

LA REGULACION DE HUMEDAD EN SUELOS ARCILLOSOS PESADOS PARA LA PRODUCCION SOSTENIBLE DE CAÑA DE AZUCAR

MOISTURE CONTROL ON HEAVY CLAY SOILS FOR SUSTAINABLE SUGAR CANE PRODUCTION

Manuel E. Sánchez¹, Luciano Vidal², Arnaldo Gutiérrez², Norberto Alonso³, Juan Pacheco⁴ y Pedro Cairo⁴

1. Grupo Azucarero AZCUBA, La Habana, Cuba, Email: manuel.sanchez@azcuba.cu
2. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Autopista Nacional km 246, Apdo 20, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba, Email: director@epica.vc.minaz.cu
3. Ministerio de Educación Superior (MES). La Habana, Cuba, Email. norberto@reduniv.edu.cu
4. Universidad Central de Las Villas (UCLV, Santa Clara, Cuba. Tel. (53) 42 281520

Resumen

Aproximadamente 40 % del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en Cuba se ubica sobre suelos pesados, arcillosos, donde el principal factor limitante es el drenaje. Durante más de 30 años se han realizado investigaciones sobre la regulación del régimen y programación del riego, consumo de agua por variedades, ciclos de cosecha y niveles de fertilización mineral, drenaje y uso de enmiendas orgánicas y sobre la potencial salinización de la zona de estudio. En lo fundamental se recomienda el régimen de riego para caña planta y retoños, lámina mínima anual a utilizar y su distribución, se genera una novedosa tecnología para el drenaje de suelos arcillosos pesados y su combinación con mejoradores orgánicos, plantación en canteros y riego por surcos. Se hacen consideraciones sobre los peligros de salinidad en la zona de estudio y algunas medidas a tomar.

Palabras Claves: riego, drenaje, caña de azúcar, salinidad, sostenible

ABSTRACT

MOISTURE CONTROL ON HEAVY CLAY SOILS FOR SUSTAINABLE SUGAR CANE PRODUCTION

Approximately 40% of the area dedicated to sugar cane cultivation in Cuba is located on heavy clay soils where water drainage is the primary limiting factor. For over 30 years investigations have been conducted into the control and scheduling of the irrigation rate, water consumption by sugar cane varieties, crop cycles and mineral fertilizer levels, soil drainage and usage of organic amendments as well as into the potential salinity of the area under study. Basically, the irrigation system is recommended for cane plant and ratoon crops and the minimum annual water sheet to use and its distribution; a novel technology for

drainage of heavy clay soils and its combination with organic soil improvers, bed planting and furrow irrigation is generated. Considerations are made on the risks of salinization in the area under study and some actions to be taken.

Keywords: *irrigation, drainage, sugar cane, salinization, sustainable.*

Introducción

La producción de azúcar de caña en el mundo y en particular en Cuba en los momentos actuales merece una valoración integral teniendo en cuenta los componentes ambiental, económico y social, como pilares fundamentales de la sostenibilidad.

El aumento constante de los precios del petróleo en el mercado mundial, comparado con los precios del azúcar de caña en ese mismo mercado, están haciendo insostenible la producción, aún teniendo en cuenta otros derivados que por supuesto implican la introducción de nuevas tecnologías, lo cual a veces limita un gran número de fábricas a la producción casi exclusiva de azúcar. Desde el punto de vista de su impacto social, la disminución de la producción de caña ha traído un efecto negativo para el mercado laboral en varias regiones del mundo y la tendencia a una mayor mecanización y utilización de agroquímicos buscando altos rendimientos con su consiguiente efecto negativo para el medio ambiente. Por otra parte, la tendencia climática mundial apunta hacia la desertificación o prolongación de los períodos de sequía, por lo que los recursos hídricos serán cada vez más necesarios y estratégicos y su uso eficiente más valorado.

En Cuba en particular en los últimos 15 años disminuyó considerablemente la producción de caña y se llevó a cabo un proceso de redimensionamiento y reconversión de todo el sector azucarero, a partir de las regiones con mejores suelos, régimen de lluvias, fuentes de abasto para riego, fuerza laboral e industrias eficientes y diversificadas, buscando una producción razonable que garantice el consumo nacional y algunos compromisos externos.

