

FACTORES HIDROGEOLÓGICOS QUE INFLUYEN EN LA SALINIDAD DE LOS SUELOS. EJEMPLO DE ESTUDIO VALLE DEL CAUTO PROVINCIA HOLGUÍN

Constantino de Miguel Fernández⁽¹⁾, Yumisledis Sánchez Sánchez⁽²⁾

Instituto Superior Minero Metalúrgico, ISMM s/n Las Coloradas, Moa, Holguín, Cuba, Email: (1) cdemiguel@ismm.edu.cu (2) ysanchezs@ismm.edu.cu

RESUMEN

Con vistas a profundizar sobre los factores que influyen en la salinidad del Valle del Cauto se ejecutó un análisis de la formación del territorio del Valle del Cauto y procesos hidrogeológicos que se desarrollan bajo la superficie del suelo, se ejecutó una evaluación y zonificación de la potencialidad (Riesgo) de salinización de los suelos del Valle del Cauto en las provincias de Holguín y Las Tunas se aplicó un nuevo método hidrogeológico de pronóstico establecido por el autor del trabajo en el que se integran cuatro factores de incidencia principal sobre las características de los suelos y que son: 1^{ro}-Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas. 2^{da}-Litología de la zona No Saturada. 3^{ro}-Propiedades de ascensos capilares de litología en la Zona No Saturada. 4^{to}- Quimismo de las aguas subterráneas, representado por el Índice de Salinidad Marina (I.S.M.), establecido por el autor. Se expone procedimiento para cuantificar el volumen de sales que llegan a la superficie del terreno por ascenso capilar.

Basado en los factores mencionados y grado de interrelación de los mismos se establecieron clasificaciones de los suelos que permitió zonificar y caracterizar el Valle del Cauto por grado de potencialidad (Riesgo) de salinización en un área de 3813 km² de las provincias Holguín y Las Tunas y cuyas características se resumen en los mapas elaborados.

En el trabajo también se analizó la influencia de embalses de agua en territorios con condiciones de relieve e hidrogeológicas que pueden influir en la calidad de los suelos, se presenta metodología de cálculos de ascenso de los niveles de las aguas subterráneas y se expone ejemplo de aplicación desarrollado durante el estudio de Factibilidad de la Presa Jobabo, con definición de las áreas que se afectan.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Cauto, ubicada en territorios de las provincias orientales de Las Tunas, Holguín, Granma y Santiago de Cuba, a su vez representa parte de una Cuenca Artesiana de grandes dimensiones denominada Cuenca Artesiana del Caribe Oriental (De Miguel, 1996), que ocupa en el territorio nacional varias provincias, extendiéndose desde la provincia Santiago de Cuba hasta Sancti Spíritus, con su mayor desarrollo bajo las aguas del mar Caribe.

Formando parte de esta inmensa cuenca se encuentra incluida nuestra área de estudio, catalogada como Valle del Cauto, con un área de 2188 km² en la provincia de Holguín. El territorio de estudio está limitado al norte por el Macizo Hidrogeológico (M.H.) Holguín, al este con la Cuenca Artesiana (C.A.) Nipe y al sur por el río Cauto.

En el Valle del Cauto desde la década del 50 del pasado Siglo XX se presentan problemas con la salinización de los suelos y su desarrollo paulatino, motivado por diversos factores entre los que se incluyen la deforestación, mal uso de las técnicas de riego y drenaje, compactación de los suelos y otras como la influencia de las condiciones hidrogeológicas, considerando en ello el quimismo de las aguas subterráneas (desde algo salobres a salobres) predominando aguas Cloruradas Sódicas, la existencia de una cubierta arcillosa y los ascensos capilares de esa cubierta con ascenso de las aguas subterráneas hasta la superficie del terreno y deposición de sales sobre ella, agravando esta

situación se han construido varios embalses de aguas que provocan el ascenso de los niveles de las aguas subterráneas. Estos procesos no han sido estudiados anteriormente ni en Cuba y en el caso de los ascensos capilares y su influencia en la salinidad de los suelos no se han encontrado referencias en el extranjero, según los resultados de búsquedas realizadas.

De tal forma la investigación reflejada en este trabajo tuvo como Objetivo principal establecer la relación existente entre factores hidrogeológicos y la salinización de los suelos, realización de una evaluación preliminar de estos procesos y establecimiento de una Clasificación de los Suelos a partir de la influencia de los procesos hidrogeológicos estudiados y que influyen en su degradación en un área de 2188 Km² del valle correspondiente a la provincia de Holguín.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada en la investigación del Valle del Cauto, se basa en los métodos tradicionales, partiendo de la recopilación y análisis de la información geólogo-hidroquímica existente en el INRH (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) – Holguín.

Esta información, concentrada en numerosos informes y expedientes de pozos perforados por especialistas del INRH, entre los años 1963 y 2006, con fines de fuente de abasto de agua a distintos objetivos económicos y sociales dispersos, acueductos de pequeñas comunidades y en menor cuantía en riego, se complementó con información del Mapa Geológico Digital de la Provincia de Holguín a escala 1: 100 000 (2002), Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000 (1985) y su Léxico Estratigráfico (1994).

Seguidamente se procedió al procesamiento de los datos de pozos recopilados, y elaboración de los mapas hidroquímicos de mineralización y quimismo a escala 1:250 000, auxiliándonos de programas y software, como el Surfer® versión 8.01 – may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyrightc1993-2002, Golden Software, Inc) y Digder 3.02, después de elaborada la base de datos hidroquímica.

El mapa de mineralización refleja las isolíneas de la mineralización en g/l de la zona de estudio, con una graduación predominantemente de menos de 1g/l, de 1 a 2 g/l, de 2 a 3 g/l y mayor de 3 g/l. El mapa de quimismo presenta los distintos tipos de aguas presentes según los elementos químicos predominantes con contenido mayor de 25 %.equivalente que se encuentran en la región de estudio. Se analizó y proceso la litología de la zona no saturada, sus propiedades de permeabilidad, granulometría y ascensos capilares.

