



Revista Ingeniería Agrícola

ISSN: 2306-1545

dptoambiente4@iagric.cu

Instituto de Investigaciones de Ingeniería
Agrícola
Cuba

Herrera Puebla, Julián; Pujol Ortiz, Román; Cid Lazo, Greco; Méndez, Marcial; Alarcón,
Roberto

Problemas del drenaje agrícola en Cuba

Revista Ingeniería Agrícola, vol. 1, núm. 1, enero-junio, 2011, pp. 21-32

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262032003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Problemas del drenaje agrícola en Cuba

Agricultural drainage problems in Cuba

Julián Herrera Puebla¹, Román Pujol Ortiz², Greco Cid Lazo¹, Marcial Méndez¹ y Roberto Alarcón²

RESUMEN. Cuba es un país importador neto de alimentos, con alrededor de un 50% de dependencia externa en relación con el suministro de nutrientes de consumo humano. Su población crece a un ritmo del 2,5%, y las necesidades de alimento se incrementan, esto requerirá de una intensificación de la producción agrícola actual y la puesta en explotación de áreas hoy no utilizadas que necesitan el beneficio del drenaje por problemas de exceso de humedad superficial o para evitar la salinización secundaria. Hasta 1990, se desarrolló un programa de investigaciones donde se ensayaron diferentes soluciones de drenaje y desalinización en lotes pilotos y en diferentes condiciones edafoclimáticas. Se evaluaron las técnicas de drenaje superficial (conformación de la superficie del suelo, técnicas de preparación del suelo, zanjas superficiales, subsolación, etc.), drenaje sub superficial (arado topo, drenes abiertos, drenes soterrados), buscando la solución más apropiada según el suelo, clima y topografía. Se describen las características naturales que determinan la existencia de 2,8 MMha afectadas por el mal drenaje y alrededor de 1 MMha con problemas de salinidad y las acciones de origen antrópico. Se exponen algunas recomendaciones para la formulación de un programa de lucha contra el mal drenaje y la salinidad de los suelos del país.

Palabras clave: soluciones de drenaje, desalinización, drenaje superficial, drenaje subsuperficial,

ABSTRACT. Cuba is a net foot importing country, with above 50% of external dependency in relation with the supply of nutriment to human consume. The Cuban population growth to a rhythm of 2,5% and food necessities increases, this situation will require of intensification of today agricultural production and the exploitation of areas that are not used until this moment which needs the benefit of land drainage for over humidity problems or for avoid secondary salinity problems. Until 1990, it was developed a research program to try different drainage and salinity management solutions in reference fields and in different soil and climatic conditions. It were evaluated superficial drainage techniques (soil surface conformation, soil preparation techniques, surface trench, tillage, and others.), subsurface drainage (mole cultivator, open drains, topsoil drains), searching the more properly solution according to soil, climate and relieve conditions. It was described natural and human activity origin characteristics that determine existence of 2,8 MMha affected for poor drainage and above 1 MMha with salinity problems in Cuba. It is presented some recommendations for formulation of a program to fight against soil drainage and salinity problems in the country.

Keywords: drainage solutions, desalinate, surface drainage, subsurface drainage

¹ Dr.C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, IAgriC. Apdo. Postal 6090. La Habana, Cuba, E-mail: julian@iagric.cu

² M.Sc., Ing. Agrónomo, Especialista, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, IAgriC. Apdo. Postal 6090. La Habana, Cuba.

Recibido 05/09/10, aprobado 15/05/11, trabajo 04/11, puntos de vista.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad Cuba es un país importador neto de alimentos, con casi un 70% de dependencia externa en relación con el suministro de nutrientes al consumo de la población; lo que indica que el país tiene un severo déficit de producción agrícola.

Las áreas con suelos afectados por el mal drenaje se estiman en 2,7 millones de ha a lo que hay que agregar más de 1 millón de has afectadas por la salinización (CITMA, 2007), aunque muchas de estas áreas están dedicadas al cultivo de la caña de azúcar y pastos o forrajes, el 13% de ellas se siembran de cultivos dedicados al consumo humano directo (arroz, frijoles, hortalizas, maíz, etc.) y las mismas dejan de producir (en un año de lluvias normales) alrededor de 633 209 ton de alimento (Herrera *et al.*, 2002). Al déficit actual de producción de alimentos hay que agregar el ritmo anual

de crecimiento de la población, que en el año se 2000 se estimaba en un 2,5% anual (ONE, 2001) y la actual subida del costo de los alimentos, lo cual tiende a agravar el déficit en el futuro si no se incrementa la producción

El incremento de la producción requerirá de la intensificación en las áreas ya cultivadas (mas de dos cosechas al año) y de la puesta en explotación de áreas hoy ociosas, medida esta que ya cobra fuerzas con la entrega de tierras en usufructo.

Las medidas antes señaladas implican el mejoramiento de las condiciones de drenaje en el 13% de las áreas actualmente sembradas y afectadas por este problema y la introducción del drenaje en nuevas áreas.

Si bien en el desarrollo agrícola del país, el riego ha sido siempre un factor tomado en cuenta, el drenaje a pesar del alto costo productivo, social y ambiental que el no tenerlo en cuenta representa, siempre ha sido el factor olvidado.

Desde el comienzo del gran desarrollo hidráulico en el país a partir de 1962, se dio importancia a la construcción de las grandes redes de drenajes y diques para la protección contra inundaciones, sin embargo a pesar de que al desarrollar el Esquema Hidráulico Nacional (Dorticós *et al.*, 1976). Este factor siempre fue tenido en cuenta, el Parlamento cubano se pronunció por el mismo (acuerdo 1188 de 1979) y se desarrollara un programa de investigaciones al respecto (ACC, 1988), con notables resultados prácticos (Herrera *et al.*, 2002), las acciones para la solución del problema han sido de escaso alcance y poco continuadas. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Acciones para el Desarrollo del Drenaje Agrícola en Cuba desde 1976

1. 1976. Esquema General del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Cuba "Necesidad de drenar hasta el año 1990 unas 213 mil ha, imprescindible "la organización de unas 3 a 4 estaciones de mejoramiento de suelos de III, IV y V clase de agro productividad", para el estudio de los lugares propensos a salinizarse producto del riego, para determinar las condiciones y efectividad de cultivar en estas tierras caña, arroz, viandas, etc., así como investigaciones de los métodos y régimen de riego e intensidad del drenaje para evitar los fenómenos de la salinización secundaria.
2. 1978. Creación del Departamento de Investigaciones de la Dirección General de Riego y Drenaje, núcleo fundador del Actual Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Director y actor principal de las investigaciones de Drenaje en el país desde su fundación.
3. 1979. Segunda sesión de la Asamblea Nacional del Poder Popular, Comisión de Agricultura y Ganadería, informe "Acercos de las cuestiones relacionadas con el drenaje agrícola en Cuba", acuerdo 1188, realización de un inventario nacional de las áreas con problemas de mal drenaje e inundación. Objetivo determinar, cuantificar y mapear las áreas afectadas por estas causas, incluyendo la salinidad.
4. 1985. Programa Científico Técnico Estatal (PNCT) de "Mejoramiento de Suelos" para el quinquenio 1986-90, organizado por la Academia de Ciencias, que organiza y da prioridad a la investigación científica en esta disciplina.
5. 1987. Comienzo del Programa de Drenaje Parcelario en el Cultivo de la Caña de azúcar. Desde 1987 a 1989 se ejecutaron trabajos de drenaje parcelario en un total de 181,3 Mha, en el cultivo de la caña de azúcar. Estos trabajos consistieron en su mayor parte en la nivelación de los campos y la construcción de badenes y canales para la evacuación del agua superficial, lo que mejoró el sistema de evacuación de las aguas excedentes de lluvia y con ello se lograron aumentos de rendimiento de hasta un 30% en las áreas drenadas. Con este programa se pudo beneficiar solo el 19% del área afectada en este cultivo.
6. 1987 Comienzo del Programa de Modernización de los Sistemas Arroceros, que consistió en la transformación de algunos sistemas diseñados en curvas de nivel a terrazas planas, el aumento del tamaño de las terrazas mediante diseños de campos típicos y la reconstrucción de los canales de riego, los de desagüe y los caminos. Estas acciones mejoraron en cierta medida el manejo del agua, e incrementaron los rendimientos pero no resolvieron los problemas de mal drenaje y salinidad que afectan muchas de las áreas arroceras.
7. 2001. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, reconoce la necesidad de incrementar los niveles de ejecución del drenaje principal y el drenaje parcelario, y propone un programa de áreas a beneficiar hasta el 2005 (fundamentalmente en el arroz y los cultivos varios) de 22 Mha en el sector agrícola y de 397,0 en el sector cañero, de haberse cumplido este programa se hubiera beneficiado el 15% del área total afectada.

Problemas de drenaje y salinidad en las áreas agrícolas

Simeón y Alfonso (1982), desarrollaron una metodología para la aplicación del Índice de Storie en la clasificación de la aptitud de los suelos cubanos para el regadío, los cuales quedaron agrupados según estas consideraciones en 6 clases. De ellas las clases I a la III son regables más o menos fácilmente y la IV es regable con reservas o de uso especial.

De acuerdo con la clasificación anterior, se confeccionó la Tabla 1, la cual muestra que el total de tierras aptas para el regadío es de 4 815,8 Mha (Dorticós, 1982), que representa el 71,9% de la superficie agrícola y el 43,8% de la superficie total. Según las cifras de población del año 2000 (ONE, 2001) esto significa que se cuenta en la actualidad con 0,43 ha de superficie apta para la agricultura intensiva y un pronóstico para el 2015 de 0,41 ha. Si se tiene en cuenta que dentro de estas áreas también se encuentran superficies cultivadas con caña de azúcar y tabaco que en conjunto suman 1836,5 Mha, el área para la producción de cultivos agrícolas básicos por habitante en los años 2000 y 2015 se reduce a 0,26 y 0,25 ha/habitantes respectivamente.

Estas cifras indican la necesidad de una intensificación en la producción de estas áreas para lograr suplir las necesidades básicas de alimentación y además un excedente para la exportación. La Tabla 2 muestra las áreas de suelo afectadas por salinidad y mal drenaje, considerado en este último tanto las áreas afectadas por lluvias intensas como normales. Al comparar estos datos con los de la Tabla 1, se puede comprobar que el 16% del área agrícola total está afectada por la salinidad, mientras que el 42% sufre por problemas de mal drenaje.

Tabla 1. Distribución de las clases de suelo por provincias

Provincias (1)	Área Mha		Clases de suelo (Mha)				Relación I-IV/ área agrícola (8)
	Geográfica (2)	Agrícola (3)	I-IV (4)	I-II (5)	III (6)	IV (7)	
Pinar del Río	1086.1	545.6	446.9	85.5	167.8	193.6	0.819
C. Habana-							
Habana	641.8	421.6	362.8	215.4	70.7	76.7	0.861
Matanzas	1173.9	839.2	374.5	218.0	82.4	74.1	0.446
Villa Clara	794.4	493.3	339.4	9.7	118.4	211.4	0.688
Cienfuegos	417.7	258.9	216.1	47.2	129.7	39.3	0.834
Sancti Spiritus	673.2	465.7	301.2	13.6	72.8	214.7	0.646
Ciego de Ávila	632.1	482.7	373.8	129.9	133.2	110.6	0.774
Camagüey	1415.1	947.4	839.9	20.2	495.0	324.7	0.886
Las Tunas	658.4	557.4	454.0	12.3	302.3	139.4	0.814
Holguín	925.5	504.3	328.4		135.8	192.6	0.651
Granma	836.2	560.0	385.9		126.5	259.5	0.689
Santiago de Cuba	617.0	244.8	152.0		62.5	89.5	0.621
Guantánamo	618.0	216.4	159.6		65.6	94.0	0.737
Isla de la Juventud	220.0	89.2	1.3	18.2	36.8	26.3	0.911
Total	10494.5	6626.6	4815.8	770.0	1999.5	2046.4	0.726

Dado que los problemas de salinidad en Cuba, en general, están asociados a problemas de mal drenaje, en esta última cifra se incluyen también las áreas salinizadas. Como puede apreciarse en la Tabla 2, las provincias de Holguín, Granma y las Tunas tienen un área mayor del 50 % afectadas por mal drenaje y de ellas, Granma tiene más

del 40 % afectadas por la salinidad. Todas estas provincias han sido consideradas como de alta vulnerabilidad para la seguridad alimentaria en el informe realizado por el Programa Mundial de Alimentos (PMA, 2001). De los datos presentados en la Tabla 1 es posible calcular que el área apta para el riego (suelos clase I-IV)

afectada por el mal drenaje y/o la salinidad asciende a 1040,6 millones de ha, que equivale al 21.6% de los mejores suelos del país.

Como muestra también la tabla 2 estos valores son mas críticos para las provincias orientales, desde Camagüey

hasta Guantánamo, donde en esta última provincia se alcanzan valores del 100% de las tierras afectadas pertenecientes a los suelos de mejor aptitud para la producción intensiva.

Tabla 2. Distribución por provincias de las áreas afectadas por la salinidad y mal drenaje

Provincias	Area salinizada Mha	Area con mal drenaje Mha	Porcentaje del área agrícola		Porcentaje de los suelos clase I-IV
			Área salina	Área con mal drenaje	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Pinar del Río	54.1	198.7	9.9	36.4	22.4
C. Habana-Habana	15.9	146.0	3.8	34.6	24.0
Matanzas	17.5	219.6	2.1	26.2	
Villa Clara	81.4	327.1	16.5	66.3	51.0
Cienfuegos	2.1	80.7	0.8	31.2	
Sancti Spiritus	100.1	109.1	21.5	23.4	
Ciego de Ávila	77.2	168.4	16.0	34.9	
Camagüey	146.2	562.8	15.4	59.4	54.2
Las Tunas	126.3	304.4	22.7	54.6	44.2
Holguín	131.6	274.5	26.1	54.4	19.6
Granma	256.8	315.5	45.9	56.3	36.6
Santiago de Cuba	14.6	40.3	6.0	16.5	40.3
Guantánamo	34.6	33.6	16.0	15.5	100
Isla de la Juventud	10.3	31.2	11.5	35.0	28.6
Total	1068.8	2812.4	16.1	42.4	20.8
Calculada como : $\{[(C3(tabla1)-C4(tabla1))-C5(tabla2)]/C4(tabla1)]*100$					

Acciones para el Desarrollo del Drenaje Agrícola en Cuba desde 1976.

1. 1976. Esquema General del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Cuba” Necesidad de drenar hasta el año 1990 unas 213 mil ha, imprescindible “la organización de unas 3 a 4 estaciones de mejoramiento de suelos de III, IV y V clase de agro productividad , para el estudio de los lugares propensos a salinizarse producto del riego, para determinar las condiciones y efectividad de cultivar en estas tierras caña, arroz, viandas, etc., así como investigaciones de los métodos y régimen de riego e intensidad del drenaje para evitar los fenómenos de la salinización secundaria

2. 1978. Creación del Departamento de Investigaciones de la Dirección General de Riego y Drenaje, núcleo fundador del Actual Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Director y actor principal de las investigaciones de Drenaje en el país desde su fundación.

3. 1979, Segunda sesión de la Asamblea Nacional del Poder Popular, Comisión de Agricultura y Ganadería; informe “Acerca de las cuestiones relacionadas con el drenaje agrícola en Cuba”; acuerdo 1188, realización de un inventario nacional de las áreas con problemas de mal drenaje e inundación. Objetivo determinar, cuantificar y mapear las áreas afectadas por estas causas, incluyendo la salinidad.

4. 1985. Programa Científico Técnico Estatal (PNCT) de “Mejoramiento de Suelos” para el quinquenio 1986-90, organizado por la Academia de Ciencias, que organiza y da prioridad a la investigación científica en esta disciplina.

5. 1987. Comienzo del Programa de Drenaje Parcelario en el Cultivo de la Caña de azúcar. Desde 1987 a 1989 se ejecutaron trabajos de drenaje parcelario en un total de 181,3 Mha, en el cultivo de la caña de azúcar. Estos trabajos consistieron en su mayor parte en la nivelación de los campos y la construcción de badenes y canales para la evacuación del agua superficial, lo que mejoró el sistema de evacuación de las aguas excedentes de lluvia y con ello se lograron aumentos de rendimiento de hasta un 30% en las áreas drenadas. Con este programa se pudo beneficiar solo el 19% del área afectada en este cultivo.

6. 1987 Comienzo del Programa de Modernización de los Sistemas Arroceros, que consistió en la transformación de algunos sistemas diseñados en curvas de nivel a terrazas planas, el aumento del tamaño de las terrazas mediante diseños de campos típicos y la reconstrucción de los canales de riego, los de desagüe y los caminos. Estas acciones mejoraron en cierta medida el manejo del agua, e incrementaron los rendimientos pero no resolvieron los problemas de mal drenaje y salinidad que afectan muchas de las áreas arroceras.

7. 2001. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, reconoce la necesidad de incrementar los niveles de ejecución del drenaje principal y el drenaje parcelario, y propone un programa de áreas a beneficiar hasta el 2005 (fundamentalmente en el arroz y los cultivos varios) de 22 Mha en el sector agrícola y de 397,0 en el sector cañero, de haberse cumplido este programa se hubiera beneficiado el 15% del área total afectada.

Efecto del mal drenaje y la salinidad en la producción agrícola

El posible efecto de las áreas afectadas por salinidad y mal drenaje se muestran en la Figura 1, la cual fue confeccionada comparando los rendimientos promedios provinciales del año 2001 (ONE, 2002) con los datos de áreas afectadas por salinidad y/o mal drenaje que se reportan en la Tabla 2. Esta comparación se hace bajo el supuesto de que en la medida en que el área mal drenada o afectada por la salinidad en una provincia es mayor, se

incrementa también el área de cultivo que es ocupada por esos suelos y por tanto disminuye el rendimiento promedio a nivel provincial

En la Figura 1 se nota que este efecto es muy notable en los cultivos plátano, frijoles y maíz, para los cuales no hay restricciones severas en cuanto al tipo de suelos en el cual se siembran. En el caso del plátano en particular, la permanencia del cultivo en el campo durante todo el año lo hace más vulnerable al efecto del exceso de humedad que provocan las lluvias. El maíz, producto de alta demanda en Cuba, se siembra fundamentalmente en la época de lluvias y se considera apto para casi todos los tipos de suelo comprendidos en la clase I-IV. Para el caso del frijol, producto también de alta demanda, que se siembra fundamentalmente en la época de seca, esta expuesto a los efectos potenciales del exceso de humedad producto del riego en suelos que requieren de drenaje y el mismo no existe (Herrera y Martínez, 1988) o también de las lluvias ocasionales de la seca.

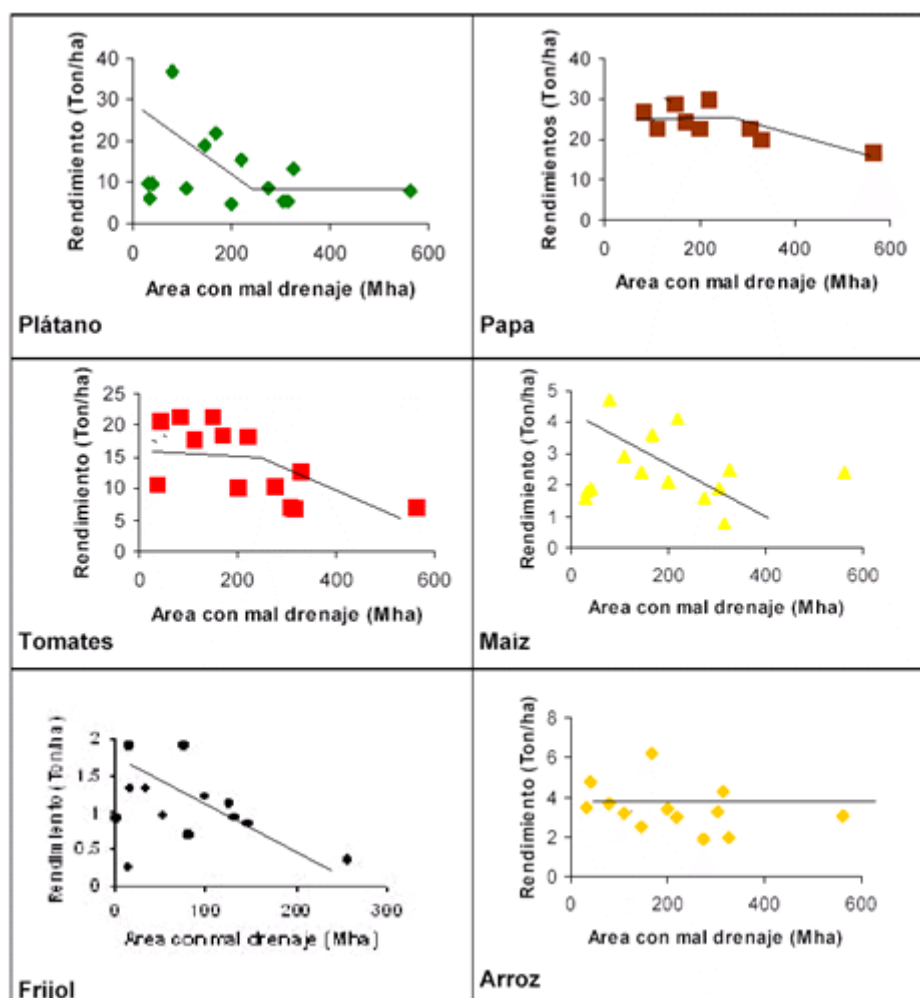


FIGURA 1. Porcentaje del área sembrada de cultivos para alimentos directos en cada provincia afectada por mal drenaje.

Para estos 3 cultivos y de acuerdo con la Figura 1 podrían estimarse pérdidas de rendimiento debido al efecto de la salinidad y/o el mal drenaje con relación a los máximos reportados en las áreas menos afectadas que oscilan entre el 75 al 80% del rendimiento máximo obtenido en el país

en el año 2001. En casos de años más lluviosos estas pérdidas podrían incrementarse. En la papa, la tendencia es menos notable debido a que este cultivo es exclusivo de la época de seca, se siembra solo en áreas con regadío y generalmente se escogen suelos de las clases I y II, pero

como muestra la Figura 1 podría esperarse una disminución del rendimiento potencial de alrededor del 35% en la medida en que el área afectada aumenta y disminuyen las posibilidades de selección de campos con suelos de mejor calidad.

El arroz se cultiva casi en su totalidad en áreas bajo riego y con el sistema de inundación permanente, de ahí que aparentemente los requerimientos de suelos con buen drenaje de este cultivo sean mínimos y por ello la tendencia mostrada es menos manifiesta que en los otros cultivos. Aunque pudieran calcularse pérdidas de

rendimientos potenciales del orden del 30%, las tendencias mostradas en la Figura 1 para este cultivo indican que otros factores de manejo también influyen en la pérdida de este potencial.

Las afectaciones a la producción producto del mal drenaje de las áreas discutidas anteriormente, están justificadas por los resultados experimentales mostrados en la Tabla 3 donde se recogen los resultados de algunos experimentos realizados en parcelas experimentales sobre la resistencia de 5 cultivos a la inundación en el período crítico de desarrollo.

TABLA 3. Horas de inundación necesarias para alcanzar diferentes porcentajes de pérdidas de rendimiento en varios cultivos sometidos a inundación

Cultivo	% de Pérdida de rendimiento					referencias
	10	20	30	40	>50	
Soya ¹ (<i>Glycine max</i>)		48		72	96	Márquez, y Enríquez, 1984
Frijol ² (<i>Vicia faba</i>)		24	48		72	Duarte <i>et al.</i> , 1990
Papa ³ (<i>Solanum tuberosum</i>).	12	48		72		Ricardo <i>et al.</i> , 1994
Caña de Azúcar (planta) ³		144	216		216	Márquez y Enríquez, 1985
Caña de Azúcar (1er retoño) ³			144			Márquez y Enríquez, 1985
Pasto estrella ² (<i>Cynodon sp.</i>)		72	360		504	Duarte <i>et al.</i> , 1990

La papa muestra una alta sensibilidad al exceso de humedad ya que pierde hasta un 10% de su rendimiento con solo 12 horas de inundación. En este mismo grupo de alta sensibilidad puede situarse a la soya y los frijoles. Las gramíneas como la caña de azúcar, tanto la caña planta como el retoño, y el Pasto estrella son cultivos altamente resistentes de acuerdo al número de horas de inundación que admiten antes de que su rendimiento sea afectado significativamente.

Otros estudios realizados acerca del efecto del nivel del manto freático y el boniato (Castellanos *et al.*, 1998), indican que cuando el mismo se encuentra a 0,25 m de la superficie del suelo los rendimientos decrecen hasta un 30% en la papa y 20% en boniato, mientras que Alarcón (2000) encontró que en los plátanos frutas podían obtenerse disminuciones en el rendimiento entre un 30 al 100% cuando el nivel freático era superior a 1,10 m.

El valor del porcentaje de pérdida estuvo relacionado con la duración del tiempo en que el manto se mantuviera por encima del nivel crítico. Los resultados de los ensayos realizados por Pujol *et al.* (1985) en la soya y valorados en función del Índice de Días con Estrés por sobrehumedecimiento (SDI) y el rendimiento relativo del cultivo, mostraron que para las condiciones de Cuba, a partir de 10 días de estrés hídrico por exceso de humedad a lo largo del ciclo del cultivo se deprime el rendimiento en casi 1% por cada día de estrés.

Borroto *et al.* (1991), en Guantánamo realizaron un estudio de la tolerancia a la salinidad para algunos cultivos de importancia en la región. Por su parte, Cabrera *et al.* (1991) reportaron la tolerancia a la salinidad en la caña de azúcar para esa misma región, mientras que Castellanos (1993) y Posada (2001) lo hicieron para el sorgo y el arroz respectivamente en el valle del Cauto. A partir de estos estudios se confeccionó la Tabla 4 donde se calcularon los valores umbrales de salinidad a partir de los cuales se afecta el rendimiento, así como el porcentaje de pérdida de rendimiento por cada aumento en el valor de la Conductividad eléctrica (Ce) por encima del valor umbral (pendiente) acorde con la ecuación de Mass-Hoffman (Ayers y Westcot, 1989).

Como puede observarse en la Tabla 4, los valores obtenidos para los umbrales y la pendiente a partir de los datos de autores cubanos, no difieren mucho de los reportados en la Tabla 4 de Ayers y Wescott (1989) o en la tabla 13 de Rhoades *et al.* (1992), que son estándares aceptados internacionalmente, lo cual indica la posibilidad de usar estos estándares para otros cultivos en los cuales aun no se tienen referencias para estimar su potencial de producción en condiciones de suelos salinos.

Tabla 4. Tolerancia de los cultivos a la salinidad según los estudios realizados en las zonas del Valle del Cauto y Guantánamo

Cultivo	Valor umbral Ce (dS/m)		Pendiente (%)		Referencia
	1	2	1	2	
Caña de azúcar <i>Saccharum officinarum</i>	2.6	1.7	7.6	5.9	Cabrera et al., 1991
Sorgo <i>Sorghum bicolor</i>	6.5	6.8	11.5	16.0	Castellanos et al., 1991
Boniato <i>Ipomea batata</i>	2.6	2.5	9.4	9.9	Borroto et al., 1991
Pasto estrella <i>Cynodon sp.</i>	3.2		8.4		Borroto et al., 1991
Guinea likony <i>Panicum maximum</i>	3.2		14.7		Borroto et al., 1991
Buffel <i>Cenchrus ciliaris</i>	1.7		15.8		Borroto et al., 1991
Sesbania <i>Sesbania exaltata</i>	3.8	2.3	8.9	7.0	Borroto et al., 1991
Leucaena <i>Leucaena leucocephala</i>	3.0		8.3		Borroto et al., 1991
Arroz <i>Oryza sativa</i>	2.9	3.0	12.3		Posada, 2001

1. calculado a partir de los datos de los autores.
2. tomados de la tabla 13 de Rhoades et al. (1992)

Beneficios del Drenaje

Como han señalado Van der Molen *et al.* (2007), el drenaje agrícola es una de las herramientas más críticas en el manejo del agua para la sostenibilidad de sistemas productivos de cultivo debido a que muy frecuentemente esta sostenibilidad es dependiente del control del sobrehumedecimiento y la salinización del suelo en la zona radicular de los cultivos.

No obstante lo anterior los beneficios del drenaje no siempre son reconocidos y por ello a menudo es necesario la demostración práctica de los mismos. Con este propósito el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) y el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, desde 1985 y hasta 1990, se desarrollaron un programa de ensayos donde se probaron diferentes soluciones de drenaje en lotes pilotos distribuidos a lo largo de todo el país y que abarcaron las diferentes condiciones edafoclimáticas en que se presentan los problemas de mal drenaje y salinidad; estos ensayos abarcaron tanto las técnicas de drenaje superficial (conformación de la superficie del suelo, técnicas de preparación del suelo, zanjías superficiales, subsolación, etc.) como drenaje subsuperficial (arado topo, drenes abiertos, drenes soterrados), con el fin de buscar la solución más apropiada a las diferentes combinaciones de

suelo, clima y topografía que condicionan el problema específico (Herrera *et al.*, 2002).

En la Empresa pecuaria "Macun" al norte de la provincia de Villa Clara se beneficiaron con drenaje superficial alrededor de 7000 ha de pastos y forrajes con una red de drenaje formada por canales primarios espaciados a 3 km uno del otro y secundarios perpendiculares con espaciamiento de 1000 m. Fue concebida también una red de colectores terciarios (colectores de desagüe) paralelos a los canales primarios, dando una conformación de grandes campos de 1000 x 500 m. La construcción de los colectores principales de drenaje fue concluida en 1983, mientras que para 1990 y en la actualidad, la red terciaria no había terminado de construirse.

La Figura 2 muestra el efecto beneficioso del drenaje sobre el rendimiento de los forrajes en estas condiciones, así al comparar los rendimientos antes y después de la construcción de la red de canales primarios de drenaje, para valores de lluvia normales en la estación (< 850 mm) y excesivas (> 850 mm), aun sin terminar la red de campo, solo por efecto de la disminución de las inundaciones, fue posible obtener como promedio un 23,6% de incremento en el rendimiento.

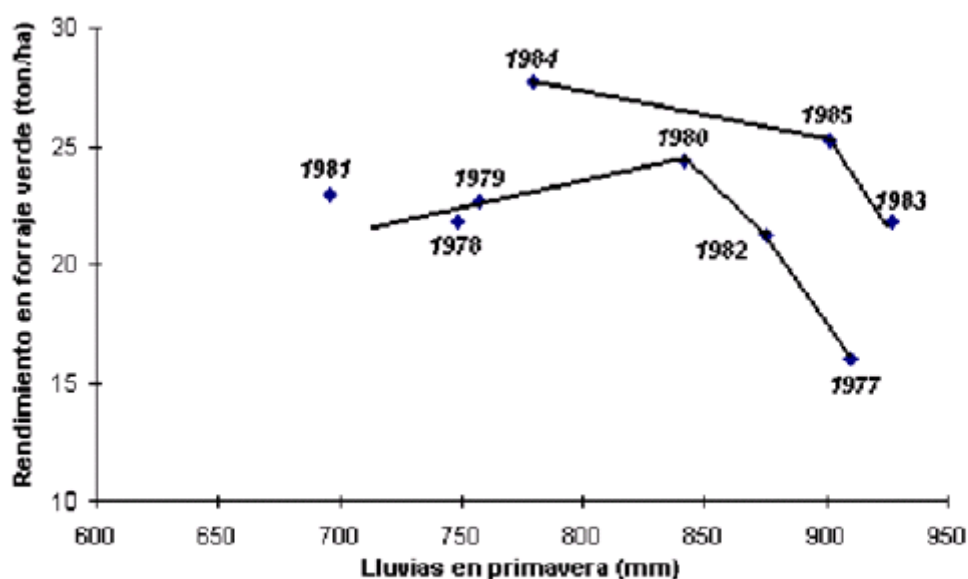


FIGURA 2. Efecto de las lluvias y el sistema de drenaje en el rendimiento de los forrajes de la zona norte de la provincia de Villa Clara

Para esta misma zona y también con forrajes de gramíneas, al introducir drenaje parcelario, los resultados expuestos en la Tabla 4 indican que la utilización de pequeños canales espaciados a 24 m podría resultar una opción adecuada a estas condiciones. Este tratamiento fue significativamente superior en el rendimiento al tratamiento en que se empleó un espaciamiento de 32 m y no difirió del espaciamiento de 16 m, lo que lo sitúa en ventajas económicas en cuanto a costo de construcción

con relación a este último. Los rendimientos obtenidos en este ensayo superan a los de la primera fase para el mismo número de cortes y también al promedio de la empresa en 40,2 y 52,3% respectivamente, demostrando con ello las ventajas que se obtendrían al completar la red de drenaje. En esta misma zona, Vidal (1992), realizó estudios en que comparó el efecto del drenaje subterráneo y superficial sobre el rendimiento de la caña de azúcar (Tablas 5 y 6).

TABLA 5. Efecto de diferentes espaciamientos de zanjas de drenaje en el rendimiento del pasto estrella en suelos vérticos de la zona norte de la provincia de Villa Clara

Espaciamientos entre zanjas (m)	Rendimiento de forraje verde total de 3 cortes(ton/ha)
16	54 _{ab}
24	57 _a
32	53.4 _a
medias con letras diferentes difieren para $p < 0.01$	E.S +/- 1.83

TABLA 6. Rendimientos agrícolas de la caña de azúcar con diferentes variantes de drenaje en suelos vérticos de la zona norte de la provincia de Villa Clara (Vidal *et al.*, 1998)

Variantes	Rendimiento agrícola por tipos de cepas (ton/ha)			
	Con drenaje soterrado			
	Plantaciones más de 24 meses	de Plantaciones de Primavera	Plantaciones de Invierno	Retoños
Con poco riego y enmienda orgánica en la grieta (10 ton/ha)	191.0	130.0	152.0	120.0
Con riego al 85 % de la capacidad de campo y fertilización química	177.0	120.0	141.6	100.0
Con poco riego y fertilización química	159.5	87.0	116.0	94.3
Con poco riego y enmienda orgánica en todo el campo a razón de 90 ton/ha (cachaza)	258.9	141.2	188.3	153.0
	Sin drenaje soterrado			
Con drenaje superficial parcelario;	95.6	77.1	51.5	46.9
Sin drenaje superficial parcelario	79.7	83.5	48.7	42.1

Según este autor, los costos totales de la inversión (precios del año 1992) variaron de 325 a de 765.4 pesos/ha en los tratamientos en que no se aplicó enmienda orgánica a todo el campo y entre 554.4 a 952.3 en los que sí se aplicó esta enmienda y señalan que con incrementos de rendimiento de entre 31 y 39 t/ha de caña es posible recuperar la inversión en un plazo de 7 años.

En la Tabla 7 (Castellanos *et al.*, 1991), se muestra un incremento del rendimiento en las parcelas drenadas en

comparación con los testigos, y en general una tendencia al aumento de este en la medida en que disminuyó la salinidad del suelo. La variación en la composición salina de la zona radicular del cultivo, así como la fluctuación del nivel freático a lo largo del ciclo del cultivo pudieran ser las causas de las variaciones. Este aspecto no fue lo suficientemente estudiado durante el período que abarcó la investigación.

TABLA 7. Efecto del drenaje y la salinidad sobre el rendimiento del sorgo de grano del lote piloto de Monte Alto (Holguín)

Espaciamientos (m)	Profundidad (m)	Rendimientos (ton/ha)	Conductividad eléctrica (dS/m) Relación 1:5
10	1.35	2.72 _{ab}	0.9
20	1.35	2.98 _{ab}	1.9
25	1.35	3.21 _{ab}	0.6
35	1.50	2.90 _{ab}	0.6
35	1.75	3.58 _a	0.8
50	1.75	2.99 _{ab}	1.3
Testigo solonchak		1.92 _a	2.6
Testigo vertisol		2.45 _a	1.1
Error estándar			+/- 0.63

En la Tabla 8 (Castellanos, 1993), se muestran la evolución de la salinidad desde 1987 (año de construcción del drenaje) hasta 1989: Al comparar los datos de esta tabla y la tabla 5, según la evolución de la salinidad del mismo producto del drenaje, se puede concluir que para el año 1988, después de construido el sistema y ocurrir un total de precipitaciones de 1001,4 mm, la producción

pudo incrementarse en un 21% con 2,56 t/ha como promedio debido al aumento de las áreas con menor grado de desalinización. En el año 1989, disminuyó el área con mayor salinidad y permitió también un incremento de los rendimientos con respecto al año inicial de un 30%. Sin embargo, con relación al año anterior sólo alcanzó el 9%.

TABLA 8. Efecto del drenaje en la reducción de la salinidad del lote piloto de Monte Alto (Holguín)

Rango (dS/m)	Evaluación	Año: 1987		Año 1988		Año 1989	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<2	No salino	0.58	1.7	0.80	2.42	1.84	5.57
2-4	sensiblemente salino	3.92	11.88	3.81	11.55	3.32	10.06
4-8	Salino	5.23	15.85	7.54	22.85	10.44	31.64
8-16	Fuertemente salino	15.35	46.51	18.39	55.73	17.40	52.73
>16	Extremadamente salino	7.94	24.06	2.46	7.45	-	-

En la Tabla 9 se muestran los rendimientos agrícolas obtenidos con diferentes profundidades y espaciamientos de drenes soterrados en Pinar del Río (Méndez *et al.*, 1992). En el cultivo de la papa, los mayores rendimientos se obtuvieron en las parcelas con drenes espaciados cada 30 m (28,4 t/ha) y los menores en aquellas con espaciamientos de 45 m y 1,4 m de profundidad (22,5 t/ha). Para el boniato, los mejores resultados se lograron en los drenes espaciados cada 30 y 60 m, con rendimientos de 19,5 y 19,6 t/ha, respectivamente. Cuando el espaciamiento fue de 20 m y los drenes estaban colocados a 1,4 m, se obtuvieron los más bajos rendimientos que fueron de 13,2 t/ha. En ambos casos, los drenes espaciados a 30 m mostraron los mayores

rendimientos e incrementaron el valor de la producción en 1090.45 pesos/ha, con lo que se disminuyeron las pérdidas en la producción agrícolas en 844.43 pesos/ha. Según Méndez *et al.* (1992), el año climático en que se realizó la evaluación, tuvo una probabilidad de ocurrencia de lluvias mayores del 50%, por lo que los espaciamientos mayores pudieran no tener un comportamiento similar cuando las precipitaciones sean mayores.

Todas las variantes de drenaje ensayadas tuvieron mayores rendimientos que los obtenidos en el área testigo, con incrementos por encima de 32% en el caso de la papa y de 93-94% en el boniato, sembrado y cosechado en el período húmedo.

TABLA 9. Comportamiento de los rendimientos de la papa y el boniato en el área de drenaje soterrado en Pinar del Río. (Méndez *et al.*, 1992)

Distancia entre drenes (m)	Rendimiento Agrícola		Incremento del rendimiento respecto al testigo	
	Papa (t/ha)	Boniato (t/ha)	Papa (%)	Boniato (%)
20/1.4	22.7	13.2	6	31
20/1.2	25.7	17.8	20	76
20/1.0	22.7	19.0	6	88
30/1.4	28.4	19.5	32	93
45/1.4	22.5	17.8	5	76
45/1.2	27.5	16.1	28	59
60/1.4	26.4	19.6	23	94
Promedio con drenaje	25.1	17.6	17	74
Testigo sin drenaje	21.5	10.1		

CONSIDERACIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados experimentales y las observaciones en áreas de producción recogidas en las secciones anteriores, las afectaciones a la producción debido al mal drenaje y la salinidad pueden estimarse entre el 30 al 40% de lo posible a obtener en áreas sin afectación. Según el Anuario estadístico del 2001 (ONE, 2001), la producción total de los cultivos de arroz, maíz, frijoles, viandas y hortalizas alcanzó la cifra de 3 609 766 toneladas en el año 2000 en un área sembrada de 568 193,7 ha. Si asumimos que con el beneficio del drenaje en las 73 865 ha afectadas de estos cultivos podría aumentarse el rendimiento en un 35%, entonces la producción total alcanzada podría aumentar en 633 209 t. Esta última cifra puede considerarse como la afectación anual a la producción de los principales cultivos para la

alimentación en el país en años de lluvias normales. En la caña de azúcar y los pastos y forrajes las afectaciones son aun mayores.

Al abordar el problema del mal drenaje en el país, en el Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (CITMA, 2000) se señala "El mal drenaje se ha incrementado por acciones tales como la eliminación de causas naturales del agua en áreas que han sido buldoceadas; construcción de carreteras y caminos sin una adecuada planificación y carencia de obras de ingeniería necesarias; ejecución de sistemas de riego sin las obras de evacuación requeridas, y construcción de drenajes parciales sin un estudio integral de la cuenca". De acuerdo con lo anterior, en el Plan de Acción propuesto en el documento citado, se señala en la recomendación No 3 la

necesidad de elaborar y aplicar un programa de mejoramiento, conservación y rehabilitación de suelos.

Al definir los problemas generales que presentan los suelos en el país (Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, 2001) se señalaron un grupo de limitantes fundamentales para el éxito del programa de recuperación, las cuales son válidas también para las áreas afectadas por el mal drenaje y la salinidad; ellas se resumen a continuación:

Limitantes para alcanzar el éxito en el Programa de Recuperación de Suelos:

- Falta de capacitación en la base que impide comprender la significación del cuidado del suelo.
- Insuficiente control estatal sobre el suelo y la aplicación de la legislación correspondiente.
- Poca o ninguna divulgación, por los medios de comunicación masiva, acerca de las medidas de conservación y mejoramiento de los suelos.
- Inconsistencia en los planes de inversión para conservación y mejoramiento de los suelos.
- Falta de motivación y reconocimiento a los profesionales, técnicos, obreros y productores relacionados con esta actividad.
- Insuficientes recursos financieros y materiales.

A los problemas anteriores se agrega la falta de un conocimiento generalizado sobre las soluciones más idóneas a cada caso y el peligro, ante la falta de opciones, de la generalización de la solución más fácil, de menos requerimiento tecnológico o la menos costosa.

Las consecuencias de una concepción no adecuada del drenaje no son siempre evidentes. Esto se debe a que aun cuando la solución de drenaje escogida no se adapte del todo a las características del terreno a mejorar, no se traduce siempre en una ineficiencia total del sistema. La evacuación, aun parcial del agua en exceso, constituye siempre una mejora; de este modo el agricultor, por falta de comparación, puede no darse cuenta de lo que dejó de producir, que a veces es considerable, y que además esta relacionado con una adecuación imperfecta del sistema a las condiciones y necesidades de su explotación. Estas consecuencias pueden ser de gran valor tanto al nivel de costo de la construcción como de la calidad del resultado esperado.

Como se mostró anteriormente, los resultados obtenidos³ por diferentes investigadores desde 1985 a 1995, algunos de ellos expuestos aquí y otros reseñados por Herrera *et al.* (2002), indican en todos los casos los beneficios netos del drenaje en términos de incremento de producción y disminución de la salinidad del suelo; sin embargo debido a que el espacio de tiempo y la intensidad de evaluación,[•] así como los materiales empleados en la construcción no fueron los adecuados, faltó una evaluación económica y en algunos casos técnica rigurosa que permitiera[•] demostrar plenamente la conveniencia de estos sistemas. También es preciso señalar que en las concepciones de[•] diseño empleadas en las investigaciones, sobre todo en aquellas dirigidas a la solución de problemas de salinidad,

no fue tenido en cuenta el aspecto medio ambiental en lo relacionado con la calidad de las aguas de drenaje y la profundidad del perfil a desalinizar. Por ello en la implementación de un futuro programa de drenaje se requieren nuevos criterios de diseño que permitan resolver las necesidades de los cultivos (con un límite claro entre los objetivos de control de la salinidad y el exceso de humedad) y a la vez minimicen el volumen y la salinidad de las aguas de descarga del drenaje.

El Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, inscrito dentro del marco de las acciones del país para la lucha contra la desertificación y la sequía, recoge la necesidad de beneficiar con medidas de drenaje 1 526 010 ha, de las cuales 543 441 están afectadas por la salinidad. De acuerdo al tipo de suelo y los problemas de drenaje y/o salinidad que presentan, alrededor de 292 656 ha requieren del drenaje subsuperficial como tecnología más apropiada para la solución del problema. Estas áreas se concentran en Pinar del Río, la Isla de la Juventud y en las cinco provincias Orientales (Valle del Cauto y de Guantánamo).

Los elementos enunciados a lo largo de este trabajo demuestran la necesidad de tomar en cuenta los problemas de mal drenaje y salinidad para conseguir la seguridad alimentaria y hacer menos dependiente al país de la exportación de alimentos básicos. Por su parte, el Programa de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (CITMA 2000) y el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (Instituto de Suelos, Ministerio de la agricultura, 2001), reconocen también el efecto negativo que sobre el medio ambiente y la conservación del suelo ejercen y ha ejercido la implementación de programas de riego sin las adecuadas medidas de drenaje. Estos elementos conforman el marco económico, medio ambiental y social para el desarrollo de un programa de desarrollo del drenaje agrícola en el país.

Para el desarrollo en el futuro de un programa de drenaje y lucha contra la salinidad es necesario vencer las limitantes señaladas en la Tabla 2 y para ello se requiere:

Introducir en el país equipamiento tecnológico para la construcción de al menos 4 áreas demostrativas construidas con todas las reglas del arte.

Desarrollar un programa de evaluaciones en estas áreas que permita demostrar las ventajas productivas, sociales, económicas y ambientales de estas tecnologías.

Estas áreas servirían de base para el desarrollo de un programa de capacitación sobre las buenas prácticas de manejo de las áreas afectadas por el drenaje y/o la salinidad.

El desarrollo de estas acciones permitiría:

Beneficiar durante el desarrollo de la fase experimental al menos unas 200 ha repartidas en cuatro provincias.

Introducir la tecnología de avanzada para la instalación de tuberías soterradas para el drenaje agrícola.

Introducir la tecnología necesaria para el mantenimiento de los sistemas de drenaje agrícola.

- Capacitar alrededor de 50 técnicos en la proyección, operación y mantenimiento del drenaje.
- Obtener las referencias (criterios de drenaje) agrícolas, económicas, ambientales y sociales para la ampliación del trabajo.
- Debido a las características de la organización institucional de Cuba, en un proyecto de este tipo deben participar varias instituciones, lo cual le daría un marco legal y organizativo más amplio y permitiría una difusión y apoyo más inmediato a sus resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, R.: *Efecto del nivel freático en el cultivo del plátano*, 50pp., Tesis (en opción al título de Master en Riego y Drenaje) Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje-Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2000.
- AYERS R. S. and WESTCOT D. W.: *Water quality for agriculture*, 174pp., Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. FAO, Rome, Italy, 1985.
- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA: *Programa Científico Técnico Estatal (PNCT) de "Mejoramiento de Suelos" para el quinquenio 1986-90*, La Habana, Cuba, 1985
- CABRERA, R; SOYFER, A.; CERVERA, G. Y PÉREZ, J.R.: Fundamentos de las medidas para la recuperación de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en el valle de Guantánamo. En: *Memorias del Coloquio cubano-francés sobre mejoramiento y manejo de vertisuelos*, Bayamo (Granma) Cuba, 15 al 20 de Abril, eds: R. Bouziguez, J.C. Favrot, Y.M. Cabidoche y J. Herera, pp 249-262, Bayamo, Granma, Cuba, 1991.
- Borroto, Matilde; Borges, O., Gell, P., Gaiz, J., y Morales, M.. Plantas tolerantes. Método agro biológico para convivir con la salinidad. En: *Memorias del Coloquio cubano-francés sobre mejoramiento y manejo de vertisuelos*, Bayamo (Granma) Cuba, 15 al 20 de Abril, eds: R. Bouziguez, J.C. Favrot, Y.M. Cabidoche y J. Herrera, pp. 311-322., Bayamo, Granma, Cuba, 1991.
- CASTELLANOS, A; HERRERA, J; IRARRAGORRY, R; FELIPE, M; RODRÍGUEZ, A; CABIDOCHÉ, Y.M. Y CHOSSAT, J.C. Efecto del drenaje en los vertisuelos sobre la salinidad y el rendimiento del sorgo de grano. En: *Memorias del Coloquio cubano-francés sobre mejoramiento y manejo de vertisuelos*, Bayamo (Granma) Cuba, 15 al 20 de Abril, eds: R. Bouziguez, J.C. Favrot, Y.M. Cabidoche y J. Herrera, pp 303:310, Bayamo, Granma, Cuba, 1991.
- CASTELLANOS, A.: *Comportamiento hidrológico del drenaje subsuperficial en suelos con arcillas dilatables del valle del Cauto*, Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, IIRD), La Habana, 1993.
- CASTELLANOS A.; A. MÉNDEZ Y M. RICARDO: *Establecimiento de los valores umbrales de humedad en los cultivos Papa y Boniato*, 10pp., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 1998.
- CITMA (MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE): *Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba*, 137pp., CIGEA, La Habana, Cuba, 2000.
- CITMA (MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE): "Evaluación de la Degradación de las Tierras en Zonas Secas" En: *Taller de Inicio del proyecto Internacional Area Piloto: Cuba*, La Habana, 26-27 abril, La Habana, Cuba, 2007.
- Dorticós, P. L., I. Guerardi, V. Pudov y E Alfonso. 1976. Principios fundamentales del Esquema General del aprovechamiento complejo de los recursos hidráulicos y agrarios de la Republica de Cuba. Tomo I – Memoria extractada. Grupo Hidráulico Nacional D.A.P., 210 pp, La Habana.
- DORTICOS, P. L.: "Aprovechamiento de los recursos hidráulicos", *Voluntad Hidráulica*, (Número Especial): 6-20, 1982.
- Herrera, P. J.; G. López, R. Pujol; J. Reyes; G.Cid. Estudio básico para la formulación de un programa de drenaje en Cuba. Informe TCP/CUB/0167 (E). FAO, Cuba, Septiembre 2002, 168 pp.
- INSTITUTO DE SUELOS MINISTERIO DE LA AGRICULTURA, *Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de Suelos. Instituto de Suelos*, 35pp., Ministerio de la Agricultura, AGRINFOR, La Habana, Cuba, 2001.
- MÉNDEZ, M., A. CASTELLANOS, O. SUÁREZ y G. MACIAS: "Beneficios agrícolas del drenaje de campo en los suelos cuarcíticos con estrato impermeable de la provincia de Pinar del Río". *Ingeniería Hidráulica*, 13(3): 85-94, 1992.
- ONE (OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA): *Anuario Estadístico de Cuba 2000*, 335pp., Edición 2001, La Habana, Cuba, 2001.
- ONE (OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA): *Anuario Estadístico de Cuba 2001*, Edición 2002, La Habana, Cuba, 2002.
- PMA (PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS): *Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria*, 144pp., Informe PMA Cuba, 2001
- POSADA, M.J.: *Utilización de la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación y técnicas geoestadísticas para la cartografía a escala detallada de la salinidad en suelos del Valle del Cauto*. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Universidad de Granma, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas, Mayamo, Granma, Cuba, 2001.
- PUJOL, R. HERRERA, J., SOTOLONGO, B. Y ESPINOSA, E.: *Resistencia del cultivo de la soya al exceso de humedad*, 40pp., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 1985.

RHOADES, J.D., KANDIAH, A and MASHALI, A. M.: *The use of saline water for crop production*, Irrigation and Drainage paper 48. FAO, Rome, Italy, 1992.

SIMEÓN, F. Y A. ALFONSO: "Metodología para el estudio de suelos en las áreas de regadíos", *Voluntad Hidráulica*, (I-IV): 58-60, 1982.

VAN DER MOLEN, W. H; J. MARTÍNEZ BELTRÁN and W.J. OCHS: *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*, FAO Irrigation and Drainage Paper, No 62, FAO, Rome, Italy, 2007.

Vidal, L.; Gutiérrez, A.; Alonso, N.; Pacheco, J. y Machado, O.; 1992. Tecnología integral de drenaje soterrado y mejoramiento de los suelos pesados del Norte de Villa Clara dedicados al cultivo de la caña. Trabajo presentado al 46 Congreso de la ATAC, Cuba.