

RELACIÓN ENTRE LA PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO Y LOS RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS EN EMPRESAS AGROINDUSTRIALES AZUCARERAS DE CAMAGÜEY.

Dr. C Agr. Eugenio García del Risco*, M. Sc. Alfredo Rivera Laffertté y Lic. Douglas Montes Álvarez.

UEB INICA Camagüey. Carretera "Las Mercedes". Florida, CP 72810. Cuba.

Teléf.: 0053(32)515581 y 53(32)513871 (ext.105)

email*: eugenio.garcia@eticacm.azcuba.cu ; garciadelrisco@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El nivel de producción de un cultivo agrícola está determinado por el factor de crecimiento menos favorable, efecto que generalmente es de difícil identificación por la acción interactuante de los factores edáficos, climáticos, de manejo y genotipos cultivados. El suelo constituye uno de los principales factores relacionados con el desarrollo de los sistemas agrícolas, de ahí que el conocimiento de los factores edafológicos que inciden en la producción agrícola y la acción que se ejerza para superar el límite por ellos impuestos, es un paso imprescindible para toda aspiración de obtener altos rendimientos de manera sostenida y hacer más rentable la producción. (Pineda et al., 2008).

Según Álvarez, citados por Arzola y Machado (2015), la degradación de los suelos es un desafío medioambiental que afecta seriamente la producción mundial de alimentos. Cuba no está exenta de este fenómeno. Para el caso de la provincia de Camagüey (García et al. 2017), concluyen que el factor degradante que afecta mayor superficie de las áreas cañeras del territorio es la poca profundidad efectiva de la capa arable del suelo, lo que constituye limitación en el desarrollo de las raíces y la disponibilidad de agua y nutrientes para la caña de azúcar, afectando además el drenaje interno del suelo. Los suelos poco profundos se asocian con mucha frecuencia a condiciones de topografía ondulada o desarrollo sobre rocas no calcáreas y por lo general, van acompañados por procesos erosivos. Esta circunstancia también tiene lugar en suelos profundos cuando en ellos se desarrollan procesos que limitan el crecimiento normal de las raíces o su penetración, tales como: roca dura continua, arcilla basal muy consistente, presencia de gley, síntomas de reducción, horizontes petro-férricos y petro-cálcicos o capas con fuerte compactación.

Con el objetivo de conocer la incidencia de la profundidad efectiva sobre los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar en las empresas agroindustriales azucareras de la provincia de

Camagüey, sus efectos en la producción y la economía, así como su distribución espacial, se desarrolló el trabajo que se presenta a continuación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para caracterizar la profundidad efectiva, se utilizó la información de la base catastral y de datos agrícolas actualizada de las ocho empresas agroindustriales con que cuenta la provincia de Camagüey y fecha 30 de septiembre de 2020, tomada como base para la confección del programa de desarrollo de las unidades productoras cañeras hasta el año 2030.

Para la caracterización de la profundidad efectiva se agruparon los datos por las categorías del Mapa de Suelos 1:25 000 del MINAGRI (1985) y que se exponen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías para evaluar la profundidad efectiva en suelos. según el Mapa de Suelos 1:25000 del MINAGRI (1985).

Categorías	Descripción	Rangos (cm)
p ₁	Muy profundos	>150
p ₂	Profundos	91-150
p ₃	Medianamente profundos	51-90
p ₄	Poco profundos	25-50
p ₅	Muy poco profundos	<25

Se confeccionaron tablas por categorías de profundidad efectiva del área geográfica de cada empresa agroindustrial azucarera y de los rendimientos agrícolas obtenidos para condiciones de secano o temporal y precipitaciones medias anuales de 1200-1300 mm, en ciclos de cosechas de cinco cortes en 7 años, establecido como promedio en la producción cañera cubana.