Para la confección del mapa de Potencialidad de Salinización (Riesgo) del Valle del Cauto por la litología predominante de la Zona No Saturada, se requirió de la correlación de tres mapas Básicos:

- 1^{ro}. Mapa de Profundidad de Yacencia de las Aguas Freáticas.
- 2^{do}. Mapa de Quimismo de las Aguas Freáticas (ISM).
- 3^{er}. Mapa de Litología de Cubierta y ascensos capilares de la misma.

Para poder lograr la elaboración del mapa, fue necesario establecer una clasificación que correlacionara el Índice de Salinidad Marino (ISM) con la profundidad de yacencia de las aguas freáticas, teniendo en cuenta que el mayor territorio del Valle del Cauto esta formado por sedimentos y rocas arcillosas, para las cuales están determinadas la permeabilidad, porosidad y magnitud del ascenso capilar, éste último de importancia primordial y que puede ser tomado de literatura en estudios preliminares.

Los análisis químicos se procesaron y se determinó el I.S.M. en cada punto seleccionado, aplicando la formula:

$$\text{ISM} = (\% \text{Cl} + \% \text{Na}) / (\% \text{HCO}_3 + \% \text{Ca}) \quad (\text{C. de Miguel} - 1992)$$

Esta ecuación es efectiva para el caso de estudio, aplicable a aguas con mineralización superior a 1,5 g/l., los porcentajes de los iones se determinan de la suma de los miligramos equivalentes de los aniones y cationes de forma independiente.

Como puede observarse de la ecuación del ISM los Cloruros (Cl) y el Sodio (Na) son elementos predominantes en las aguas marinas y el Hidrocarbonato (HCO_3) y el Calcio (Ca) o Magnesio (Mg) son elementos predominantes de acuíferos de tierra firme que han experimentado el lavado de sales marinas.

RESULTADOS

Como resultados de la investigación, se realizó la caracterización y clasificación de las aguas subterráneas del Valle del Cauto a partir de su quimismo, obteniéndose mapas hidroquímicos de mineralización y quimismo, se estableció la existencia de una relación directa aguas subterráneas - suelos mediante los procesos de ascensos capilares presentes en la litología del estrato de cubierta (Zona No saturada). Se desarrolló método de cálculo para determinar la magnitud del caudal de agua que alcanza la superficie por ascenso capilar y magnitud de iones de sales de origen marino de las aguas subterráneas que llegan a la superficie del terreno con el flujo del ascenso capilar. Se estableció Clasificación de los suelos en función de las condiciones hidrogeológicas que los afectan. Se elaboró Mapa de Potencialidad (o riesgo) de salinización de los suelos del territorio estudiado. Se estableció la influencia que producen los embalses en territorios llanos sobre los niveles de las aguas subterráneas y posible degradación de los suelos.

DISCUSIÓN

Condiciones paleohidrogeológicas y su influencia en el quimismo de las aguas subterráneas del Valle del Cauto

En el Valle del Cauto durante el período de su formación y en relación con las condiciones actuales, debe destacarse que durante los períodos del Mioceno Inferior (N_1) hasta el Cuaternario (Q) sufrió distintos procesos de ascensos, descensos y gran número de transgresiones y regresiones marinas, siendo las principales transgresiones: Vedado ($N_2 - Q_1$), Guevara (Q_2) y Camacho - Salado (Q_3), (De Miguel, 1986).

Etapas del Eoceno: En este período el territorio estuvo bajo el mar, al este y norte ya existían regiones montañosas de la Sierra Maestra y Holguín en las que se desarrollaba la denudación bajo la acción del intemperismo, y los productos de esta eran transportados por los ríos hasta el mar. De tal forma, en el fondo del mar se depositaban tanto residuos carbonatados como efusivos de las erupciones volcánicas submarinas, y en la línea de costa, sedimentos terrestres y mezcla de ellos con sedimentos marinos.

Etapas Oligoceno – Plioceno: En esta etapa ocurrió una prolongada estabilización de la transgresión marina, esa estabilización era relativa, ya que la línea de costa constantemente cambiaba su posición tanto avanzando tierra adentro como retrocediendo.

Etapas Plioceno - Cuaternario: En esta etapa se sucedían las transgresiones y regresiones del mar con deposición de materiales tanto de origen terrestre como marino, predominantemente se formaron formaciones desde grava - arenosas hasta arcillosas, su deposición era caótica tanto en planta como en perfil debido a los constantes cambios de la línea de costa, de la intensidad de la denudación y de sedimentación, por ello durante este período no se formaron estratos ni horizontes con espesores estables en grandes áreas.

En la configuración actual del relieve se reflejan los procesos desarrollados durante el Holoceno (Q₄), cuando se desarrolló la última transgresión marina y durante su regresión, fueron acumuladas en gran parte de su territorio las formaciones sedimentarias de la cubierta actual (ver Figura 1), en las que están presentes rocas y sales evaporitas, que influyen en gran forma en la composición química de las aguas subterráneas que predominan en el territorio del Valle del Cauto.

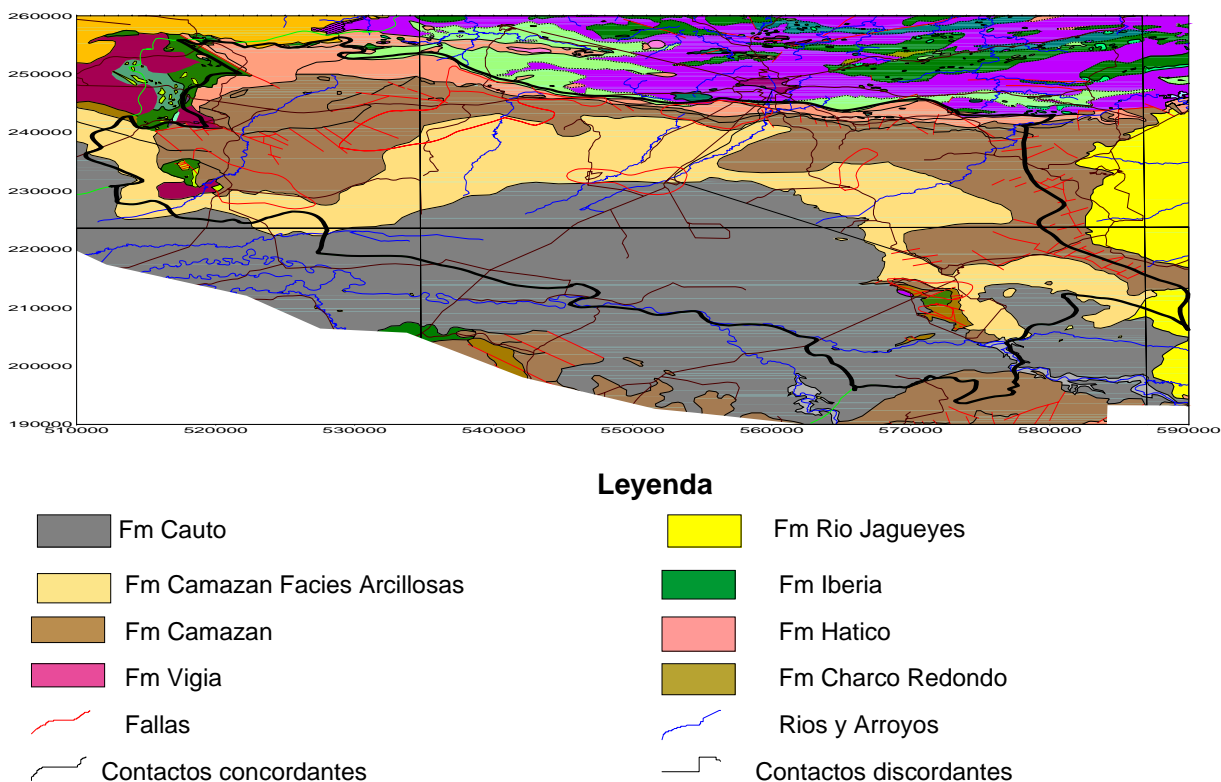


Figura 1.- Mapa geológico esquemático de la Cuenca del Cauto Provincia Holguín (ACC 2002). Escala 1:250 000

Caracterización del quimismo de las aguas subterráneas del Valle del Cauto.

A través de la mineralización se caracteriza el contenido de aniones y cationes presentes en las aguas subterráneas. En las aguas naturales se han encontrado más de 60 elementos, los cuales están presentados en formas de iones, moléculas no disociadas y coloidales. La mineralización del agua caracteriza el contenido total de la materia, expresando el peso de la misma en mg/l, g/l y en algunos casos en Kg/l. La mineralización de las aguas es un factor a analizar en la determinación para la utilización de las aguas con distintos fines. De tal forma, la mineralización está dada por la expresión siguiente:

$$M = \frac{\sum m.m - \left(\frac{HCO_3}{2} \right)}{1000} - g/l$$

Donde: $\sum m.m$ - Suma de la materia mineral determinada en el análisis (iones más moléculas no disociadas) –mg/l = SST (Sales Solubles Totales).
HCO₃ – mg/l.

En la región de estudio, el quimismo de las aguas subterráneas es muy variado en dependencia de la litología y la constitución mineralógica de las rocas (Figura 2).

Las mayores variaciones del quimismo están presentes en las zonas premontañosas donde predominan rocas de edad Paleogénica, próximas a los límites con el M.H. Holguín y con la C.A. Nipe, donde coexisten también rocas del Mioceno.

De tal forma, en la zona premontañosa del valle existen aguas de los siguientes tipos:

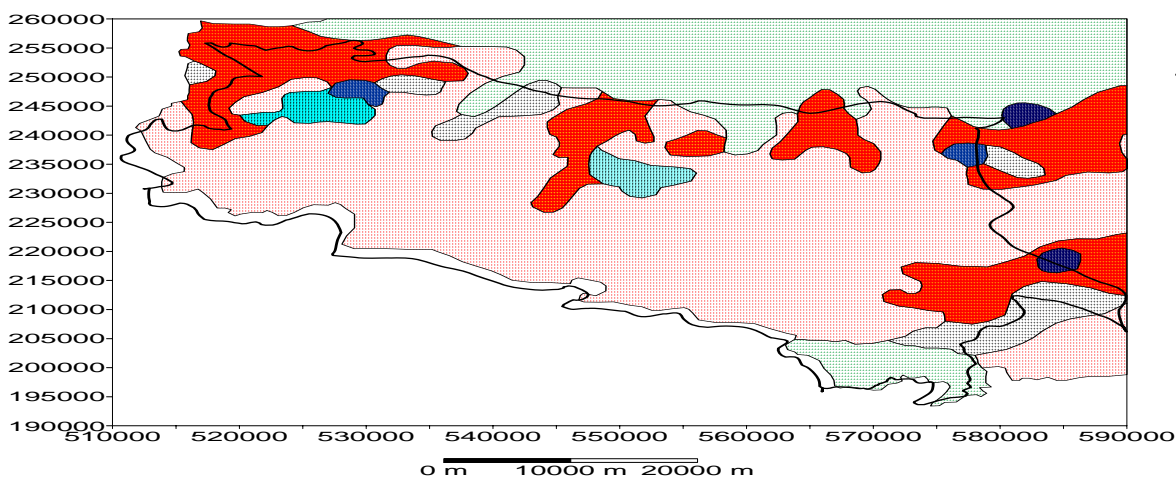
Aguas Hidrocarbonatadas-Sódicas. Forman una franja que se extiende desde San Agustín hasta el Manguito, quedando en su extremo oeste el poblado de Buenaventura, extendiéndose esta franja al noroeste de Buenaventura hasta Guaramanao. Aguas de este tipo están presentes también, en forma de franjas o límites al suroeste de la Presa Güirabo hasta unos 7 Km. al suroeste de Cristino Naranjo, y otra a unos 5 Km. al noreste de Cacocum, otra desde Mayabe hasta unos 10 Km. al sureste y desde San Germán al sur y este del mismo hasta los límites con la C.A. Nipe.

Aguas Hidrocarbonatadas-Cálcicas. Existen en forma de pequeños lentes próximos al límite con la provincia Las Tunas (entre Las Parras y Jagüeyes), en Las Calabazas, al norte del C.A.I. Maceo (tramo Arroyo Blanco) y en zonas próximas al río Cauto en los límites con la provincia Santiago de Cuba.

Aguas Hidrocarbonatadas-Magnésicas. Se encuentran en distintas zonas próximas a los límites con el M.H. Holguín, en forma de franja que se extiende de norte a este y en la margen izquierda del río Cauto, próximas a los límites con la provincia Santiago de Cuba.

Aguas Cloruradas-Magnésicas. Están formando dos lentes de regulares dimensiones en el tramo Arroyo Blanco hasta 4 Km. al sureste de Buenaventura, y el otro comprendiendo los poblados de Cacocum y Cristino Naranjo.

De interés para investigaciones futuras con fines, no de abasto de agua potable, en el valle están presentes tres lentes de Aguas Sulfuradas-Sódicas presentes, el primero ubicado a unos 3 Km. al norte de Mir, el segundo en La Caridad por la carretera de Las Tunas, entre los poblados Las Calabazas y San Lorenzo, en el extremo norte del tramo Arroyo Blanco; y el tercero en San Lorenzo, a unos 3 Km. al suroeste de Barajagua en los límites con la C.A. Nipe.



Leyenda

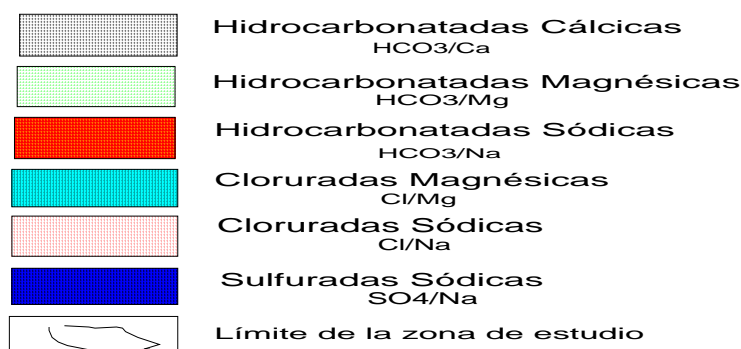


Figura 2.- Mapa de quimismo del Valle del Cauto Provincia Holguín. Escala 1:250 000

En la zona llana de la cuenca y ocupando la mayor parte del Valle del Cauto en la provincia, predominan las Aguas de tipo Clórico-Sódicas, las cuales en forma de franja se extienden al norte hasta las proximidades con el límite del M.H. Holguín, con desarrollo al oeste hacia la provincia Las Tunas, al sur hacia la provincia Granma y al este hacia la C.A. Nipe. Estas aguas que no presentan relaciones con la situación actual del mar, sí dependen directamente de la existencia de sales de origen marino en los sedimentos areno-arcillosos y carbonatados de las edades Paleógeno, Neógeno y Cuaternario, cuando en el proceso de formación del territorio actual de la Isla de Cuba existió un gran número de transgresiones y regresiones del mar, quedando hasta la actualidad esas sales en la constitución de las rocas acuíferas (y en la zona no saturada), donde por existir poca permeabilidad existe un intercambio hídrico muy dificultoso, por lo que el lavado de las sales, a pesar de las cotas del territorio, no se ha efectuado en su totalidad.

La mineralización de las aguas subterráneas en el Valle del Cauto es muy variada (Figura 2), debido a los distintos factores que influyen en la composición química de las aguas, de tal forma, en la zona premontañosa donde se encuentran las rocas cristalizadas, agrietadas y carbonatadas con alta permeabilidad existiendo condiciones para el lavado de sales de origen marino, predominan las aguas con mineralización menor de 1g/l, según la Clasificación de Aliokin son aguas dulces. En la parte central (Arroyo Blanco, La Mir, Yolanda, Pedernales) bajando hacia al sur, la mineralización de las aguas tiende a aumentar, predominando valores de 1 a 2 g/l que según Aliokin son aguas poco salinizadas, existiendo algunos tramos con aguas saladas superando los 3 g/l, debido a las aguas marinas depositadas en los acuíferos en el transcurso de la formación de los mismos o por deposición posterior, durante la ocurrencia de transgresiones marinas que inundaron varias veces el actual territorio de estudio.

En la zona llana de la cuenca, la mineralización de las aguas es superior a los 2 g/l, llegando a alcanzar más de 10 g/l (zona entre 4-10 Km. al oeste de Maceo, zona Lewiston – Altragracia a unos 10 Km. al sureste de Cacocun, zona Yaguabo y zona Cauto Tres – La Choricera al suroeste del tramo Coto); según Aliokin son aguas muy saladas donde existen sales en los sedimentos que son de origen marino y marino - aluviales mezclados. Debemos señalar la relación existente entre “tipo de agua, constitución mineralógica de los sedimentos y la litología” presentes en el Valle del Cauto, que son depósitos cuaternarios de la Fm. Cauto (arenas, arenas arcillosas y arcillas), por lo que las sales existentes en el territorio de origen marino, se manifiestan en los acuíferos debido a su baja permeabilidad, que ha proporcionado un deficiente lavado de los sedimentos, por lo que hasta la actualidad aún se encuentran en ellos.

En las proximidades del río Cauto, donde las aguas subterráneas se encuentran influenciadas por el escurrimiento superficial del río, la mineralización de las aguas tiende a disminuir, llegando a alcanzar mineralización inferior a 1g/l en terrazas bajas donde existen aguas hidrocarbonatadas-cálcicas y magnésicas.

El estudio de la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (Figura 3), conjuntamente con la litología de la zona no saturada, condiciona la mayor o menor posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas, caracterizando la vulnerabilidad de las aguas subterráneas ante la contaminación desde la superficie del terreno, y nos indica los métodos más adecuados que debemos emplear, tanto para su investigación como para su utilización.

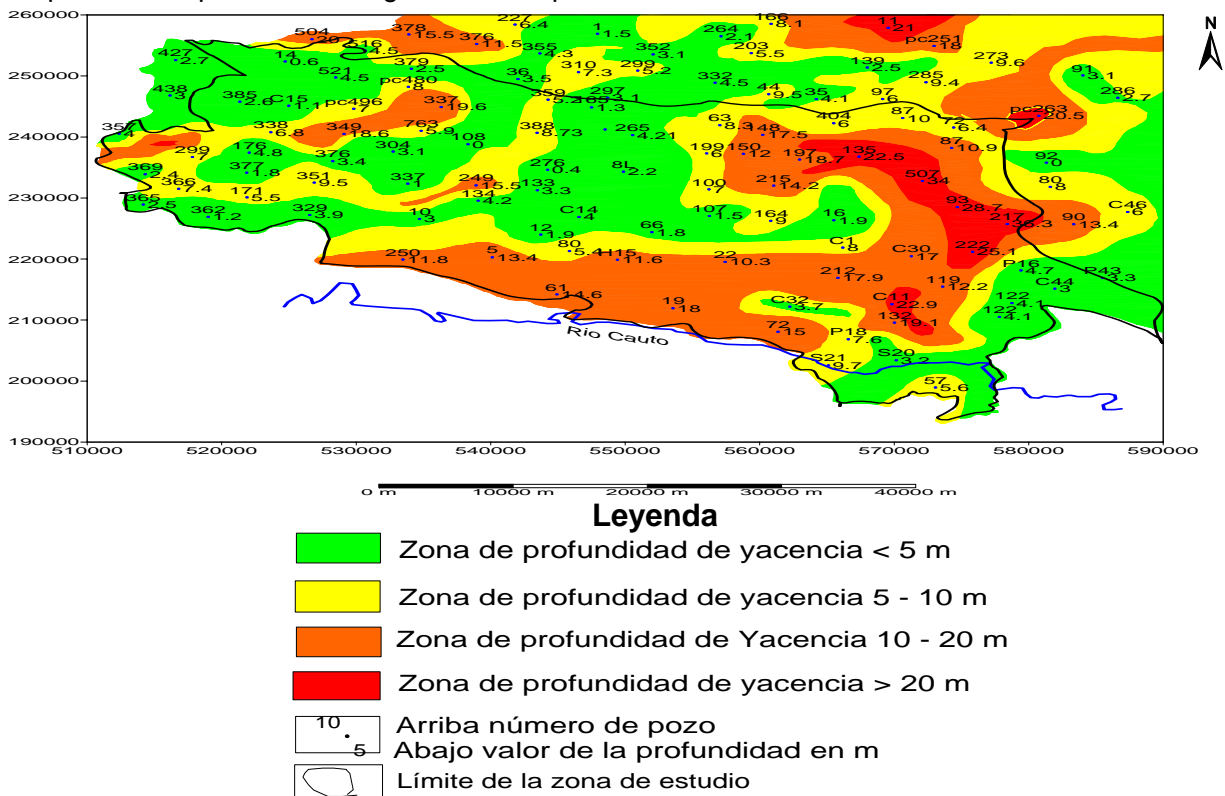


Figura 3.- Mapa de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas del Valle del Cauto Provincia de Holguín (De Miguel, 1996 & Rothenel, 2008)

Resulta de suma importancia incluir dichos factores (profundidad de yacencia de aguas subterráneas y litología de la zona no saturada) con la interpretación de mapas hidroquímicos (mineralización y quimismo) en la valoración de la salinización de los suelos y aumento de la concentración de sales en las aguas subterráneas de un territorio dado, ya que de esta forma contamos con más elementos en la aplicación de medidas adecuadas, como ejemplo del Valle del Cauto, de aguas necesarias para el consumo humano y desarrollo agrícola del territorio, ante la alarmante contaminación de los recursos hídricos, la escasez de alimentos y la deprimente crisis económica mundial que ya es palpable en estos momentos.

Condiciones Hidrogeológicas favorables a la salinización de suelos.

Por estudio ejecutado en el territorio de análisis con un área total de 3813 km² y con los datos obtenidos podemos afirmar que las condiciones hidrogeológicas existentes representan una de las principales fuentes de salinización de los suelos del Valle del Cauto y que la salinización actual de los suelos presentes en este territorio y que se desarrolla anualmente en cientos de hectáreas en menor o mayor grado, se produce por la conjugación de factores naturales presentes y la actividad antrópica que en este territorio se desarrolla, sobre todo en la explotación agrícola de los suelos, donde se aplica riego sin la debida argumentación del mismo y con falta de drenaje que corresponda a las

características hidrogeológicas del territorio, debemos señalar además que en la agricultura desde hace varios años en el territorio se aplica la mecanización con equipos de alto tonelaje lo que por las condiciones existentes pueden provocar la compactación de los suelos, esto provoca la pérdida de porosidad, además de otros efectos negativos en el suelo y con la reducción de porosidad del suelo y estratos subyacentes, se incrementa en estos sedimentos las propiedades de ascenso capilar y al tener una fuente de salinización a poca profundidad (Aguas Subterráneas mineralizadas, tipo Cloruradas Sódicas) la salinización de los suelos se desarrolla a un ritmo más rápido.

Los resultados de los cálculos del ISM fueron mapificados, y posteriormente interpolando los puntos por valores correspondientes a la clasificación establecida para el ISM y con el trazado de los límites entre distintas clasificaciones, se confecciona el Mapa de Salinidad de las aguas subterráneas.

Tabla I.- Clasificación de las aguas en función del ISM (C. De Miguel, 1996)

Valor I.S.M	Tipo de Agua o Acuífero
< 1	Aguas o Acuífero no Salinizado
1 - 1.9	" debilmente salinizado
2 - 6.9	" salinizado
7 - 21	" muy salinizado
> 21	" hipersalinizado (aguas de mar)

Con datos de granulometría de ensayos de laboratorios, el ascenso capilar máximo de los sedimentos arcillosos se determinan por las siguientes formulas:

$$H_c = 0.0446 \frac{1-n}{n} \frac{1}{d} \quad (\text{Kozeni})$$

$$H_c = \frac{0.0559}{d} \sqrt[3]{\left(\frac{1-n}{n}\right)} \quad (\text{Mavis-Tsui})$$

donde: n-coeficiente de porosidad de los sedimentos.

d- diámetro efectivo (del 10 %) de las partículas en sedimentos que forman la zona no saturada.

Tabla II.-Magnitud de ascensos capilares máximos en sedimentos friables [Según I.A. Skabalanovich y M. V. Cedenko, 1986)

Litología	Ascenso Capilar Máximo – m.
Arena gruesa	0.15
Arena Media	0.50
Arena Fina	1.10
Arena Arcillosa	2.0
Arcilla Arenosa ligera	3.5
Arcilla arenosa pesada	6.5
Arcilla	12.0 y más

La elaboración del mapa de Potencialidad de Salinización del valle del cauto se ejecutó aplicando la Clasificación establecida en el trabajo. (Ver Talbla 3. y Figura 4).

Tabla III.-Clasificación de los suelos por potencialidad de salinización debido a condiciones hidrogeológicas presentes.
(C. De Miguel, 1996).

Profundidad De las aguas Subterráneas y Hc (m)	Litología del Estrato de Cubierta (Zona No Saturada) Valores I.S.M. de las Aguas Subterráneas.																			
	Arenas				Arenas arcillosas				Arcillas Arenosas				Arcillas poco arenosas				Arcillas			
	<1	1-1,9	2-6,9	>7	<1	1-1,9	2-6,9	>7	<1	1-1,9	2-6,9	>7	<1	1-1,9	2-6,9	>7	<1	1-1,9	2-6,9	>7
<1,1	P.S.	S.	M.S.	E.S.	S.	S.	M.S.	E.S.	S.	M.S.	M.S.	E.S.	S.	M.S.	E.S.	E.S.	S.	M.S.	E.S.	E.S.
1,1 - 2,0	N.S.	P.S.	S.	M.S.	P.S.	S.	S.	M.S.	S.	S.	M.S.	M.S.	S.	M.S.	M.S.	E.S.	S.	M.S.	E.S.	E.S.
2,0 - 3,5	N.S.	N.S.	P.S.	S.	P.S.	P.S.	S.	S.	P.S.	S.	S.	M.S.	S.	S.	M.S.	M.S.	S.	M.S.	M.S.	E.S.
3,5 - 6,5	N.S.	N.S.	N.S.	P.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P.S.	N.S.	P.S.	P.S.	S.	P.S.	S.	S.	M.S.	P.S.	S.	M.S.	M.S.
6,5 - 12,0	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P.S.	N.S.	P.S.	S.	S.	N.S.	P.S.	S.	S.
>12	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P.S.	N.S.	N.S.	P.S.	P.S.

N.S.- SUELOS PRACTICAMENTE NO SALINIZABLES.

P.S.- SUELOS POCO SALINIZABLES.

S. - SUELOS SALINIZABLES.

M.S.- SUELOS MUY SALINIZABLES

E.S – SUELOS EXTREMADAMENTE SALINIZABLES.

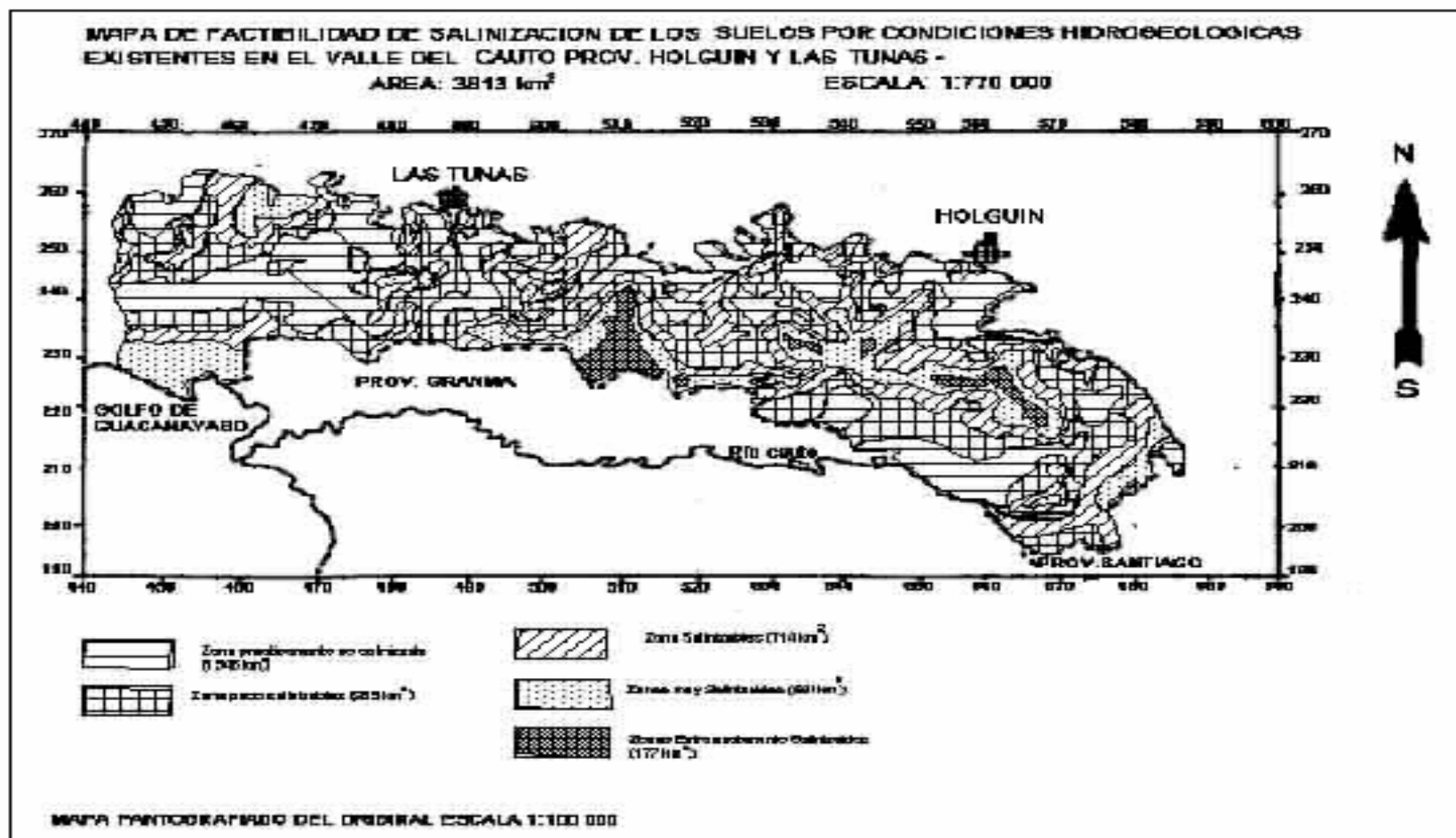


Figura 4.-Mapa de potencialidad (riesgo) de salinización de suelos en el Valle del Cauto provincias Holguín y Las Tunas

Ejemplo de Cálculo de aporte de sales al suelo por ascensos capilares desde aguas subterráneas, en el Valle del Cauto Provincia Holguín. (Zona Lewinston).

Características medias de cubierta: arcilla con un 10 % de limo.

Espesor medio en perfil: $h = 12\text{m}$

Coefficiente de filtración medio: $K = 0,005\text{ m/día}$

Porosidad media: $n = 0,4$

Diámetro efectivo medio de partículas: $d_e = 0,03\text{ cm.}$

Ascenso capilar medio: $H_c = 22,80\text{ m.}$

Tabla IV.-Contenido medio de elementos químicos en las aguas subterráneas.

Elementos	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	Min. gr./l	Clasif. Agua. Alókin	Ci Stables	Clasif. Riego
Contenido										
Mg/l	427	873	288	144	143	460	2,5	Cl-Na	2,3	No Satisf.
Mg.eq./l	2,0	24,6	6,0	7,2	11,8	20,0				
% eq.	6,3	75,3	18,4	18,5	30,2	51,3				

Cálculo del caudal que llega al suelo por ascensos capilares, Q_a .

$$Q_a = K.H.L.I.R_{pa} \quad \text{m}^3 / \text{día.}$$

K. Coeficiente de filtración $K = 0,005\text{ m/día}$

H. Espesor de columna de agua por m^2 de superficie $H = 1\text{ m.}$

B. Ancho de columna de agua por m^2 de superficie $L = 1\text{ m.}$

I. Gradiente del nivel del agua en ascenso vertical ascendente $I = 1$

R_{pa} . Resistencia de la presión atmosférica al movimiento ascendente del agua $R_{pa} = 1\text{ atm} = 10\text{ m}$
de columna de agua $R_{pa} = 10^{-1}$

$$Q = 0,005 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,1 = 0,0005\text{ m}^3 / \text{día.m}^2 = 0,5\text{ l/día.m}^2.$$

$$Q = \frac{0,5 \times 10\,000}{1\,000} = 5\text{ m}^3 / \text{día. ha}$$

Este caudal de ascenso capilar se evapora en la superficie del terreno y es equivalente a una lámina de evaporación de $182,5\text{ mm/año.}$

Cálculo de la cantidad de iones de sales no deseables que llega a la superficie del suelo por ascensos capilares del agua subterránea. En Kg/ha.año.

$$V_e.\text{ha} = \frac{Q_{ha} \times C_e \times 1000 \times 365}{1000000} = 0,365 \times Q_{ha} \times C_e$$

donde:

$V_e.\text{ha}$. Volumen de elemento químico degradante de suelo depositado en la superficie del terreno en una Hectárea durante un año, Kg/ha.año.

Q_{ha} . Caudal del ascenso capilar- $\text{m}^3 / \text{día. ha}$

C_e . Contenido del elemento de cálculo en las aguas subterráneas, mg/l

1000. Litros en un m^3 de agua. 365. Días en un año.

1000 000. mg. en un Kg.

Aporte de Cloruro -Cl.

$$V_{Cl} = 0,365 \times 5 \times 873 = 1\,593,22 \text{ Kg / ha. año.}$$

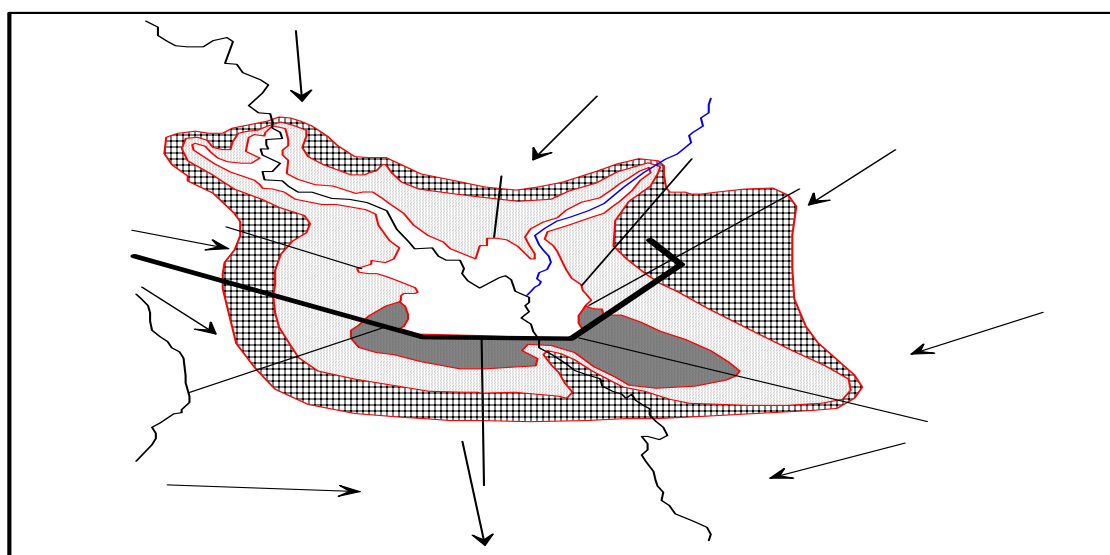
Aporte de Sódio- Na.

$$V_{Na} = 3650 \times 0,0005 \times 460 = 839,5 \text{ Kg/ ha.año.}$$

Aporte Sulfato -SO₄

$$V_{SO_4} = 3650 \times 0,0005 \times 288 = 525,6 \text{ Kg/ ha. año.}$$

El procesamiento anteriormente descrito fue aplicado en el área prevista para la construcción de la Presa Jobabo en río con el mismo nombre en la provincia Las Tunas a partir del pronóstico de ascenso de los niveles en territorios aledaños al embalse programado obteniéndose los resultados que se reflejan en mapa de la Figura 5, y considerando la existencia de aguas subterráneas Cloruradas Cálcidas y Sódicas con mineralización superior a 2 gr/l. es de esperar que en un tiempo relativamente corto los suelos se comiencen a salinizar.



Simbología



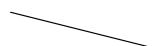


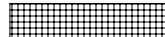
	Cortina y dique del embalse.
	Dirección del flujo de aguas subterráneas.
	Perfiles de cálculos.
	Zona A, de empantanamiento o sobresaturación de los suelos.
	Zona B, de humedecimiento de los suelos.
	Zona C, de afectaciones cíclicas de los suelos.

Figura 5.-Afectaciones de suelos por ascenso de los niveles en el programado embalse Jobabo.

La zona A se caracteriza por el empantanamiento ó sobresaturación de los suelos, lo que provoca que en estas áreas se inutilicen los suelos para la producción agrícola, en las mismas se desarrolla la

vegetación de pantanos. En esta zona por estar permanentemente saturada, se establece una relación directa aguas subterráneas-suelos y con la presencia de sales de origen marino en el acuífero ó zona no saturada la salinización se desarrolla en cortos periodos de tiempo, motivado por los procesos ya mencionados. Esta zona generalmente se desarrolla en territorio inmediato a la cortina (y diques) y aguas debajo de la misma.

La zona B se caracteriza por que en la misma se establecen profundidades de niveles de las aguas subterráneas generalmente menores de 3 m. lo que en combinación con las propiedades de ascensos capilares de los sedimentos de la zona de aireación y ascensos adicionales de los niveles de las aguas en períodos de precipitaciones atmosféricas o riego, provoca un humedecimiento que puede considerarse permanente del suelo y con ello también se establece la interrelación suelos-aguas subterráneas, facilitando con ello el ascenso de las sales contenidas en el acuífero y zona no saturada, con lo que se producen los procesos señalados de salinización de los suelos. Como norma esta zona presenta su mayor desarrollo a continuación de la zona A.

La zona C puede considerarse en cubiertas generalmente arcillosa (zona no saturada) con espesores superiores a 3 m. hasta 12m. e incluso pueden ser superiores. Cuando la misma esta formada por arcillas pesadas los efectos de estas profundidades de niveles se producirán cuando en los suelos existan las posibilidades de salinización por clasificación expuesta en tabla III. La afectación de los suelos podrá ser permanente ó cíclica, en dependencia de la litología existente y régimen de los niveles en los embalses, relacionado con las características climáticas del territorio y riego.

CONCLUSIONES

1. El quimismo y la mineralización de las aguas subterráneas del Valle del Cauto es muy variado, principalmente debido a procesos paleo- hidrogeológicos que se desarrollaron en distintas épocas geológicas y que aún ejercen su efecto existiendo aguas desde hidrocarbonatadas - cálcicas, hidrocarbonatadas - magnésicas, hidrocarbonatadas - sódicas, cloruradas - magnésicas, cloruradas – sódicas y sulfatadas – sódicas, con predominio de las aguas Cloruradas Sódicas en la zona más llana del valle. Con mineralización menor de 1g/l solo en zonas altas premontañas, y en zonas llanas arcillosas de muy baja permeabilidad de lavado muy difícil la mineralización supera los 3 g/l; llegando a alcanzar en algunas áreas hasta más de 10 g/l.
2. Por los procesos hidrogeológicos presentes y estudiados en el territorio del Valle del Cauto se desprende que estos propician la salinización de suelos en el territorio, siendo los principales: mineralización de las aguas subterráneas, tipos de aguas presentes, profundidad de yacencia de las aguas y litología arcillosa de la zona no saturada y sus propiedades de ascensos capilares.
3. Del Mapa de Potencialidad (riesgo) de Salinización de Suelos elaborado se obtuvo que en la provincia de Holguín el Valle del Cauto presenta un área de 1 502 Km² Potencialmente salinizable el 68,7 % del área del Valle en la provincia., y ello se confirma con el estado actual de salinización de los suelos.
4. La ejecución de embales en el territorio crea condiciones que favorecen el desarrollo de zonas de ascenso de los niveles de las aguas subterráneas con empañamiento y a mediano y largo plazo la salinización de suelos al provocar el ascenso de los niveles de las aguas subterráneas de tipo Clorurada Sódica, con acercamiento a la superficie del terreno.
5. Por los resultados obtenidos se desprende que aunque la Metodología desarrollada en el estudio para definir el Grado de Potencialidad (Riesgo) de Salinización de los suelos en el Valle del Cauto y territorios similares es Novedosa, es efectiva y aplicable principalmente para estudios Preliminares de estos procesos y debe ser Perfeccionada para Estudios de Proyectos Técnicos Ejecutivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Colectivo de autores, (1985). Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000. ACC.
- Colectivo de autores IGP, (1994). Léxico Estratigráfico. ACC.
- Colectivo de autores, (2002). Mapa Geológico Digital de la Provincia de Holguín a escala 1: 100 000. ACC.
- De Miguel, C., (1986). Formación y evaluación de reservas de explotación de aguas subterráneas en formaciones Mioceno – Cuaternarias de la cuenca del Cauto República de Cuba. Tesis Doctoral, LGI, San Petersburgo: 182p.
- De Miguel, C., (1996). Regionalización hidrogeológica de la provincia de Holguín. INRH, Holguín, Cuba. 54 pág.
- De Miguel C. (1996). Metodología Preliminar para pronóstico de potencialidad de salinización de suelos agrícolas. Trabajo de Forum de Ciencia y Técnica, Holguín, Cuba, 28 p.
- De Miguel, C., (2008). Hidrogeología Aplicada. 2da. Edic. Editorial Félix Varela, La Habana. 445 pág.
- De Miguel, C. (2008). Hidrogeología Aplicada al Estudio y Pronóstico de Salinización de Suelos Agrícolas. ISMM, Moa. 86 pág.
- Rocheneil, S., (2008). Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto en la provincia de Holguín. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, Holguín, Cuba. 95 pág