

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN, MONITOREO Y SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EN ÁREAS AGRÍCOLAS DE LA CUENCA GUANTÁNAMO-GUASO AFECTADAS POR LA SALINIDAD

L. Rivero[✉], Inalvis Sánchez, Lázara Otero, Norys Navarro y V. Gálvez

ABSTRACT. The concept of the geographical information systems (GIS) was applied to a study dealing with the protection of soils as well as some other environmental components. The study was carried out in a representative area of Guantánamo Valley. Different types of large-scale maps were used, although the most important ones were 1: 10 000 and 1: 5000. The programs MapInfo, version 5.5 and Telemap, version 2.2 were employed. These programs allowed us the organization of all information into layers, their objects and attributes, creating a database. As a result of the work, a monitoring system and a package of technological solutions were established and validated under field conditions with excellent results.

Key words: soil salinization, geographic information systems

RESUMEN. Se aplicó la concepción de los sistemas de información geográficos (SIG) a la protección de los suelos y otros componentes del medio ambiente. El trabajo se realizó en un área representativa del Valle de Guantánamo. Se usaron hojas cartográficas a escala 1: 10 000 y mapas topográficos a escala 1: 5 000. Se aplicaron los programas Mapinfo, versión 5.5 y Telemap, versión 2.2, los cuales permitieron organizar la información en capas, objetos de las capas y atributos, con sus bases de datos. Se establecieron un sistema de monitoreo y un conjunto de soluciones tecnológicas, las cuales proporcionaron resultados satisfactorios.

Palabras clave: salinización del suelo, sistemas de información geográfica

INTRODUCCIÓN

La salinización de los suelos siempre está asociada a otros procesos degradantes y ocurre bajo la influencia de un complejo conjunto de factores, por lo que es necesario enfrentar el problema de una forma integral, bajo un enfoque sistémico, facilitado en la actualidad por el desarrollo que han alcanzado los sistemas de información geográfica (1, 2, 3, 4).

Esos sistemas permiten un uso más eficiente de la información a que han dado lugar las investigaciones realizadas durante varias décadas, de las cuales son ejemplos importantes las relacionadas con la clasificación y cartografía de los suelos (5, 6), sus propiedades físicas y régimen hídrico (7), sus propiedades químicas (8, 9), el comportamiento de las plantas en suelos salinizados (10) y otros aspectos.

No obstante, la aplicación de los programas de sistemas de información geográfica (SIG) y programas auxi-

liares, requiere de la adecuación a los objetivos específicos que se persiguen y la información debe ser preparada al efecto, en lo cual ha trabajado un grupo de investigadores en el período 1996-2001, con un resultado principal denominado SIMONIT, formado por tres módulos: información, monitoreo y soluciones (11). El objetivo del presente trabajo es analizar los resultados obtenidos sobre la problemática de la salinización de los suelos en un área representativa de la cuenca Guantánamo-Guaso, a partir de la concepción que plantea el sistema aplicado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un área agrícola con una superficie de 2 800 ha, representativa de la problemática de la salinización de los suelos y otros procesos degradantes, bajo la influencia de un conjunto de factores, en la cuenca Guantánamo-Guaso (Figura 1). Dentro de esa área se seleccionó un sector de referencia de 400 ha para muestreos y análisis detallados, así como la aplicación de una tecnología para el cultivo del plátano burro CEMSA, cuya descripción y resultados se ofrecen en un trabajo aparte (12).

Dr.C. L. Rivero, Investigador Titular; Dras.C. Lázara Otero y Norys Navarro, Investigadoras Auxiliares; Inalvis Sánchez y V. Gálvez, Investigadores Auxiliares del Instituto Nacional de Suelos, Antigua Carretera de Vento, km 8, Capdevilla, Ciudad Habana.

✉ larenee@ceniai.inf.cu



Figura 1. Área de trabajo en la cuenca Guantánamo-Guaso

Se utilizaron hojas cartográficas a escala 1: 25 000 y mapas topográficos 1:10 000 y 1:5 000, así como fotografías aéreas a escala 1:20 000. Se aplicaron los programas Mapinfo, versión 5.5 y Telemap, versión 2.2 y un conjunto de programas auxiliares. La información se organizó en 20 capas principales: relieve, subtipos de suelos, salinidad, comportamiento físico, comportamiento químico, secuencias edafohidrogeológicas, manto freático, clima, régimen hídrico, régimen salino, uso de la tierra, sistemas de riego, sistemas de drenaje, hidrografía, embalses y lagunas, viales, vegetación, asentamientos humanos, degradación y áreas de monitoreo. A ellas se asocian bases de datos, a partir de las cuales pueden confeccionarse mapas temáticos, referidos a indicadores específicos. Por razones de espacio, en este artículo sólo podemos mostrar y hacer énfasis en las capas de información subtipos de suelos y salinidad; las demás se sintetizan e interrelacionan en el transcurso del trabajo, a partir de la existencia de una información detallada al respecto (11).

La salinidad se evaluó a partir de los valores de la conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación, determinada en muestras tomadas a intervalos de 20 cm y hasta 100 cm de profundidad del suelo. La densidad de muestreo fue de 100 puntos por km² en el sector de referencia y 16 puntos por km² en el resto del área. Con fines de monitoreo se evaluaron los datos obtenidos en los años 1985 y 1998 en una serie de sitios de muestreo, mientras que en el sector de referencia se evaluó la distribución espacial de las categorías de salinidad en los años 1994 y 1998.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capa de información Subtipos de suelos. En esta área predominan el Fluvisol Típico y el Fluvisol Diferenciado (6), sobre los cuales se realiza la producción de cultivos de ciclo corto y plátano, fundamentales para los pobladores de la zona y la ciudad de Guantánamo, por lo que el logro de la eficiencia de la producción tiene un gran impacto social, además del económico y medioambiental. La distribución geográfica de los subtipos de suelos se da en la Figura 2.

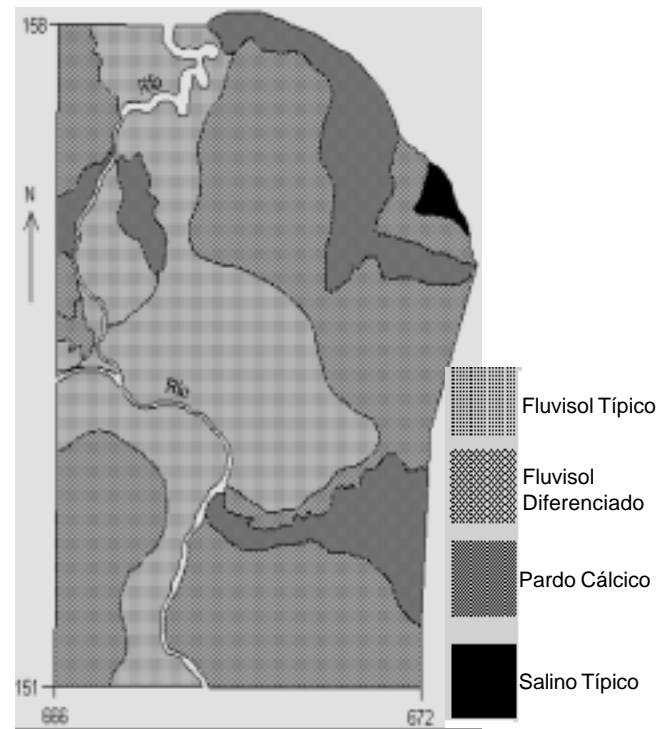


Figura 2. Distribución geográfica de los subtipos de suelos

El comportamiento físico original de los Fluvisoles del área estuvo determinado por un alto grado de estructuración y alta estabilidad de los agregados, contenido medio de arcilla con predominio de la montmorillonita y la no presencia de capas compactas en los primeros 80 cm, todo lo cual favoreció el lavado natural de las sales (7). Actualmente, en 456 ha ocupadas por esos suelos, el índice de estabilidad de los agregados en la profundidad de 0-20 cm, está por debajo de 0.50, cuando ese valor es mayor de 0.80 en aquellas áreas donde ha habido poca o ninguna degradación. La densidad aparente es mayor de 1.20 g. cm⁻³, contra un valor óptimo de 1.10 cm⁻³, mientras que la velocidad de infiltración es menor de 10 mm. h⁻¹, contra un valor que debe superar los 60 mm.h⁻¹.

Capa de información Salinidad. En las áreas de estudio la salinidad se relaciona con el deterioro de las propiedades físicas y químicas, con la aplicación del regadío sin sistemas de drenaje adecuados, lo que ha alterado el comportamiento natural de las secuencias

edafohidrogeológicas (SEHG), a través de las cuales tiene lugar la evacuación de las aguas, ante una red hidrográfica cuyos componentes ejercen poca influencia sobre las áreas situadas entre ellas (13). Esto se agrava por la construcción de embalses para la cría de peces y una red vial que atenta contra el drenaje general de la zona.

El agua de las lluvias puede mantener un equilibrio salino favorable, donde el suelo aún mantiene un comportamiento físico favorable y el manto freático se encuentra a más de 2 m de profundidad. En las áreas que tienen esa condición y que anteriormente fueron salinizadas, se observa en la actualidad un proceso de lavado natural de las sales, también observado en otras partes del Valle de Guantánamo (14).

Los párrafos anteriores explican la distribución espacial de las categorías de la salinidad (Figura 3), con las mayores extensiones de áreas salinas y fuertemente salinas hacia el centro y sur, donde han predominado los cultivos de ciclo corto y plátano durante más de 30 años, bajo intenso regadío y sin sistemas adecuados de drenaje. En las áreas situadas más al norte, hacia donde se han ido extendiendo los cultivos mencionados en los últimos 15 años, es menor el porcentaje de áreas con categorías de salinas y fuertemente salinas, lo que se explica por un mejor comportamiento físico original de estos suelos, condiciones más favorables del relieve y de las SEHG, así como por una menor intensidad de la influencia antrópica.

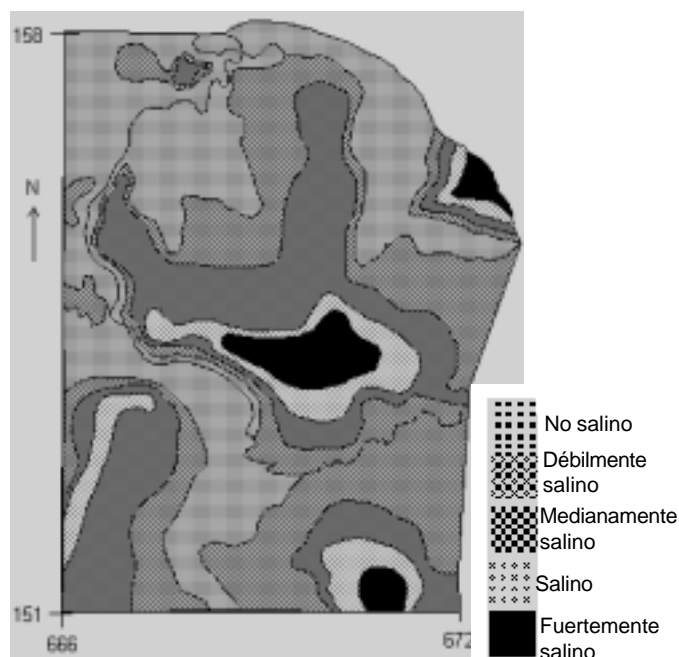


Figura 3. Distribución espacial de las categorías de salinidad

Monitoreo y soluciones tecnológicas. Por comparación de los valores obtenidos en los años 1985 y 1998, en una serie de sitios de muestreo, se calculó la cantidad media de sales (gramos de sales solubles por cada 100 gramos de suelo) que ingresó o salió de los primeros 100 cm de

profundidad del perfil, en el período noviembre-octubre de cada uno de los 13 años en que se consideró el proceso (Tabla I). De los valores máximos de egreso se deduce que, bajo un régimen salino muy favorable, un suelo puede pasar de la categoría de fuertemente salino a la de no salino en un período de 5 a 10 años, sin que se aplique lavado capital.

Tabla I. Movimiento de sales ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) por año en la profundidad de 0-100 cm del suelo

Sitios de muestreo	Coordenada X	Coordenada Y	CE en mS/cm		Ingresos	Egresos
			1985	1998		
1	669.075	153.480	9.18	3.14	-	0.029
2	669.677	153.797	11.54	2.10	-	0.047
3	669.180	154.173	2.91	8.18	0.025	-
4	668.489	153.887	4.18	3.12	-	0.005
5	669.165	154.782	1.02	2.15	0.006	-
6	669.030	153.857	9.18	5.15	-	0.02
7	668.222	155.944	1.10	0.83	-	0.001
8	668.167	154.833	2.53	2.13	-	0.001
9	669.444	152.500	2.53	1.84	-	0.003
10	669.105	153.108	8.15	0.13	-	0.034
11	667.356	156.467	0.41	0.58	0.0008	-
12	670.191	151.879	5.28	2.15	-	0.015
13	667.785	154.329	9.12	5.18	-	0.019
14	668.442	152.645	0.09	0.17	0.00032	-
15	669.561	153.219	3.61	2.18	-	0.007
16	169.481	154.812	1.85	6.45	0.058	-
17	669.278	154.452	4.18	6.17	0.009	-
18	670.109	151.329	7.13	6.18	-	0.005
19	666.995	153.452	3.18	6.15	0.01	-
20	668.301	153.797	4.18	0.11	-	0.012
21	668.891	155.338	3.15	3.89	0.0038	-
22	666.168	151.781	2.10	4.81	0.014	-
23	670.443	154.452	3.48	3.45	-	-
24	669.169	156.276	0.48	2.87	0.012	-
25	669.113	157.105	1.83	4.87	0.015	-

Lo más usual en las condiciones de esta área es que, en lugares donde no se aplica el regadío, con el manto freático a más de 3 m de profundidad y que aún mantienen un comportamiento físico favorable, el lavado natural de sales solubles desde los primeros 100 cm del suelo, tiene lugar a un ritmo que está en el orden de los 0.025 g por cada 100 g en el período de noviembre a octubre, con lo cual se podría pasar de un valor de CE de $5.00\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (categoría salino) a $1.5\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (débilmente salino), en un tiempo de siete a nueve años.

Una expresión gráfica del monitoreo realizado en un sector de referencia situado dentro del área, se da en las Figuras 4 y 5, donde se aprecia la disminución de la salinidad entre 1994 y 1998, como resultado de la aplicación de un conjunto de soluciones tecnológicas.

A continuación se sintetizan las soluciones tecnológicas que fueron aplicadas en el área de trabajo.

Construcción de canales de drenaje: 1 038 m de canales de segundo orden; 1103 m de canales de tercer orden y 4274 m de canales de cuarto orden.

Construcción de canales de riego: 2293 m de canales de segundo orden; 871 m de canales de tercer orden y 4274 m de canales de cuarto orden.

Revestimiento de canales de riego: 2293 m de canales de segundo orden.

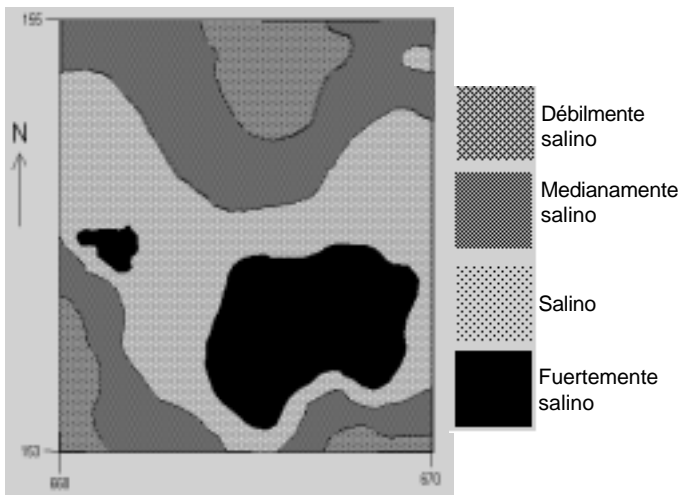


Figura 4. Raster de salinidad en el Sector de Referencia, año 1994

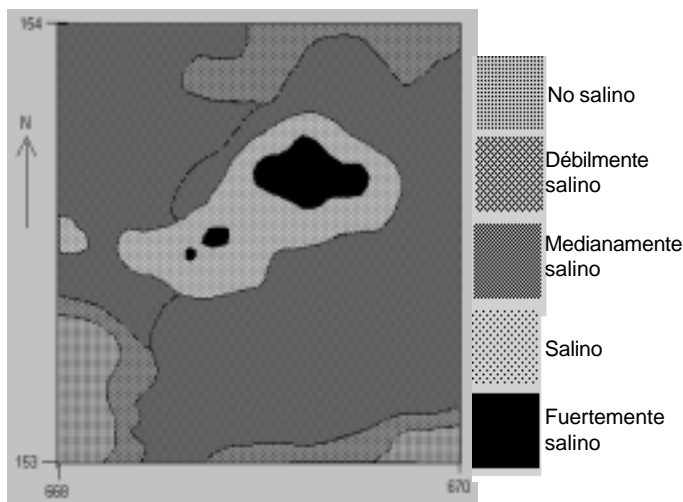


Figura 5. Raster de salinidad en el sector de referencia, año 1998

Además, se realizó el perfeccionamiento de las labores indicadas para el cultivo del plátano en parte del área. Ellas son: subsolación (no se realizaba); preparación para la siembra; alistamiento; selección y preparación de la semilla; siembra; aplicación de materia orgánica (no se realizaba); aplicación de biofertilizantes (no se realizaba); aplicación del regadío (se perfeccionó lo relativo a las normas, momentos de riego y calidad de las aguas); labores de cultivo; labores fitosanitarias; mantenimiento de la plantación.

CONCLUSIONES

- * El sistema de información, monitoreo y soluciones tecnológicas aplicado, constituye una herramienta para la toma de decisiones, encaminadas a la conservación y el mejoramiento de los suelos en particular y del medio ambiente en su conjunto.
- * Las principales ventajas del sistema consisten en que logra la síntesis e integración de la información sobre

factores y procesos, como paso indispensable para el monitoreo y la aplicación de soluciones eficientes.

- * En un plazo de cuatro años se logró una reducción considerable de las áreas con categorías más fuertes de salinidad en un sector de referencia, como resultado de la aplicación de un conjunto de soluciones tecnológicas.

REFERENCIAS

1. Ponce de León, D.; Cabrera, R.; Balmaseda, C. Evaluación de la aptitud de las tierras en áreas cañeras salinizadas. Aplicación de los conceptos de FAO. *Cuba y Caña*, 1996, vol. 1, no. 3, p. 13-17.
2. Ponce de León, D.; Balmaseda, C.; Cabrera, R.; De Armas, C. Evaluación de la aptitud de las tierras en áreas cañeras salinizadas. Utilización de un SIG. *Cuba y Caña*, 1997, vol. 2, no. 1, p. 33.
3. Inerárit, R. y Delgado, T. Los sistemas de información geográfica en Cuba. *Metánica*, 1998, vol. 4; no. 1, p. 13-17.
4. Comerma, J.; Machado, D.; Jiménez, A. y Sevilla. Opciones para incrementar la cobertura vegetal en el nororiente de Venezuela. En: Congreso Latinoamericano y Cubano de la Ciencia del Suelo, Programa y Resúmenes (15, 5:2001:La Habana) 2001. p. 229.
5. Hernández, A.; Pérez Jiménez, J. y Riverol, M. Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. La Habana : Instituto de Suelos. 1995. 35 p.
6. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : Agrinfor, 1999. 64 p.
7. Rivero, R.; Sánchez, I. y Ortiz, C. Comportamiento físico, hidrofísico y régimen hídrico en suelos salinizados y/o sobrehumedecidos. La Habana : Instituto de Suelos, 1995. 29 p.
8. Navarro, N. y Valdés, M. Relación entre la CE y el contenido de sales en suelos y aguas cubanas. En: Memorias del Congreso Latinoamericano y Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo (11, 2:1990:La Habana), 1990, p. 40-42.
9. Otero, L.; Ortega-Sastriques, F. y Morales, M. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de Vertisoles de la Provincia Granma. *Terra*, 1998, vol. 16, no. 3, p. 189-194.
10. Borroto, M.; Borges, O.; Gel, P.; Saíz, J. y Méndez, A. Plantas tolerantes a la salinidad en Cuba. *Agrotecnia de Cuba*, 1997, vol. 27, no. 1; p. 63-68.
11. Rivero, L.; Gálvez, V.; Navarro, N.; Sánchez, I. Sistema de información, sistema de monitoreo y soluciones tecnológicas para preservar a los suelos de la salinidad y posible impacto de los cambios climáticos en agroecosistemas con problemas actuales y potenciales de salinización. Informe final del proyecto 01305005, 2001. Programa Nacional Científico-Técnico «Los Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano»; Instituto de Suelos, 2001, 125 p.
12. Sánchez, I.; Rivero, L.; Piedra, C.; Borges, O.; Valdés, M.; Borroto, M.; Herrera, L.; Martínez, A.; Otero, L. y Saíz, F. J. Tecnología Integral para el uso y manejo de suelos salinos cultivados con plátano (*Musa ABB*), 1998.
13. Ortega, F. Las causas de la salinidad de los suelos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura*, 1986, no. 27, p. 126-136.
14. Herrera, L. M.; Ortega, F.; Sánchez, I. y Ordúñez, D. Pronóstico de la salinización y el lavado natural de las sales de los suelos del Valle de Guantánamo. *Ciencias de la Agricultura*, 1984, no. 19.

Recibido: 9 de enero del 2002

Aceptado: 21 de mayo del 2002