Se correlacionaron la profundidad efectiva y los rendimientos agrícolas medios por unidad mínima de manejo en cada empresa, empleando el paquete estadístico INFOSTAT, versión 8 (Di Rienzo et al.2013), obteniéndose las ecuaciones de regresión correspondientes. Se calculó además la segunda derivada de la función o punto de inflexión de la curva, que representó la profundidad efectiva crítica para las condiciones de cada empresa. También se obtuvo el diagrama de dispersión de los datos de la profundidad y se confeccionaron con empleo del MAPINFO los mapas con la distribución espacial de las categorías para cada empresa. Por último. se realizó una evaluación económica. tomando en cuenta por empresa, la diferencia del rendimiento de las áreas con menos de 25 cm de profundidad efectiva con respecto al rendimiento en las áreas comprendidas en el resto de las profundidades. Con dichos valores y con el precio de una tonelada de caña en pesos cubanos (CUP), según la Gaceta Oficial de la República de Cuba (2022), se calcularon las pérdidas por hectárea cosechada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra el comportamiento de la profundidad efectiva por cada empresa agroindustrial azucarera, según las categorías del Mapa de Suelos 1:25 000 del MINAGRI (1985). La evaluación comprendió 127234,16 ha, equivalentes al 97,5% del fondo de tierra para caña con que cuenta el Grupo Empresarial AZCUBA en la provincia de Camagüey.

Los resultados indican que el 81,74 % de los suelos cañeros de la provincia están comprendidos en las categorías de poca y muy poca profundidad efectiva con valores por debajo de los 50 cm. Las empresas “Brasil” y “Siboney” son las únicas que cuentan con pequeñas áreas por encima de los 90 cm de profundidad efectiva, pero que entre ambas no sobrepasan el 3 % del fondo de tierra para caña de la provincia.

Cuadro 2. Distribución de categorías de profundidad efectiva por empresa agroindustrial azucarera en la provincia de Camagüey. (ha)

Empresas	Categorías de Profundidad Efectiva (cm)						Media (cm)
	>150	91- 150	51-90	25-50	<25	Total (ha)	
“Ignacio Agramonte”	0	0	438,51	10541,16	1637,14	12616,81	37,7
“Carlos M. de Céspedes”	0	0	4285,21	9803,71	1906,88	15995,80	43,3
“Argentina”	0	0	721,14	10965,41	525,72	12212,27	37,5
“Brasil”	274,89	3307,49	3481,59	5667,86	3028,13	15759,96	58,3
“Cándido González”	0	0	2803,10	6833,54	4669,16	14305,80	37,9
“Siboney”	0	240,82	267,31	7305,97	2080,58	9894,68	37,6
“Panamá”	0	0	2744,95	14472,33	4777,44	21994,72	36,1
“Batalla de las Guásimas”.	0	0	4674,31	16280,72	3499,09	24454,12	38,9
Totales	274,89	3548,31	19416,12	81870,70	22124,14	127234,16	
%	0,22	2,79	15,26	64,35	17,39	100,00	

Solamente con promedio de 58 cm, aparece la empresa “Brasil”, lo que se explica, por contar con amplia distribución de suelos de naturaleza ferralítica y horizontes cultivables generalmente profundos. El resto de las empresas cultivan la caña de azúcar en suelos menos profundos, con valores que fluctúan entre 36,1 cm en la empresa “Panamá” y 43,3 cm en “Carlos Manuel de Céspedes”.

En las Figuras 1 a 8 se muestran los mapas con la distribución espacial de las categorías de profundidad efectiva en cada empresa agroindustrial azucarera de la provincia de Camagüey.

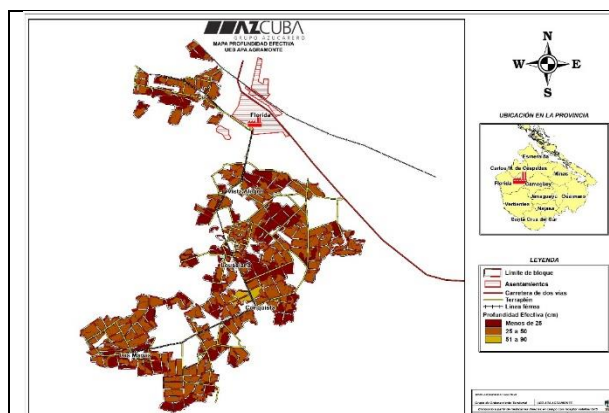


Figura 1. Empresa "Agramonte"

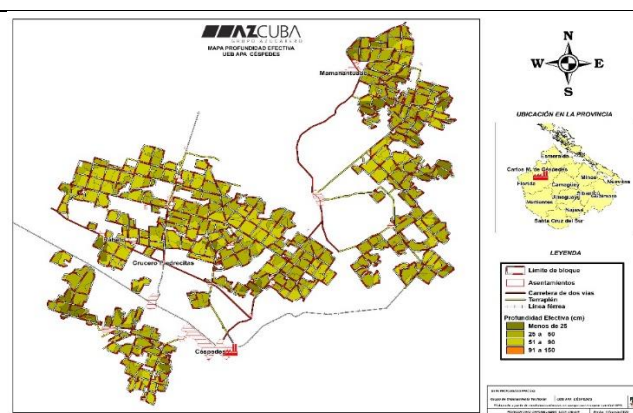


Figura 2. Empresa "Céspedes"

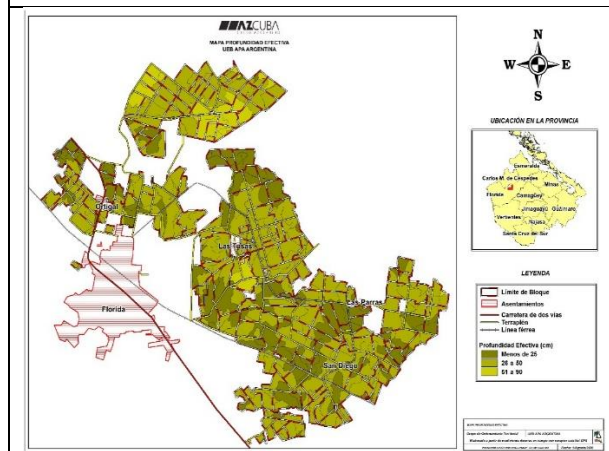


Figura 3. Empresa "Argentina"

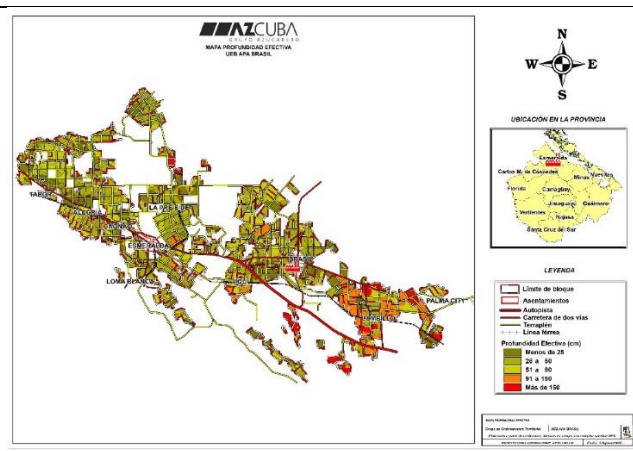


Figura 4. Empresa "Brasil"

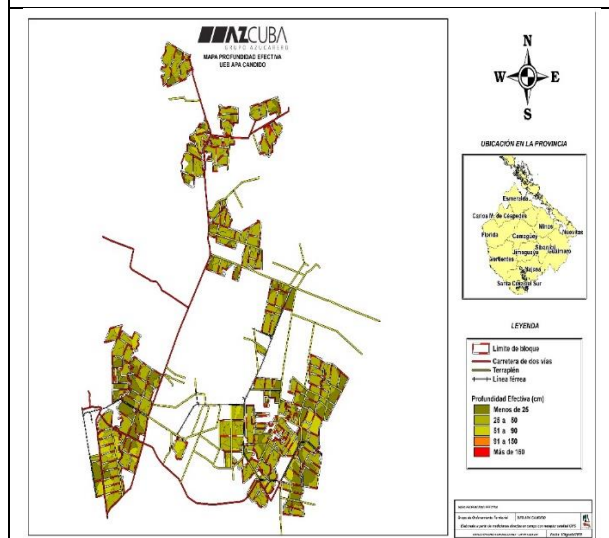


Figura 5. Empresa "Cándido González"

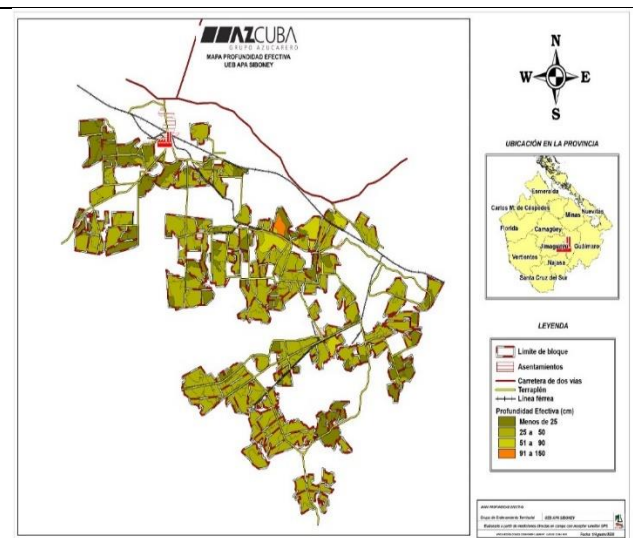
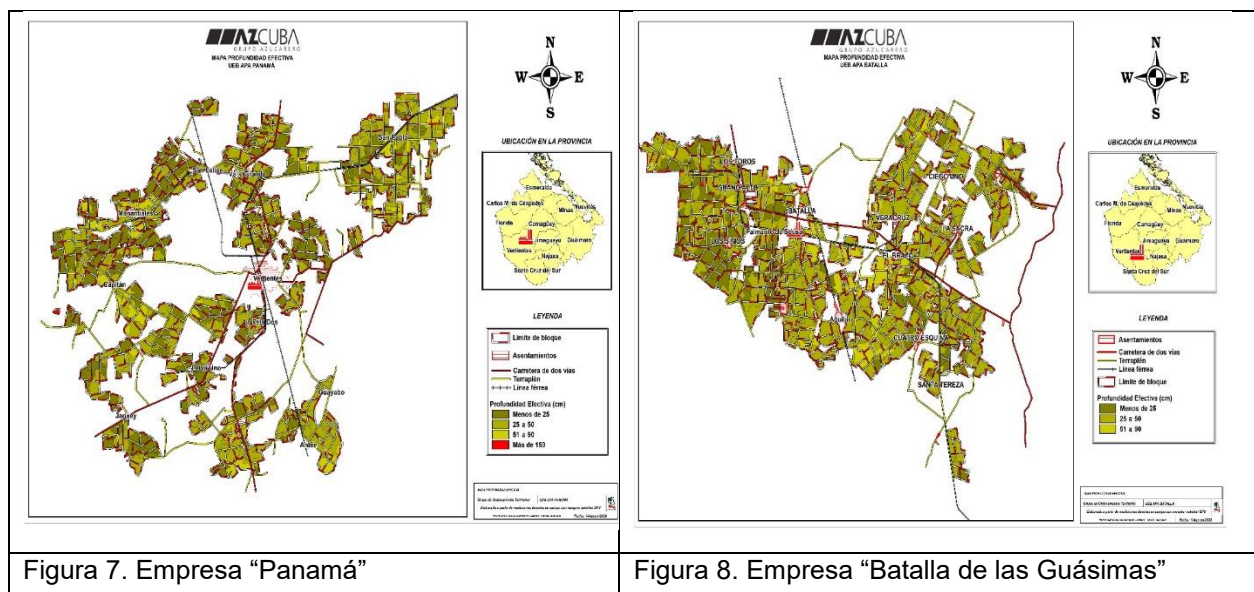


Figura 6. Empresa "Siboney"



En el Cuadro 3 se presentan los rendimientos potenciales por categorías de profundidad efectiva para el ciclo de cosechas considerado, alcanzándose los mayores rendimientos potenciales en "Carlos Manuel de Céspedes", "Panamá" e "Ignacio Agramonte" respectivamente que no son precisamente las empresas que presentan mejor distribución y promedios de la profundidad efectiva del suelo, por lo que es evidente que existen otros factores y condiciones que intervienen en la obtención de los rendimientos agrícolas, a veces de carácter antrópico.

Cuadro 3. Rendimientos agrícolas medios ($t\ ha^{-1}$) en dependencia de la profundidad efectiva por empresa agroindustrial azucarera en la provincia de Camagüey.

Empresas	Categorías de profundidad efectiva (cm)					($t\ ha^{-1}$)
	>150	91-150	51-90	25-50	<25	Media
"Ignacio Agramonte"			84,9	61,2	26,4	57,7
"Carlos M. de Céspedes"			76,0	62,4	21,1	60,4
"Argentina"			50,9	55,0	43,4	54,2
"Brasil"	59,9	59,0	48,2	43,1	15,1	43,9
"Cándido González"			67,1	56,3	24,1	51,6
"Siboney"		90,0	57,0	51,1	25,8	49,7
"Panamá"			78,3	64,3	31,4	58,0
"Batalla de las Guásimas."			47,2	54,0	19,3	47,8

Con el propósito de conocer la relación existente entre la profundidad efectiva de cada unidad mínima de manejo y los rendimientos agrícolas determinados para esas condiciones (Cuadro 4), se calcularon las ecuaciones de regresión, encontrándose en todas las empresas correlaciones altamente significativas entre la profundidad efectiva del suelo y los rendimientos agrícolas por hectárea. La función cuadrática presentó mejor ajuste, con altos valores del coeficiente de

determinación (R^2) y análisis de varianzas de la regresión con valores de F (Fisher), altamente significativos.

Para cada ecuación se calculó además la segunda derivada que determina el punto de inflexión de la curva o profundidad efectiva máxima o crítica (Figuras 9 a 16), punto en el cual ya este factor deja de tener relación directa con los rendimientos e intervienen otros factores que interactúan en conjunto y determinan en fin el rendimiento agrícola final.

De esta forma se pudo establecer que la profundidad efectiva es un factor limitativo que afecta en diferente magnitud los rendimientos agrícolas de todas las empresas agroindustriales azucareras de Camagüey, por lo que, al momento de su evaluación, deben considerarse estos resultados.

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión que relacionan la profundidad efectiva y los rendimientos agrícolas por empresa azucarera en la provincia de Camagüey.

Emp. Azuc.	Ecuaciones de regresión	n	R^2	$F_{calc.}$	F_{tab}	$X_{crit.}$ (cm)
"Agramonte"	$Y = -7,6052 + 2,4863X - 0,0168X^2$	182	0,46	79,55+++	4,61	74,0
"Céspedes"	$Y = -10,3857 + 2,4906X - 0,0170X^2$	206	0,74	178,86+++	4,71	73,2
"Argentina"	$Y = 9,3037 + 1,8882X - 0,0170X^2$	164	0,20	9,45+++	4,71	55,5
"Brasil"	$Y = 8,7272 + 0,9080X - 0,0143X^2$	204	0,54	128,87+++	4,66	119,5
"Cdo. Glez."	$Y = -3,3083 + 2,0950X - 0,0143X^2$	135	0,53	77,29+++	4,75	73,2
"Siboney"	$Y = 5,7442 + 1,5290X - 0,00834X^2$	136	0,34	36,25+++	4,75	91,5
"Panamá"	$Y = -20,3422 + 3,2249X - 0,0253X^2$	331	0,52	174,53+++	4,66	63,7
"Batalla de las Guás."	$Y = -20,4841 + 3,2236X - 0,0336X^2$	302	0,29	63,40+++	4,66	48,0

Leyendas: n= pares de datos correlacionados

Y = Rdto. (t ha-1)

X = Prof. Efectiva (cm).

$X_{crit.}$ = Prof. Máxima (cm) que define el incremento de los rendimientos.

+++ Probab. de error: $\leq 0,001$

A continuación, se muestran las representaciones gráficas de las ecuaciones de regresión y el diagrama de dispersión de los datos obtenidos para cada empresa agroindustrial azucarera de Camagüey:

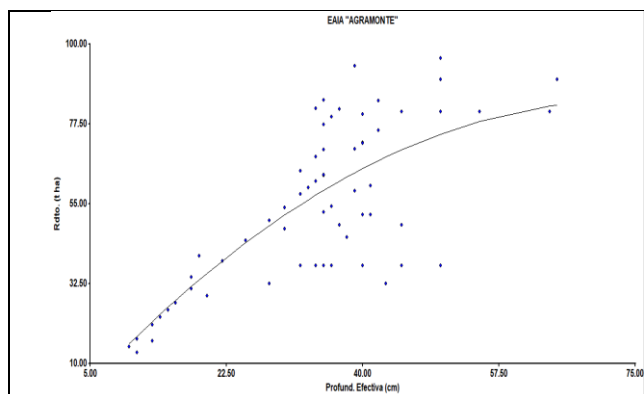


Figura 9. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Agramonte".

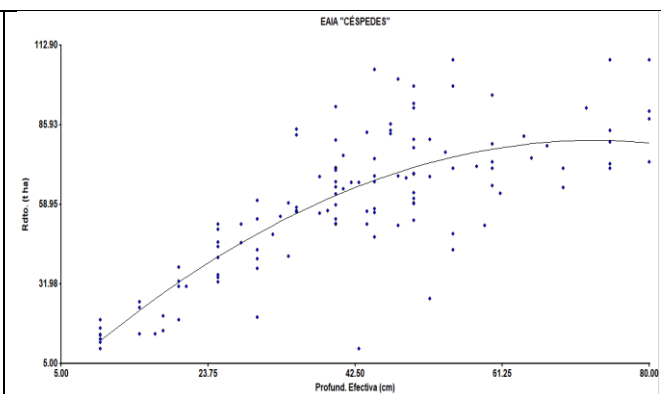


Figura 10. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Céspedes".

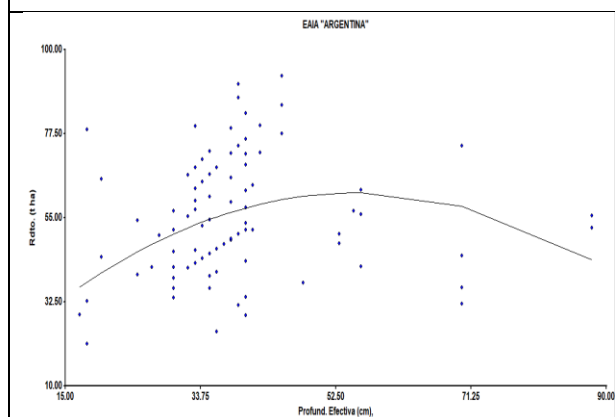


Figura 11. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Argentina".

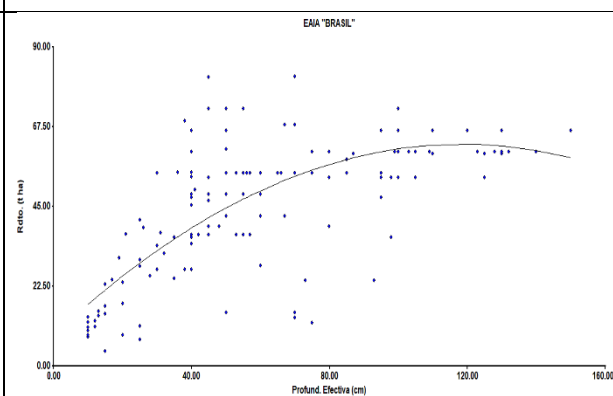


Figura 12. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Brasil".

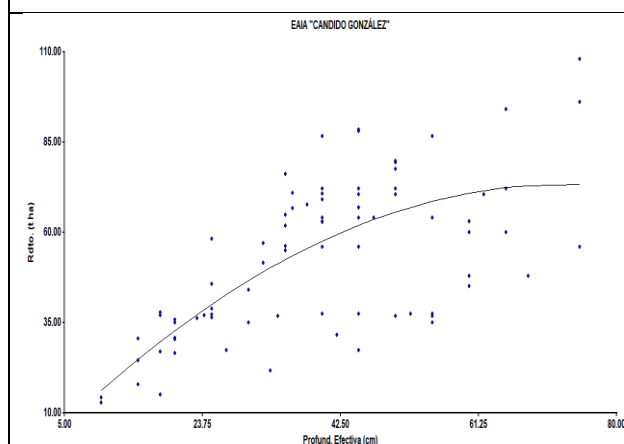


Figura 13. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Cándido González".

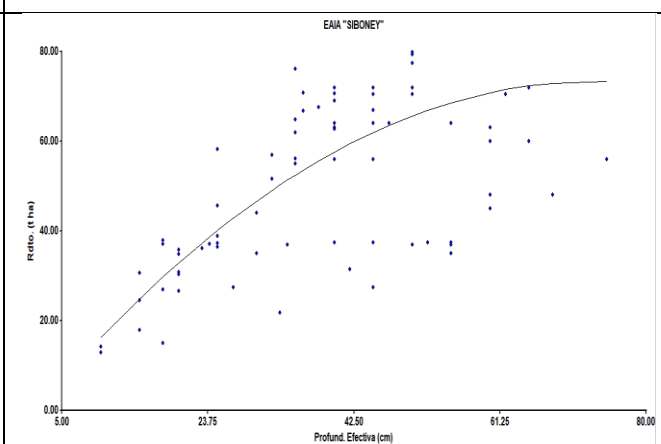
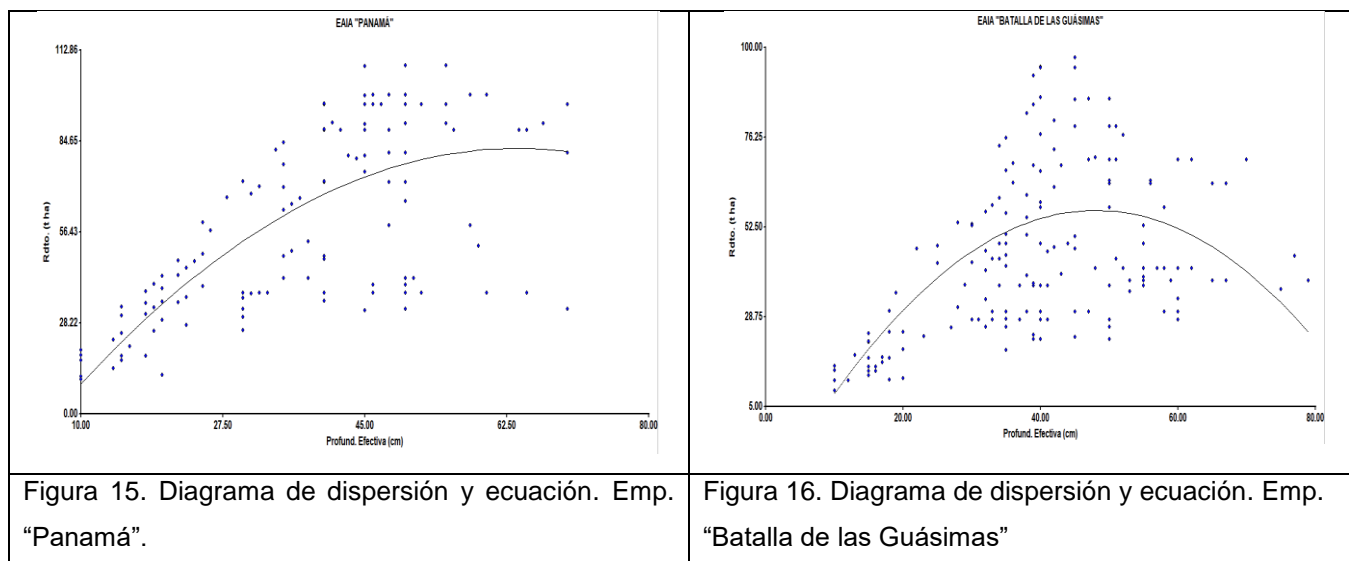


Figura 14. Diagrama de dispersión y ecuación. Emp. "Siboney".



Desde el siglo XIX, en tiempos del eminente sabio cubano Don Álvaro Reynoso, se le concedía gran importancia a la profundidad efectiva del suelo. Este eminente científico cubano aseguraba, según Arzola y Machado (2015), que “lo primero que debiera hacer un agricultor una vez que contara con el plano de su finca, sería examinar el terreno, determinando sus propiedades físicas y composición química, la naturaleza del subsuelo y la profundidad de la capa vegetal”.

Riverol et al., citados por García et al. (2017), reiteran que en Cuba el proceso de degradación de los suelos se debe en un alto porcentaje, al inadecuado manejo y explotación, además de las condiciones climáticas, topográficas y edafológicas existentes, que han dado lugar a la erosión entre fuerte a media, lo que trae aparejada la disminución de la profundidad efectiva del suelo y por tanto de los rendimientos agrícolas de la mayoría de los cultivos que en ellos se plantan.

Otros autores como Albani et al. (2011), en España hacen referencia a que el suelo es un recurso natural no renovable a escala temporal humana y es soporte para la existencia de agroecosistemas terrestres ya sean naturales o modificados y es necesaria su conservación. Zavala et al (2017), en condiciones de México, destacan la necesidad de impulsar programas de manejo sustentable de suelos a fin de evitar su degradación.

Se realizó una evaluación económica preliminar (Cuadro 5) de las pérdidas económicas en toneladas de caña por hectárea que se presentan en cada empresa agroindustrial azucarera y promedio en la provincia, considerando la diferencia entre los rendimientos potenciales medios de cada empresa y los rendimientos medios para las áreas con menos de 25 cm de profundidad efectiva. Se tomó como valor para cada tonelada de caña el precio aprobado en las premisas para la realización del programa de desarrollo de las unidades productoras cañeras hasta 2030, equivalente a \$700.00 CUP por tonelada de caña limpia. (Gaceta Oficial de la República, 2022)

Cuadro 5. Evaluación de las pérdidas ocasionadas en las Empresas Agroindustriales Azucareras y total en Camagüey en suelos de muy poca profundidad efectiva.

	Profund. <25 cm		Medias UEB		Difer. en t ha-1	Difer CUP ha-1
	ha	Rdto (t ha-1)				
“Ignacio Agramonte”	1337,14	26,4	57,7		31,3	21 910,00
“Carlos M. de Céspedes”	2470,35	20,9	58,3		37,4	26 180,00
“Argentina”	582,36	39,9	53,4		13,5	9 450,00
“Brasil”	1428,22	16,0	41,5		25,5	17 850,00
“Cándido González”	4669,16	28,8	51,4		22,6	15 820,00
“Siboney”	2080,58	25,8	49,7		23,9	16 730,00
“Panamá”	4774,44	31,4	57,9		26,5	18 550,00
“Batalla de las Guásimas”	3499,09	19,3	47,1		27,8	19 460,00
Total/promedios	20841,34	24,1	52,2		28,1	1 9670,00

Las mayores pérdidas por cada hectárea cosechada se producen en las Empresas Agroindustriales Azucareras "Carlos Manuel de Céspedes"; "Ignacio Agramonte"; "Batalla de las Guásimas" y "Panamá", con valores que fluctúan entre \$18 550,00 (CUP) en "Panamá" y \$26 180,00 (CUP) en "Carlos Manuel de Céspedes", mientras que las menores ocurren en la Empresa "Argentina" con 9 450,00 (CUP). En suma, las Empresas Agroindustriales Azucareras de Camagüey dejan de producir por afectación de la profundidad efectiva como promedio 28,1 toneladas de caña por hectárea cosechada, con un valor de \$19 670,00 (CUP). De allí la importancia de brindar especial atención a la introducción de todas aquellas prácticas, muchas de ellas comprendidas en el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos del Ministerio de la Agricultura y otras que, contempladas en la "Tarea Vida", están dirigidas a la protección de este importante recurso sobre el que se sustenta la producción de uno de los principales renglones económicos del país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos han permitido arribar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La poca profundidad efectiva afecta en diferente magnitud los rendimientos agrícolas en todas las empresas agroindustriales azucareras de Camagüey.
- Se encontró una estrecha relación entre la profundidad efectiva del suelo y los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar en las empresas agroindustriales azucareras de la provincia de Camagüey.

-La evaluación económica demostró que, por concepto de cosechar la caña de azúcar en suelos de muy poca profundidad efectiva, se dejan de ingresar como promedio \$19 670,00 (CUP) por cada hectárea de caña cosechada.

-Se recomienda considerar los resultados de este trabajo en la elaboración de los programas de desarrollo de las unidades productoras cañeras e incluir las áreas afectadas por poca profundidad efectiva en el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, con el fin de mitigar o atenuar los perjudiciales efectos de este factor degradante.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albani. S. A., María. A. Torralba y F. Barbero. (2011): Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. Dpto. Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid. Agricultura Ecológica. Vol. 7:4, 38 pp
- Arzola, N. y J Machado. (2015): La aptitud de los suelos para la producción de caña de Azúcar. Parte I-Calibración en condiciones experimentales y de producción. Revista Centro Agrícola. 42(2) 33-38. Abril –Junio-2015. ISSN 0253-5785
- Gaceta Oficial de la República de Cuba (2022): Acuerdo 9272/22 (GOC-2022-116-O12. ISSN 1682-7511 pp 325-336.
- García, E., A. Rivera. I. Rossi. L. de la O y L. Morell. (2017): La degradación de los suelos cañeros de la Empresa Azucarera Camagüey y medidas de atenuación y mejoramiento. Fórum Provincial de Ciencia y Técnica. Camagüey. 15pp
- Di Rienzo J. A., F. Balzarini, M.G. González, L. Tablada. y C. W. Robledo (2008): Paquete Estadístico *InfoStat. versión 2013*. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. (FCA). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.336 pp.
- MINAGRI (1985): Mapa de Suelos de Cuba a escala 1:25000. Instituto de Suelos Ministerio de la Agricultura. Cuba.
- Pineda, Emma. V. Barrientos, Patricia Dorantes, P. Romero, Sofía Quiñones y J. Quiñones. (2008): Inventario y evaluación de factores edáficos limitantes para el cultivo de la caña de azúcar en el Estado Portuguesa, Venezuela. INICA PDVSA Agrícola. Boletín Agrícola PDSA. Venezuela 12 pp.
- Zavala. J., O. Castillo, M. A. Ortiz et al. (2017): Agrodiversidad Vol 10:12. pp3-8. ISSN 2594-0252. Índice de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología. Colegio de Postgraduados. Chapingo México