En el marco de este proceso y teniendo en cuenta los resultados de investigación de 30 años sobre regulación del régimen hídrico en suelos arcillosos pesados bajo caña de azúcar de la zona norte central de Cuba, se recomienda la aplicación de una tecnología de control de humedad del suelo que contribuya a la sustentabilidad de la producción del cultivo bajo estas condiciones.

Materiales y Métodos

Para la estrategia propuesta se tendrán en cuenta los resultados de experimentos de campo ininterrumpidos por más de 25 años, realizados en la zona norte de la provincia de Villa Clara, una de las de mayor capacidad de producción de azúcar, miel, alcohol y otros derivados.

Aproximadamente 40 % del área de caña de azúcar en Cuba está ubicada sobre suelos arcillosos pesados en llanuras bajas o costeras, de ellas 22 000 hectáreas corresponden a la región objeto de estudio en la provincia de Villa Clara.

Estos suelos son ácidos fundamentalmente en el subsuelo y su estado de agregación está fuertemente dañado. Son hidromórficos inmediatamente debajo de la capa arable con una permeabilidad muy reducida ($k_f < 0,001$ m/d). La precipitación promedio anual en la zona es de 1 150 mm concentrado el 75 % entre mayo y octubre y un período seco con agudas sequías en los últimos años de noviembre a abril. Varias veces por año después de fuertes lluvias se produce encharcamiento en o sobre la capa más superficial del suelo, equivalentes a 10 – 30 l/m².

El exceso de agua no se puede eliminar por escurrimiento superficial en breve tiempo, ya que la pendiente del terreno es muy baja con promedio de 1.25 m/km y menor de 1 m/km en más del 80 % del área. Por las razones antes expuestas después de fuertes lluvias el sobrehumedecimiento se manifiesta en la capa arable del suelo durante 10 a 40 días. Si no se crean condiciones para mejorar el drenaje interno, el prolongado sobrehumedecimiento del subsuelo limita el desarrollo del sistema radical de la caña de azúcar a las capas más superficiales, por lo que en condiciones naturales más de 90 % de las raíces crecen solo en los primeros 30 cm de profundidad.

Esta compleja problemática se contrapone a otros factores que propician altos rendimientos de la caña de azúcar en esta zona que cuenta con un sistema de riego y drenaje superficial que funciona con muy bajo consumo de energía, equivalente a 63 % del área nacional con riego por derivación, totalmente mecanizable, compacta, con bloques bien conformados y disponibilidad de riego que permite sembrar con mucha seguridad en el período seco (enero-abril), lográndose altos porcentajes de brotación y llevar las cañas a zafra con más edad, lo cual es equivalente a mayores rendimientos y permite concentrar esfuerzos y recursos en esta región cuando en la zona alta todavía no se puede plantar.

Los elementos antes expuestos justifican las investigaciones en el área, por lo cual se desarrollaron los siguientes experimentos:

- 8 de régimen de riego (3 de límite productivo en diferentes épocas de plantación, 3 de déficit hídrico en diferentes épocas de plantación, 1 de suspensión del riego antes de la cosecha y 1 de riego y fertilización nitrogenada)

- 3 ciclos completos de un lisímetro para diferentes épocas de plantación
- 3 de plantación en canteros en diferentes épocas
- 4 ensayos de campo sobre riego por surcos y manejo del agua en el campo
- 10 de drenaje (2 de drenaje superficial, 2 de drenaje con topos, 3 de drenaje con grietas, 2 de drenaje combinado con aplicación profunda de mejoradores, 1 de resistencia al sobrehumedecimiento)
- 2 estudios de salinidad en diferentes etapas
- Otros estudios de raíces, propiedades hidrofísicas, lluvia aprovechable, traficabilidad, etc)

Cada experimento o ciclo completo para una época de plantación incluye 3 cosechas, una de caña planta, una de soca y otra de retoño.

Los resultados tratados integralmente permitieron abordar, entre otras, las siguientes temáticas que de conjunto generan una estrategia, para la producción sostenible de caña de azúcar en estas condiciones:

- Régimen de riego de la caña de azúcar para diferentes cepas y ciclos
- Programación del riego Consumo de agua de la caña de azúcar para diferentes variedades, ciclos y regímenes de riego en lisímetros y parcelas experimentales
- Determinación de coeficientes biológicos para la caña de azúcar para diferentes cepas y ciclos
- Manejo del riego superficial. Riego por surcos y eficiencia de aplicación Relación agua-rendimiento para caña de azúcar en suelos arcillosos pesados
- Drenaje superficial y métodos agrotécnicos de drenaje en suelos arcillosos pesados
- Drenaje subsuperficial
- Drenaje y mejoramiento de suelo con aplicación de materiales orgánicos
- Estudios de la salinidad y su evolución

Resultados y Discusión

Rendimiento Potencial

En diferentes experimentos el rendimiento potencial con las variedades recomendadas para la zona mostraron los siguientes resultados:

1. Con riego permanente a 80 % de capacidad de campo: 102 – 112 t/ha en ciclo corto y hasta 160 t/ha en ciclo largo
2. Sin riego, con mejoradores orgánicos y buenas atenciones culturales: 150 t/ha en ciclo largo

3. Con riego limitado, drenaje con grietas y aplicación de cachaza: 240 t/ha en ciclo largo
4. En condiciones de producción se alcanzaron rendimientos notables con buena agrotecnia y mejorando las condiciones de drenaje: 89 t/ha en ciclo corto y 135 t/ha en ciclo largo.

Régimen y Técnica de Riego

La cepa de mayor respuesta al riego es la caña planta y en las cepas posteriores se reduce notablemente el rendimiento.

Los mejores resultados se obtienen con humedad preriego de 80 % de CC para los 6 primeros meses en caña planta, 70 % de CC para el resto del ciclo en esta cepa y 70 % de CC para todo el ciclo en retoños. Fueron obtenidos los coeficientes biológicos para todos los ciclos y cepas a partir del evaporímetro clase "A" y demostrada su eficacia para la programación del riego por el método bioclimático con la generalización del pronóstico.

Los estudios de relación agua-rendimiento mostraron que el número de riegos para un régimen óptimo de humedad y efecto económico positivo varía de 5 a 8 en años secos a medio secos y de 3 a 5 riegos en años medios a medio húmedos. La norma neta total para 12 meses oscila de 300 a 180 mm según el año y en los ciclos largos (18-20 meses) puede alcanzar los 450 mm.

En comparación con el régimen óptimo biológico, disminuciones de la norma total a un 70 % producen un 90 % del rendimiento agrícola, con gran influencia de los riegos del período de crecimiento julio-agosto.

La combinación del riego con drenaje subsuperficial provoca mayor necesidad de riego con notable incremento del rendimiento agrícola de hasta 50 % con relación a donde no existe drenaje interior.

En la zona de estudio se logra la mejor eficiencia y productividad con longitudes de surco de 250 ó 330 m, regando por surcos alternos con el esquema 1-1 ó 1-2 y caudales de 3 a 5 l/s en cada surco.

Drenaje y Mejoramiento de Suelo

Es imprescindible contar con una red de drenaje superficial que posibilite evacuar fuera de las áreas agrícolas, en un tiempo prudencial, volúmenes de agua relativamente altos en el período lluvioso.

La topografía y las propiedades físicas de estos suelos provocan un sobrehumedecimiento residual después de las lluvias de hasta 250 - 350 m³/ha que puede permanecer en el suelo entre 6 y 40 días en dependencia de la época del año y la cobertura del cultivo.

La nivelación parcelaria y la reducción del espaciamiento entre canales como prácticas de ingeniería y la plantación en canteros como práctica agronómica, son actividades que contribuyen de forma significativa a combatir el sobrehumedecimiento y a obtener rendimientos agrícolas superiores. Las

mejores condiciones para el crecimiento de las plantas se logran con la plantación en bancos o canteros, sin embargo en años medios la capa arable permanece un 30 % del tiempo sobrehumedecido y en años lluviosos hasta un 60 % del tiempo.

Cuando llueve durante la zafra y el sistema de drenaje no funciona correctamente se producen largos períodos de parada de la cosecha y de los ingenios por el sobrehumedecimiento de los campos con un negativo efecto económico significativo.

El prolongado sobrehumedecimiento limita el desarrollo de la caña de azúcar durante el gran período de crecimiento (Mayo – Octubre) y después afecta el proceso de maduración que concentra los azúcares para la cosecha, por lo cual de mantenerse esas condiciones, los rendimientos pueden llegar a reducirse entre un 30 y un 50 % por debajo del potencial.

Con la implantación de un sistema de drenaje constituido por grietas que descargan en colectores subsuperficiales, el efecto del drenaje estuvo relacionado con la distancia desde o hasta su desembocadura, o sea con la distancia entre los drenes colectores donde descargan el agua las grietas. El movimiento del agua a través de las grietas hasta los drenes colectores se produjo desde una distancia máxima de 50 m, por lo que el espaciamiento máximo recomendable entre drenes colectores para estas condiciones es de 100 m.

La duración del estado de sobrehumedecimiento tecnológico del suelo pudo disminuirse con drenaje soterrado combinado con grietas entre un 40 y 70 %. Las máquinas cosechadoras de caña pueden regresar a trabajar a los campos como promedio 15 días después de fuertes lluvias. Por esta razón el tiempo perdido por lluvias durante la zafra en estas regiones puede reducirse a la mitad, lo cual tiene un importante efecto económico. Lo anterior posibilita además el inicio temprano de la cosecha después de la temporada de lluvias y acorta la duración de la zafra. Se incrementa la eficiencia y disminuye la demanda de potencia de la maquinaria. El menor deterioro del terreno por las máquinas y la terminación temprana de la zafra aseguran un mayor rendimiento en la cosecha siguiente.

La aplicación de cachaza en el relleno de las grietas elevó el efecto positivo de los drenes de tierra. Fundamentalmente se mejoró la disponibilidad de humedad en el período seco y la fertilidad. El drenaje que se produce también acelera la recuperación de la madurez de la caña de azúcar cuando el contenido de sacarosa ha descendido como consecuencia de fuertes lluvias.

El rendimiento agrícola se incrementó entre 30 y 100 % sobre los rendimientos tradicionales por el efecto beneficioso del drenaje superficial e interno. Con la combinación de grietas de drenaje y aplicación de cachaza fueron obtenidos los más altos rendimientos registrados en la región, lo que permite disminuir el área dedicada a caña de azúcar, aumentar la producción con el área existente o diversificar la producción agrícola.

La durabilidad de la cepa de caña se incrementa como mínimo en 1 ó 2 cosechas, lo cual significa una reducción significativa de los costos. Solamente el incremento de los rendimientos obtenidos, hace rentable la aplicación del drenaje subsuperficial, pero su efectividad económica total se manifiesta también a través de la prolongación de la durabilidad de la cepa de caña, la reducción de las interrupciones por lluvia durante la zafra y la rápida recuperación de la madurez de la caña de azúcar después de fuertes lluvias.

El sistema de drenaje propuesto es compatible y se integra correctamente en la mayor parte del área con otras tecnologías aplicadas para la producción de caña de azúcar, como son la mecanización, el riego por surcos y el drenaje superficial. También se integra perfectamente con el sistema de plantación en bancos o canteros y esto a la vez favorece el rellenado de las grietas o drenes de tierra con suelo de la capa arable y contribuye a alargar la durabilidad de la cepa.

El sistema estudiado permitió un mejoramiento de la estructura del suelo a través de la reagrupación y formación de agregados, por lo que se logró una mejor aireación y una intensificación de la actividad microbiana. Además se incrementó la densidad y penetración profunda de las raíces en el subsuelo.

Lo anterior, junto a la intensificación de la contracción – dilatación, típica de estos suelos por los cambios de humedad, acelera con el drenaje el proceso de transformación natural de los suelos gley arcilloso en vertisuelos (vertisolización).

Salinidad

Se desarrolló una investigación sobre la base de estudios anteriores en una zona de la Costa Norte de Villa Clara y posteriormente se realizó la caracterización de un área potencialmente salina empleando técnicas geoestadísticas y un SIG.

El incremento de la salinidad del suelo en el periodo estudiado se manifestó fundamentalmente en áreas cercanas al mar, inferiores a la cota 5 donde pasaron 48 ha de la clase poco salino a muy salino y 312 ha de poco salino a medio salino.

La mineralización y elevación del manto freático fue la causa del incremento de la salinidad en el suelo y resultó el elemento potencialmente más peligroso en el tiempo.

La CE del agua subterránea subió hasta 3 dS/m en áreas de cota media y hasta 20 dS/m en los bloques cercanos a la costa El manto freático se elevó hasta 0.8 m en las zonas más bajas y hasta 7.0 m en las áreas más altas y aledañas a los canales magistrales de riego.

Resultó evidente que uno de los factores que incidió en la elevación del manto freático fue la influencia de los canales de riego de primer orden, que son los más caudalosos y profundos y conducen agua casi todo el año.

Los valores de PSI y su incremento paulatino en la dirección al mar, con valores entre 1.5 y 12.5 % resultaron alarmantes por las implicaciones de los procesos de sodificación en los suelos y el costo de las medidas de mejoramiento que requieren.

Se apreció una relación, a pesar de las variaciones de cepas, edades, variedades y manejo del cultivo, entre el rendimiento relativo del cultivo y los valores de CE y PSI, con una disminución del rendimiento en dirección a la franja costera.

En áreas experimentales de la misma zona donde se mejoró el drenaje el contenido de sales solubles totales y la conductividad eléctrica del suelo y el agua de drenaje descendió significativamente y rápido.

Conclusiones y Recomendaciones

Tomando como base los resultados obtenidos en las investigaciones sobre regulación de humedad en suelos arcillosos pesados ocupados por caña de azúcar en la región norte-central de Cuba se recomienda un paquete tecnológico para el manejo del riego, el drenaje y control de la salinidad que favorecen la sostenibilidad de la producción de caña de azúcar sobre estos suelos y otros similares, que se resume en lo fundamental en los siguientes elementos:

- Plantación en canteros con riego superficial por surcos de 250-500 m con entrega de agua por surcos alternos.
- Riego por pronóstico con límites productivos de 80 % CC para caña planta hasta los 6 meses y posteriormente 70 % CC en la misma cepa y los retoños sucesivos.
- Drenaje combinado, usando nivelación y red superficial, grietas a 75 cm de profundidad y drenes soterrados cada 80 metros con aplicaciones de mejoradores orgánicos en dosis variable según disponibilidad.
- Mantenimiento sistemático de los elementos del sistema de riego y drenaje.
- Acciones de control y preventivas para impedir el avance de la salinidad.

Bibliografía

1. Alonso, N. 1979. Consumo de agua de la caña de azúcar en Cuba bajo diferentes regímenes de riego. Tesis doctoral. Instituto de Irrigación y Mecanización de la Agricultura de Tashkent. URSS.
2. Alonso, N.; Pacheco, J. y Gutiérrez, A. Respuesta al riego por la caña de azúcar en suelos pesados de la costa norte de Villa Clara. Memorias XII Conferencia de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. La Habana. Cuba. 1979.
3. Alonso, N.; Pacheco, J. y Gutiérrez, A. Recomendaciones sobre el régimen de riego de la caña de azúcar para la costa norte de Villa Clara. Memorias 43 Congreso de la ATAC. Ciudad de la Habana. Cuba. 1982.
4. Alonso, N.; Dueñas, R. y Pacheco, J. Regulación del régimen hídrico de la caña en suelos pesados. Informe final de investigaciones conjuntas UCLV Cuba- Universidad de Rostock, RDA, p 81-85. 1985.
5. Alonso, N.; Gutiérrez, A.; Vidal, L. y Pacheco, J. Hacia la sostenibilidad del regadío de la caña de azúcar. Memorias del IV Encuentro Internacional de Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba. CD, 2001.
6. Cairo, P. 1990. Caracterización y mejoramiento de los suelos pesados y su relación con el cultivo de la caña. Monografía. Universidad Central de Las Villas. Cuba. 104 p.
7. Gutiérrez, A.; García, I. y Vidal, L. Estudio comparativo de la siembra en canteros y en el surco. Memorias 43 Congreso de la ATAC. La Habana. Cuba. p 682-695. 1982.

8. Gutiérrez, A.; Vidal, L.; Pacheco, J. y Alonso, N. 1984. Estudio cuantitativo del sistema radical de la caña de azúcar y su distribución lateral y vertical. Memorias del XLIV Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. T 2, p 123-135. La Habana.
9. Gutiérrez, A. 1996. Tecnología integral para la producción de caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. Proyecto INICA-CITMA. Santa Clara. Cuba. 40 p.
10. Gutiérrez, A. 2000. Perfeccionamiento del riego superficial de la caña de azúcar con criterios de sostenibilidad en suelos arcillosos pesados. Tesis de maestría en agricultura sostenible. Universidad Central de Las Villas. Cuba 78 p.
11. Gutiérrez, A.; Obregón, J.; Vidal, L.; Aguilar, C.; Ávalos, J.; Pacheco, J. y Alonso, N. Efectos de la Modificación de los Esquemas de la Red de Riego y Drenaje Superficial en la Producción de Caña de Azúcar. