESUMEN**

La intrusión marina es el proceso por el cual el agua de mar desplaza en un acuífero el agua dulce como consecuencia de una reducción sensible de la carga hidráulica, ya sea por acciones naturales o por actividad antrópica.

La intrusión marina tiene lugar principalmente en los acuíferos costeros independientemente a la litología predominante.

En este trabajo se aborda el análisis del escenario que en el abasto de agua subterránea a la Ciudad de La Habana y Provincia Habana produciría la intrusión marina durante la ocurrencias de años secos, simultaneados, con altas explotaciones del acuífero y el no mantenimiento de obras de recarga como es el caso del Dique Sur.

Se cartografía el escenario de peligro que muestra el pronóstico de la penetración expresada en longitud de la cuña de intrusión marina tomando como condiciones de contorno las variables que pueden ser desfavorables por su variación temporal, tales como la precipitación, explotación y abatimiento. Se considera constante el espesor de la lámina de agua dulce.

*Palabras clave:* acuífero, intrusión marina, agua subterránea

**ABSTRACT**

Sea water intrusion is the process by which the sea water in an aquifer displaces the sweet water as consequence of a sensitive reduction of the hydraulic head, either for natural actions or for anthropic activity

Sea water intrusion takes place in the coastal aquifers mainly independently to the predominant lithology. In this work the scenario analysis is approached by studying the effects that sea water intrusion in dry years would produce to the supply of underground water to the City of Havana and Havana Province, when there would be high exploitation of the aquifers without maintenance of recharge works such as in South Dike.

There would be a cartography of the scenario in danger to show the presage of the penetration expressed in the longitude of the marine intrusion wedge, taking as contour conditions

---

<sup>1</sup> Licenciado. Instituto de Geofísica y Astronomía. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. CITMA. <mnunez@iga.cu>.

the variable that may be unfavorable for their temporal variation, such as precipitation and depression. The thickness of the sheet of sweet water is considered constant.

*Key words:* aquifer, marine intrusion, underground water

## INTRODUCCIÓN

La cuenca subterránea Güira-Quivicán presenta un elevado nivel de explotación de sus aguas desde hace muchos años, incluso por encima de sus recursos explotables calculados. Esto, unido al drenaje indiscriminado por medios de canales, ha hecho que la salinidad se haya manifestado afectando a grandes áreas de riego de tierras fértiles.

Económicamente, el área constituye una de las zonas agrícolas más importantes de la provincia y de gran peso en la alimentación de la población. A su vez en la cuenca está enclavado uno de los acueductos más importante que abastece de agua subterránea a Ciudad de La Habana: el acueducto Cuenca Sur.

Los bajos ingresos al acuífero de las precipitaciones en el período húmedo presentaron en los últimos 25 años un déficit continuo que junto al drenaje y la explotación del acuífero redujo la disponibilidad de agua subterránea en el territorio y provocó el deterioro paulatino de la calidad química del agua debido al aumento de la salinidad (Núñez Lafitte 2005). Por tal motivo se propuso en 1975 la proyección de un dique experimental de más de 4,1 km de frente hacia la zona de Playa Cajío. Este dique, que actualmente se mantiene, ha pasado a ser una obra para recordar en la Provincia Habana.

## Situación geográfica

La cuenca Artemisa-Quivicán, ubicada en la parte central del extremo sur de la Provincia Habana, está situada en las coordenadas este 320-360 y norte 320-340. La región es una llanura cársica erosiva denudativa con un ancho de 15-20 km, con variación de cotas absolutas de 1.00- 40.00 m sobre el nivel del mar. En esta porción de la Cuenca Sur de La Habana, se desarrollan fundamentalmente las formaciones Cojimar y Güines del Neógeno representada por calizas cársicas muy almacenadoras de agua, gran conductividad hidráulica ( $\geq 250\text{m/d}$ ) los espesores de caliza en la formación Jaruco hasta 225 m mientras que en la formación Cojimar hasta 500 m de profundidad.

## Características hidrológicas e hidrogeológicas

La cuenca está caracterizada como cuenca abierta (interconectada con el mar) y ocupa una extensión de 487 km<sup>2</sup>. Los suelos son del tipo ferralítico rojo, de muy buen drenaje y altamente productivos. la circulación de las aguas subterráneas se realiza en toda la llanura y en dirección sur, la transmisividad varía de 5.000 m<sup>2</sup>/d hasta 50.000 m<sup>2</sup>/d; esta amplitud esta determinada por el grado de amplitud de carsificación de las calizas (Popov y López 1998) el coeficiente de almacenamiento varía de 0,03-0,20.

### Explotación

La extracción de las aguas subterráneas en la cuenca es considerable por el caudal de las fuentes hasta 0,200 m<sup>3</sup>/s. Los principales usuarios son los acueductos de caudal sumario de 3,2 m<sup>3</sup>/s y los sistemas de riego con caudales de 3,5 seg. El volumen de los acueductos se encuentra concentrado en la parte sur, siendo el más explotado el tramo Güira-Quivicán. El acueducto Cuenca Sur por sí solo, de acuerdo a la serie 1983-2003, ha extraído como media 6,025 hm<sup>3</sup>.

### Precipitaciones

El valor medio de lluvia anual es de 1.398 mm y se produce fundamentalmente durante los meses húmedos del año, donde pueden presentarse eventos extraordinarios como ciclones tropicales que proporcionan abundantes precipitaciones, o sequías continuadas, las cuales limitan grandemente la disponibilidad del recurso.

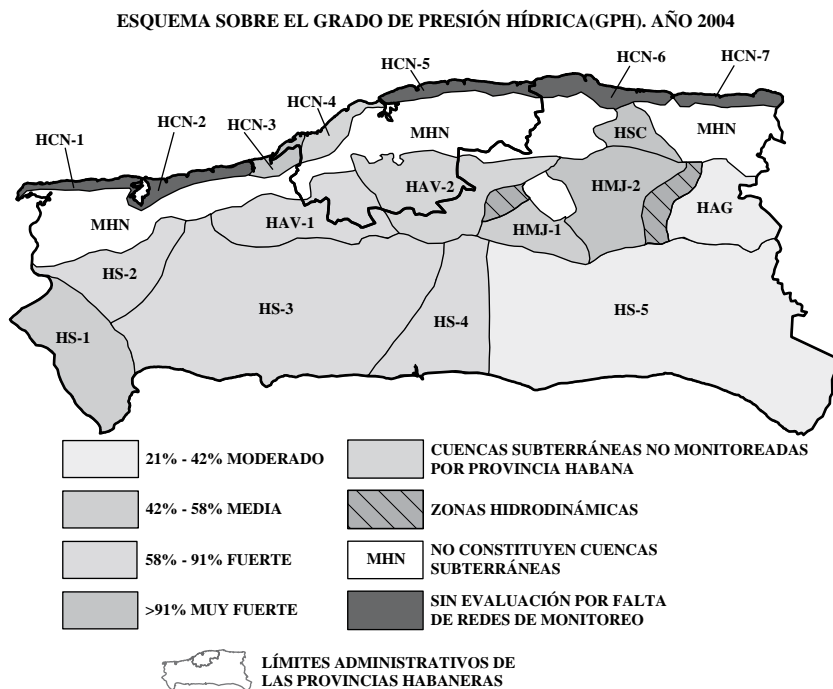
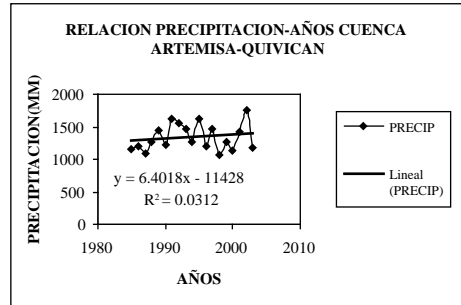
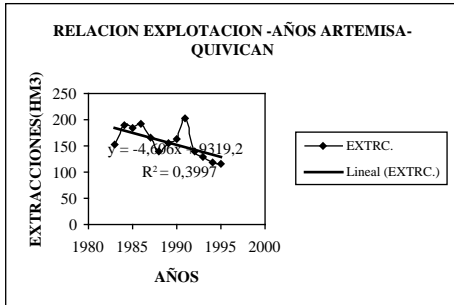


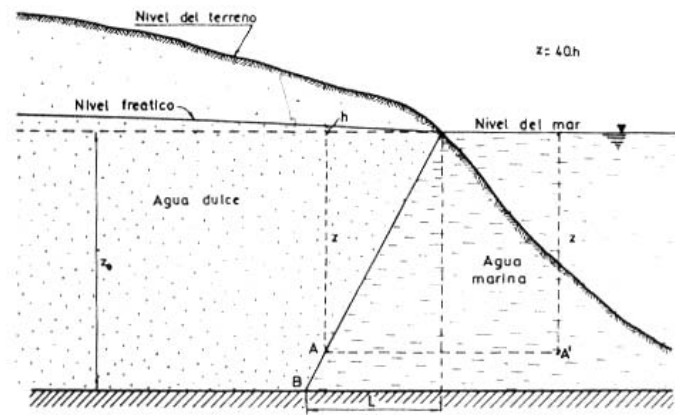
Figura 1. Esquema de las cuencas subterráneas de la Provincia Habana. La cuenca de estudio se muestra con su sigla HS-3.

Las precipitaciones se producen fundamentalmente durante los meses húmedos del año (mayo-octubre). A continuación se refleja la tendencia de las precipitaciones desde 1985 hasta 2003.



### Comportamiento de la salinidad

Debido al déficit de recarga en los últimos 25 años, sumado a las altas extracciones, los ingresos al acuífero por parte de las precipitaciones a partir de 1980 fue acrecentando el nivel de las aguas cloruradas. Ya en los años 1985 y 1986 aparecieron aguas con más de 250mg/l de cloro a una distancia tierra adentro de 10 km. Este comportamiento fue similar en profundidad, donde la evolución de las curvas de 1g/l de SST se ha desplazado 12 m más abajo con respecto a la posición que se encuentra en el año 1986. En los últimos años el efecto positivo del Dique Sur ha reportado diferentes ventajas:



La simulación del efecto del Dique Sur por el cierre de los canales permitió estimar en el año simulado en los recursos hídricos subterráneos de 91 hm<sup>3</sup>, lo que representa un incremento del 70% de lo que pudiera extraerse sin la presencia del dique y evitando situaciones más críticas en el acuífero.

**Tabla 1.** Materiales y métodos

Método	Formulación	Calcula
Balance por precipitación	$R_p = \text{Inf } P \text{ F (1)}$	Recurso potencial
GCBAS		Recurso disponible
Balance hídrico	$^{\circ} = (I_w + E_s)A - (E_x + E_v + E_{sd}) \text{ (2)}$	Recurso potencial
	$L = 1/2 (\epsilon_s \epsilon_d)h / ((\epsilon_s - \epsilon_d)^2 \text{ (3)}$	Longitud de penetración de la cuña de intrusión
	$(H - S_{\text{máx}})^2 = (H)^2 / Q_{\text{máx}}(Q_{\text{máx}} - Q_p) \text{ (4)}$	Abatimiento máximo en seca

Simbología:

$R_p$  =recurso potencial en  $\text{hm}^3$

$RD$  = recurso disponible en  $\text{hm}^3$

$P = LL$  = Precipitaciones en  $\text{mm}$

$\text{Inf}$  = infiltración en  $\text{m}$

$\epsilon_s$  = densidad del agua salada  $1.025\text{gr}/\text{cm}^3$

$\epsilon_d$  = densidad del agua dulce  $1.000\text{gr}/\text{cm}^3$

$h$  = espesor de la lámina de agua dulce en  $\text{m}$

$L$  = longitud de la cuña de intrusión marina en  $\text{m}$

$A$  = área de la cuenca subterránea en  $\text{km}^2$

$S_{\text{máx}}$  = abatimientos máximos en  $\text{m}$

$Q_{\text{máx}}$  = caudal máximo en  $\text{l/s}$

$Q_p$  = caudal del pozo de bombeo en  $\text{l/s}$

### Influencia del Dique Sur en la recarga a la cuenca subterránea Artemisa-Quivicán

Se considera en los cálculos un coeficiente de infiltración del 30% y el área modelada de  $830 \text{ km}^2$ .

**Tabla 2.** Cálculos de recursos

Autor	Año	Precipitación (mm)	Método	Recurso disponible $\text{hm}^3$
Gilberto Díaz	1985-1986			70 (si se extiende el dique hacia el oeste)
CIH.ISPJAE			Modelo matemático	91
Raúl Santander		1200	Balance	298
Oswaldo Barros	1997		GCBAS	120
Manuel Núñez Lafitte	2003	1167	Balance	290
Manuel Núñez Lafitte	2005	1373	Balance hídrico	55

En el cálculo del volumen recargado en Barros 1997, se observó que en los años 1985-1990 se mantuvo el nivel de este acuífero en el borde de la zona desfavorable. Después del año 1991 y hasta 1995, incluso hasta al presente, se mantiene en un valor promedio de  $263 \text{ hm}^3$ .

Para el pronóstico del recurso disponible para el año 2006 para la cuenca Artemisa-Quivicán el autor de este trabajo calculó el aporte del Dique Sur en  $55 \text{ hm}^3$ . Las variables involucradas en el problema son las siguientes:

- Área del Dique Sur por modelaje matemático =  $830 \text{ km}^2$
- Escurrimiento de los vertedores ( $E_v$ ) =  $0,4\text{m}^3/\text{s}$
- Escurrimiento subterráneo por debajo del dique ( $E_{sd}$ ) =  $7200000 \text{ m}^3/\text{s}$
- Explotación en la cuenca ( $E_x$ ) =  $182270000\text{m}^3$  (mayo04-abril05)
- Precipitaciones =  $1373 \text{ mm}$

- Infiltración efectiva 0,412 m
- Evo transpiración = 0
- Escurrimiento superficial = 0

Aplicando la relación del balance hídrico para calcular la variación de las reservas <sup>°</sup> tenemos:

$$^{\circ} = (Iw+Es)A - (Ex+Ev+Esd) \quad (1)$$

sustituyendo en 1 tenemos:

$$\text{Aporte del Dique Sur} = 55\ 048\ 400\ \text{m}^3$$

### Pronóstico de la cuña de intrusión marina. Escenarios de impactos

Se consideran para el pronóstico las fuentes de abastos que a continuación se relacionan.

Tabla 3. Pronóstico de la cuña de intrusión salina (L)

Acueducto	Pozos	L
Cuenca Sur	K26-E5.5	7312
	K2-W7	6268
Güiro Nuevo		5448
Güiro Marrero		2742
Amparo 1		8775

### Pronóstico de los abatimientos en seca

En este caso se considera el caudal de 312,5 l/s equivalente a 26.957m<sup>3</sup>/d

Como caudal máximo, en caso de una demanda emergente.

El abatimiento real se tomó el día 3/7/04. En la tabla siguiente se relacionan los abatimientos reales y abatimientos máximos en caso de una sobreexplotación.

Tabla 4. Abatimientos reales y abatimientos máximos

Pozos Acueducto Cuenca Sur	S nat	S max
K21W2	4,22	49,6
K23E1	5,75	29,3
K23E2	6,26	28,00
K24W2	4,01	28,8
G3	0,01	24,6
K26W1	1,63	13,4
K26W3	1,19	9,3
K26W4.5	1,45	10,15
K26W6	131	8,10
K27W7	1,41	10,15
K26E2	1,66	10,40
K26E4	1,06	7,14
K265.5	0,90	8,20

## CONCLUSIONES

La cuenca Artemisa-Quivicán representa un escenario de impacto en el abasto de aguas subterráneas a la Ciudad de La Habana y abastos a la Provincia Habana, producto de la intrusión marina si no se toman en consideración las siguientes medidas:

- Regulación en los abastos de la cuenca
- No mantenimiento de la obra Dique Sur. (14)

Durante muchos años las precipitaciones han estado por debajo del promedio histórico respectivo de ese año, como por ejemplo en el año 2003 las precipitaciones fueron de 1167 mm para el histórico de 2003 mm. Ya en años anteriores como por ejemplo 1994, el ingeniero Raúl Santandert al evaluar los recursos aportados por el Dique Sur hace referencia al comportamiento muy bajo de las precipitaciones (1200 mm); estando por debajo de la lámina de lluvia media para este sector de la cuenca (1398 mm).

De no mantenerse una recarga efectiva constante se producirían abatimientos del orden de 8 a 10 veces el abatimiento natural.

En caso que no sea posible reducir las extracciones y que se pierda la efectividad del Dique Sur se asumiría las siguientes medidas:

- Redistribución espacial de la explotación
- Utilización de la recarga artificial por pozos
- Construcción de barreras artificiales
- Utilizar el trasvase Matanzas-Habana

## BIBLIOGRAFÍA

DÍAZ, Gilberto

- 1988 «Evaluación de los efectos del Dique Sur sobre las condiciones acuíferas en la Cuenca Güira-Quivicán». Empresa de Hidroeconomía Habana.
- 1987 «Informe hidrogeológico del Dique Sur». Empresa de Hidroeconomía Habana.
- 1988 «Evaluación de los efectos del Dique Sur sobre la Cuenca Güira-Quivicán». Informe. Empresa de Hidroeconomía Habana.
- 1992 «Informe sobre las investigaciones realizadas en los años 1989-1990 para evaluar los efectos del Dique Sur sobre el acuífero costero». Delegación Provincial de la Habana. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

GONZÁLEZ BÁEZ, A., Sigilfredo JIMÉNEZ, Lourdes VALDEZ

- 2001 «Análisis del efecto del Dique Sur de la Habana en el medio ambiente». Delegación de Recursos Hidráulicos, Unión de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, CENIHCA.

GONZÁLEZ BÁEZ, A., Rafael FEITO OLIVERA

- 1987 «Obras costeras contra la intrusión salina para el beneficio de los recursos explotables. Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba, pp. 71-86.

HERNÁNDEZ, Arnelio A.

1990 «Modelo matemático del Acuífero Costero del Sur de la Habana. Tercera Etapa». Centro de Investigaciones Hidráulicas. ISPJAE.

HERNÁNDEZ VALDÉS, Armando y Juan Carlos BATISTA

1990 «Modelo matemático del Acuífero Costero del Sur de la Habana. Primera Etapa». Centro de Investigaciones Hidráulicas. ISPJAE.

JIMÉNEZ, S., E.R. FILIPON y J. A. ARENCIBIA

1997 «Evolución de la intrusión marina en el acuífero de la Costera Sur». Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba, pp. 115-123.

JIMÉNEZ, S., O. BARROS y R. SANTANDER

1999 «Análisis del efecto del Dique Sur en el acuífero Costera Sur y su entorno». Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana.

LLANUSA RUÍZ, H. y Juan Carlos BATISTA

1991 «Efecto del dique en la cuenca subterránea del sur de la Habana». *Revista Ingeniería Hidráulica* 1993, Vol. XIV, ISPJAE.

NÚÑEZ LAFITTE, Manuel

2005 «El Dique Sur de la Provincia Habana: una obra para recordar». *Voluntad Hidráulica* 97.

PÉREZ, C., Manuel NÚÑEZ LAFITTE

2003 «Situación actual del mantenimiento al Dique Sur». Informe al Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico.

POPOV, V. y E. López

1998 «Informe sobre la hidrogeología de los recursos de las aguas subterráneas. Situación actual». Archivo. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba

SANTANDER, Raúl

1998 «Estudio hidrogeológico para evaluar la efectividad del Dique Sur de la Habana». Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana.