

# LOS SUELOS COMPACTADOS DE CUBA, ALTERNATIVAS PARA MEJORARLOS

Antonio Vantour Causse<sup>1</sup>, Maribel Páez Moro<sup>1</sup> y Teresa Fraser Gálvez<sup>2</sup>

1. Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación (DCTI), CITMA, CUBA. Teléfono 202-34-28, E-mail [avantour@citma.cu](mailto:avantour@citma.cu), [maribel@citma.cu](mailto:maribel@citma.cu)
2. Instituto de Suelos (IS), MINAGRI, CUBA. Teléfono 645-13-88, [suelos@minag.gov.cu](mailto:suelos@minag.gov.cu).

## RESUMEN

En Cuba, la degradación de las tierras agrícolas por la compactación se ha incrementado, manifestándose en la productividad de la agricultura y en los problemas ambientales. En este trabajo se expone parte de los resultados de un proyecto de investigaciones relacionado con la lucha contra la desertificación, en este sentido, se estableció una metodología basada en la Teledetección, el Análisis Multicriterio y los SIG para determinar los procesos de degradación de los recursos edáficos del país, entre ellos, los niveles de compactación de los suelos cubanos. Los resultados demostraron que aproximadamente 5709,44 miles de ha, 51,99% de la superficie de Cuba, está afectada por algunas de las categorías de compactación de los suelos, mientras que alrededor de 5272,09 miles de ha, un 48,01%, no presenta problema con este proceso. Mediante el SIG se confeccionó un mapa a escala 1:250 000 con cuatro categorías: Compactado, medianamente compactado, poco compactado y no compactado. Los suelos con categoría de compactado ocupan 995,25 miles de ha, un 9,06% de la superficie del país. Los suelos con esta elevada compactación son de naturaleza Alítica, Ferralítica, Fersialítica y Sialítica, presentando en los horizontes inferiores una densidad o peso volumétrico entre 1,31-1,40 g.cm<sup>-3</sup>, en ocasiones algunos de estos suelos pueden estar muy compactado con valores > 1,40 g.cm<sup>-3</sup>, imposibilitando la penetración de las raíces de las plantas, la evacuación de las aguas acumuladas por el riego y las lluvias. Las mejores alternativas para el mejoramiento son: labranza mínima, rotación de cultivo y uso de abonos verdes.

**PALABRAS CLAVES:** Compactación, Suelo, Mejoramiento.

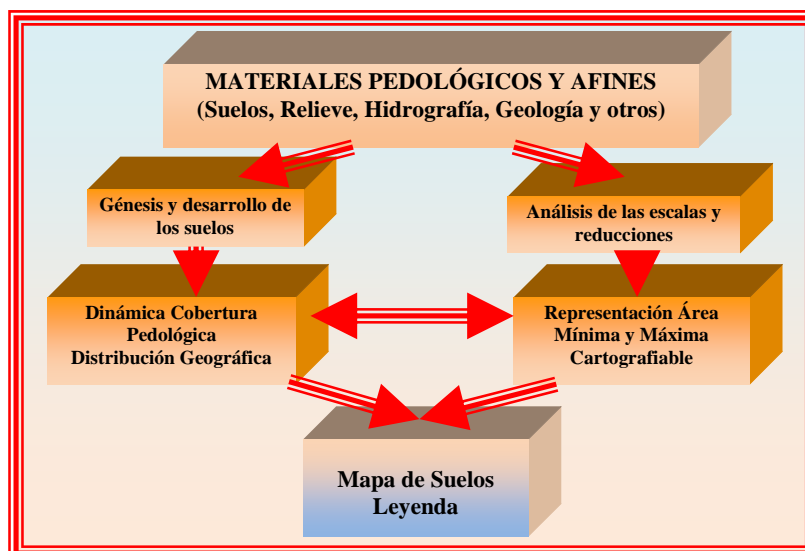
## I. INTRODUCCIÓN

En Cuba, los procesos de degradación de las tierras por la compactación se han incrementado, manifestándose en la reducción de los resultados productivos de la agricultura nacional (Alfonso, *et al*; 2001; Vantour, *et al*; 2003), así como en los problemas ambientales de manera particular (Urquiza, *et al*; 2011). En la actualidad, se considera que la compactación de los suelos es uno de los factores que incide en la vulnerabilidad de los ecosistemas cubanos a los procesos de desertificación (Vantour, *et al*; 2009).

Este trabajo tiene como objetivo principal, exponer parte de los resultados de un proyecto de investigaciones relacionado con la lucha contra la desertificación en Cuba, en este sentido, se estableció una metodología basada en la Teledetección, el Análisis Multicriterio y los SIG para determinar los procesos de degradación de los recursos edáficos del país, entre ellos, los niveles de compactación de los suelos cubanos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En total fueron consultados más de 100 documentos científico-técnicos de las investigaciones realizadas en el territorio nacional, elaborándose un esquema general para la confección del mapa de suelos y de los factores degradantes (Figura 1).



**Figura 1. Método General de Confección del Mapa de Suelos 1:100 000**

En el estudio se consideró para la base cartográfica la superficie total del Archipiélago cubano en 109 886 Km<sup>2</sup> (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008). Fueron evaluadas las características de más de 2000 perfiles y puntos de observación de suelos con y sin afectaciones de compactación. Los métodos cartográficos, clasificación y análisis de los suelos, se efectuaron según las metodologías propuestas por el Instituto de suelos (1994; 1995), mientras que el Sistemas de información Geográfica (SIG), se elaboró según los métodos propuestos por Garea *et al* (2007) con algunas modificaciones en la base de datos.

Como parte de las investigaciones, se desarrollaron un grupo de experimentos de campo para evaluar posibles alternativas para mejorar el problemas de la compactación en los siguientes subtipos de suelos: Ferralítico Rojo compactado, Pardo sin Carbonatos vértico y Vertisol Crómico típico (Instituto de Suelos, 1999), cuyas características aparecen en la Tabla 1.

**Tabla 1. Características Generales de los Subtipos de Suelos Estudiados**

Prof. cm	pH		cmol (+)kg <sup>-1</sup>		%		mg.kg <sup>-1</sup>			Arc <0,01	D.A g/cm <sup>3</sup>
	H <sub>2</sub> O	KCl	CBC	CIC	M.O	N <sub>t</sub>	N-hidro	P	K		
<b>Ferralítico Rojo compactado</b>											
0-15	7,20	6,80	16,35	18,22	2,13	0,088	45,18	87,57	32,21	74,14	1,19
15-30	7,30	6,90	12,43	14,25	1,88	0,080	32,84	66,37	24,53	78,10	1,20
30-50	7,50	7,10	9,82	11,52	1,26	0,055	12,48	57,64	14,75	82,64	1,23
<b>Pardo vértico</b>											
0-15	6,80	5,80	31,17	35,77	1,82	0,078	35,21	15,70	42,28	48,43	1,17
15-30	6,35	5,20	34,66	38,94	0,76	0,045	18,67	7,21	22,74	22,84	1,20
30-50	6,15	5,10	35,13	36,48	0,57	0,034	11,21	5,45	11,87	16,67	1,25
<b>Vertisol Crómico típico</b>											
0-15	7,20	6,80	36,77	37,15	2,00	0,082	27,42	12,65	72,33	74,87	1,18
15-30	7,40	6,90	39,18	40,22	1,25	0,082	13,20	8,23	52,34	61,73	1,22
30-50	8,15	7,10	43,22	48,64	0,66	0,049	6,95	2,35	16,04	57,94	1,26

Los experimentos de campo en los subtipos de suelos se ejecutaron para determinar la efectividad agronómica de sistemas de labranza y fertilizantes órgano-minerales en el mejoramiento de las propiedades de los mismos, teniendo en cuenta el rendimiento y la calidad de la secuencia de cultivos siguientes: frijol-maíz, de acuerdo con el esquema de la Figura 2.

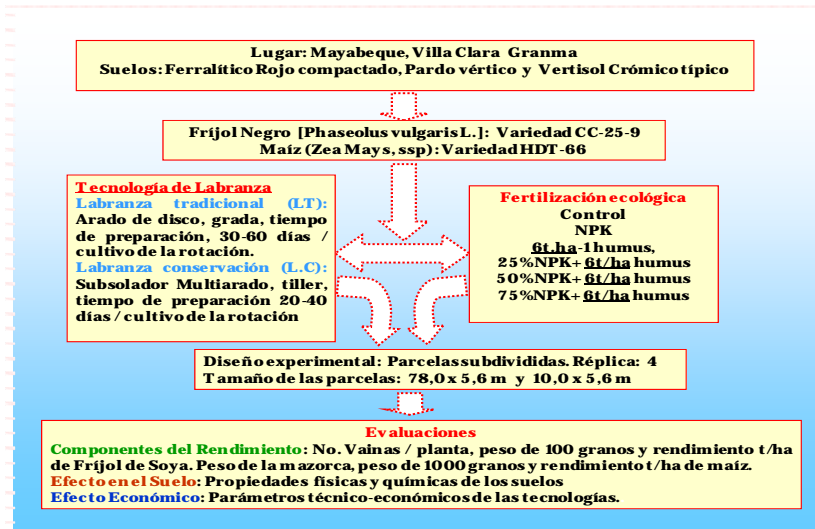
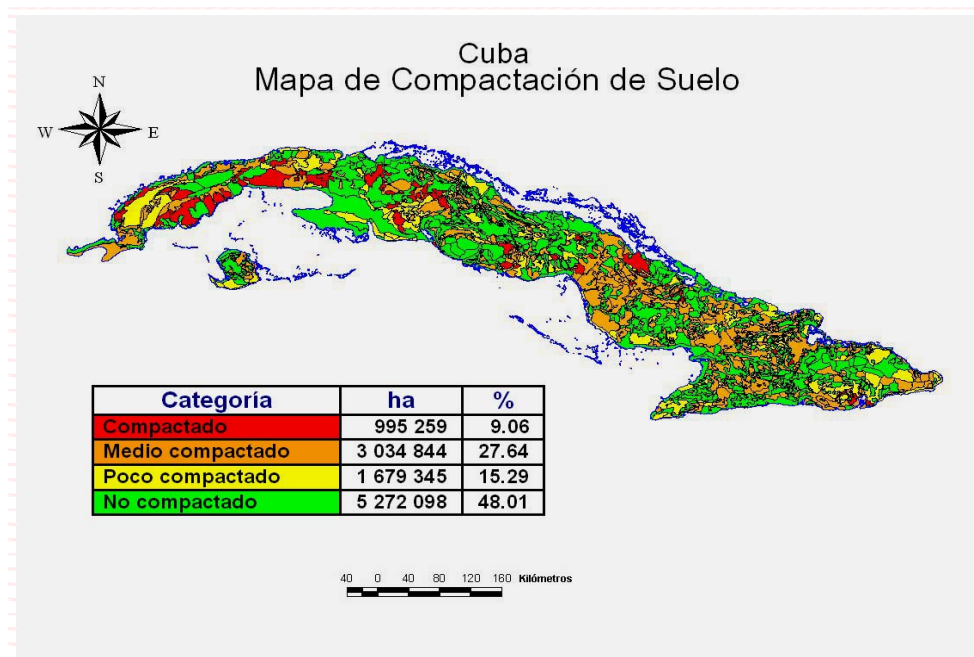


Figura 2. Esquema Experimental de los Ensayos de Campo

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Los Suelos Compactados de Cuba

En Cuba, los suelos con categoría de compactado ocupan aproximadamente 995,25 miles de ha, un 9,06% de la superficie del territorio nacional (Figura 3). Estos suelos se encuentran generalmente en las llanuras del sur de las provincias de Pinar del Río, Artemisa y Mayabeque; también se pueden localizar con una menor difusión en Matanzas, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas y Guantánamo. Los suelos con esta elevada compactación generalmente son de naturaleza Alítica, Ferralítica, Fersialítica y Sialítica, presentando en los horizontes inferiores una densidad o peso volumétrico entre 1,31-1,40 g.cm<sup>-3</sup>, en ocasiones muchos de estos suelos pueden estar muy compactado con valores > 1,40 g.cm<sup>-3</sup>, imposibilitando la penetración profunda de las raíces de las plantas y el aprovechamiento de los nutrientes y la humedad del suelo de manera adecuada, así como la evacuación de las aguas acumuladas por el riego y las lluvias. El origen de este tipo de compactación es antrópica, en algunos casos comienza con la formación del suelo y aumenta con el uso de las maquinarias agrícolas, de manera particular, en el proceso de preparación de las tierras para la siembra con el uso de implementos agresivos (Vantour, *et al*; 2002).



**Figura 3. Mapa Digital de la Compactación de los Suelos de Cuba a escala 1:100 000**

En la categoría de medianamente compactado se diagnosticaron 3024, 84 miles de ha, lo que representa el 27,64% de la superficie total del país (Figura 3). En esta categoría se ubican suelos Alíticos, Ferralíticos, Fersialíticos, Pardos Sialíticos, Vertisuelos, Hidromórficos y Halomórficos, los que presentan en los horizontes inferiores densidades que oscilan desde 1,21 hasta 1,30 g.cm<sup>-3</sup>; en general, todas las provincias y el municipio especial de Isla de la Juventud presentan suelos medianamente compactados, destacándose, las provincias de Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo. Esta compactación es antrópica, debido a la sobreexplotación de la capacidad de uso de las tierras y las prácticas de manejo inadecuadas de la agricultura convencional, lo que acelera la destrucción de la estructura adecuada del suelo (Alfonso y Monedero, 2004).

### **3.2. Alternativas para Mejorar los Suelos Compactados de Cuba**

El análisis de los datos experimentales de campo demuestra que en las variantes con la tecnología conservacionista (LC), donde se combinan el subsolado, el laboreo mínimo y la fertilización órgano-mineral con 50%NPK+ 6 t.h<sup>-1</sup>H se produce un efecto positivo en el rendimiento del cultivos del frijol en los tres suelos estudiados, el cual supera significativamente al resto de las variantes en esta investigación (Tabla 2). Cabe destacar, que en el suelo Pardo Vértico sin Carbonatos, la tecnología de labranza conservacionista y la fertilización Organomineral produjo un incremento mayor del rendimiento en comparación con los suelos Ferralítico Rojo compactado y Vertisol Crómico típico, lo que se explica al parecer por su menores contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y hidrolizable, así como fósforo y potasio disponible (Tabla 1).

**Tabla 2. Efecto de las Tecnologías de Labranza y la Fertilización Organomineral en el Rendimiento del Cultivo de Fríjol**

Tratamientos		Rendimiento del Cultivo de Fríjol t.ha <sup>-1</sup>		
		Ferralítico Rojo compactado	Pardo vértico sin carbonatos	Vertisol Crómico típico
LT	Control	0,63d	0,59f	0,41f
	NPK	0,64d	0,72f	0,74d
	6t.ha <sup>-1</sup> H	1,25b	1,41d	0,55e
	25% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	1,20b	1,52cd	0,75d
	50% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	1,20b	1,68c	1,12bc
	75% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	0,84c	0,94e	1,08bc
L.C	Control	0,67d	0,64f	0,56e
	NPK	0,68d	0,75f	1,05c
	6t.ha <sup>-1</sup> H	1,25b	2,17b	0,68d
	25% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	1,94a	2,48a	1,18b
	50% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,05a	2,53a	1,85a
	75% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	1,90a	1,44d	1,75a
AxB	Esx	0,20**	0,19**	0,13**
	C.V (%)	11,68	12,07	11,76

Media dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre sí para  $P < 0,05$  de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

En tal sentido, la interacción labranza y fertilización organomineral generan un efecto positivo en los componentes del rendimiento del frijol, al mejorarse las propiedades del suelo, lo que a corto plazo tuvo una influencia directa en sus componentes fisiológicos y productivos de esta especie (Alfonso, *et al*; 2000, Alfonso y Monedero, 2004; Fraser, *et al*; 2010).

El efecto de las tecnologías de Labranza y la fertilización en los componentes del rendimiento del maíz utilizado en la sucesión, tiene un comportamiento similar al observado en el cultivo principal de frijol (Tabla 3), es decir, en todos los casos se comprueba que la labranza convencional y fertilización mineral por sí solas no mejoran el rendimiento de esta especie. Puede apreciarse que los tratamientos 50% NPK+6t.ha<sup>-1</sup> H y 75% NPK+6t.ha<sup>-1</sup> H, donde se combinan el sistema conservacionista de preparación del suelo con las variables de fertilización órgano-mineral proporcionaron los mayores rendimientos de este grano en los tres suelos estudiados, sin diferencias significativas entre ambas variantes; no obstante, cabe destacar que en el suelo Vertisol Crómico típico se produjeron 3,77 y 3,82 t.ha<sup>-1</sup> de maíz con los mejores tratamientos, superando la cantidad de toneladas obtenidas en los suelos Ferralítico Rojo compactado y Pardo vértico sin carbonatos experimentados. Resultados similares obtuvieron Monedero (2000), Vantour *et al* (2002) y Fraser *et al* (2010).

**Tabla 3. Efecto de las Tecnologías de Labranza y la Fertilización Organomineral en el Rendimiento del Cultivo de Maíz**

Tratamientos		Rendimiento del Cultivo de Maíz t.ha <sup>-1</sup>		
		Ferralítico Rojo compactado	Pardo vértico sin carbonatos	Vertisol Crómico típico
	Control	0,53g	0,66e	1,45f
	NPK	1,63f	1,88d	1,60f
	6t.ha <sup>-1</sup> H	2,01de	2,27c	2,13d

LT	25% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	1,99e	2,18cd	1,83e
	50% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,06cde	2,28c	2,48e
	75% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,21bcde	2,28c	2,45e
L.C	Control	0,55g	0,65e	1,53f
	NPK	2,03ce	1,90d	1,83e
	6t.ha <sup>-1</sup> H	2,23bcd	2,69b	3,74a
	25% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,28bc	2,55bc	2,82b
	50% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,42a	3,05a	3,77a
	75% NPK+6t.ha <sup>-1</sup> H	2,58a	3,06a	3,82a
AxB	Esx	0,24**	0,35**	0,23**
	C.V (%)	12,07	13,38	14,33

Media dentro de una columna con letras distintas, son significativamente diferentes entre sí para  $P < 0,05$  de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Según los datos de la Tabla 4, la tecnología que se propone tiene ventajas económicas desde el punto de vista de la relación costo/beneficio, la cual varía desde 2,24 hasta 2,59, es decir, se obtiene más de dos pesos por cada uno invertido, los cuales retornan al sistema productivo considerándose aceptable para este tipo de tecnología de labranza mínima con mejoradores orgánicos del suelos (Sáenz Pena, 1992; Monedero, 2000; Vantour, *et al*; 2001).

**Tabla 4. Parámetros de Beneficio de la Tecnología Conservacionista**

Parámetros	U.M.	Tipos de Suelos		
		Ferralítico Rojo compactado	Pardo vértico sin carbonatos	Vertisol Crómico típico
<b>Beneficio de la Tecnología Conservacionista</b>				
Rendimiento Fríjol	t.ha <sup>-1</sup>	2,05	2,53	1,85
Rendimiento Maíz	t.ha <sup>-1</sup>	2,42	3,05	3,77
Rendimiento Total	t.ha <sup>-1</sup>	4,47	5,58	5,62
Beneficio Ajustado	peso.ha <sup>-1</sup>	15895,44	16753,12	17458,85
Ganancia Neta	peso.ha <sup>-1</sup>	10986,85	12057,77	12592,98
Relación B/C	-----	2,24	2,57	2,59
VAN	-----	122886,21	126451,33	131712,56
TIR	%	> 52	> 55	> 57
PRI	-----	2,14	1,95	1,74
NK	-----	45,32	53,29	64,78

Por otra parte, los Valores Actualizados Netos (VAN), alcanzados en cada suelo estudiado con la aplicación de la tecnología, se ubicaron entre 122886,21-131712,56 pesos (Tabla 4) el que comienza a ser ganancia neta a partir del segundo año de iniciada la inversión. Además, la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) supera el 50% considerándose adecuado, mientras que el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) de manera positiva es de 1,74-2,14 años, por último, la Relación Inversión/Beneficio Neto (NK) oscila desde 45,32 hasta 64,78.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En Cuba, aproximadamente 5709,44 miles de ha, 51,99% de su superficie, está afectada por algunas de las categorías de compactación de los suelos, mientras que 5272,09 miles de ha, un 48,01%, no presenta problema con este proceso de degradación.

2. La tecnología conservacionista (LC), donde se combinan el subsolado, el laboreo mínimo y la fertilización órgano-mineral con 50%NPK+ 6 t.h<sup>-1</sup>H, produjo rendimientos en el frijol entre 1,85-2,53 t.ha<sup>-1</sup>, mientras que en el maíz fue de 2,42-3,77 t.ha<sup>-1</sup>, sembrados ambos cultivos con un esquema de rotación en suelos Ferralítico Rojo compactado, Pardo vértico sin carbonatos y Vertisol Crómico típico.
3. La tecnología conservacionista genera una relación costo/beneficio desde 2,24 hasta 2,59, es decir, se obtiene más de dos pesos por cada uno invertido, los cuales retornan al sistema productivo considerándose aceptable para este tipo de tecnología de labranza mínima con mejoradores orgánicos del suelos.
4. Se recomienda emplear la tecnología conservacionista como una alternativa para eliminar los problemas de compactación que tienen suelos Ferralítico Rojo compactado, Pardo vértico sin carbonatos y Vertisol Crómico típico, así como obtener rendimientos aceptables de frijol y maíz, sembrados ambos cultivos con un esquema de rotación.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfonso, C. A., Milagros Monedero, S. Hernández, V. Somoza y Livia Sánchez. Efecto de la Compactación del Suelo en la Producción de Frijol. *Agronomía Mesoamericana* 11(2):53-57, 2000.
2. Alfonso, C. A., y M. Monedero. *Uso, Manejo y Conservación de los Suelos*. ACTAF. L a Habana, 66 pp., 2004.
3. Fraser, Teresa, A. Vantour y Luz de Alba Mustelie, Manejo de la fertilización órgano-mineral en la producción de tomate, maíz y boniato en suelos Ferralíticos Rojos. En Resúmenes CD del 45 Aniversario del Instituto de Suelos y VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, Ciudad de La Habana, del 7 al 9 de julio del 2010.
4. Garea, E; F. Soto y A. Vantour. Combinación de métodos de análisis espacial para la zonificación agroecológica de cultivos en condiciones de montaña. En CD Memorias del VI Congreso Internacional de GEOMÁTICA 2007. La Habana 10 pp., 2007.
5. Instituto de Suelos. *Manual de Técnicas Analíticas de Suelos, Plantas y Agua*. MINAGRI. La Habana, 150 pp., 1994.
6. Instituto de Suelos. *Metodología para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los Suelos*. MINAGRI. La Habana. 55 pp., 1995.
7. Instituto de Suelos. *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*. AGROINFO, MINAGRI. Ciudad de La Habana. 64 pp., 1999.
8. Monedero, Milagros. *Las Asociaciones de Maíz-Leguminosas como Alternativas para Mejorar la Fertilidad de un Suelo Ferralítico Rojo compactado Cultivado con Frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Tesis Presentada en Opción al Grado de Maestro en Nutrición y Biofertilizantes. Dirección Provincial de Suelos La Renee-Habana, Instituto de Suelos, MINAGRI. Ciudad de La Habana. 67 pp., 2000.
9. Oficina Nacional de estadísticas. *Anuario Nacional Económico de Cuba*. Oficina Nacional de Estadísticas, La Habana. 110 pp., 2008.
10. Sáenz Pena, R. *Manual de sistema de labranza para América Latina*. Boletín de Suelos de la FAO. 66. Roma. 192 pp., 1992.
11. Urquiza, María Nery, Alemán, C, Flores, L, Ricardo, Marta Paula y Aguilar, Yulaidis. *Manual de Procedimientos para el Manejo Sostenible de Tierras*. CIGEA., La Habana. 186 pp., 2011.
12. Vantour, A., E. Peart, Clara María John, Marisol Morales y Teresa Fraser. *Tecnología de Labranza y Manejo de Suelos para una Agricultura Sostenible en los Agroecosistemas de cultivos varios*. Informe Final del Proyecto 002-00-113. Dirección Provincial de Suelos La Renee-Habana, Instituto de Suelos, MINAGRI. Ciudad de La Habana. 92 pp., 2001.

13. Vantour, A., Teresa Fraser, Marisol Morales, Clara Maria John y D. Gómez. Tecnología Conservacionista para Mejorar el Rendimiento de una Secuencia Fríjol-Maíz-Fríjol en Suelos Vertisoles con Problemas de Salinidad del Valle del cauto. En Programa y Resúmenes XII Congreso Científico del INCA. San José, La Habana pág. 166, 2002.
14. Vantour, A., R. O. Cruz, Maribel Páez, G. Martín y R. P. Capote. Los Recursos Edáficos y su Degradación en la República de Cuba. En Resúmenes CD del Evento VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba. 2009.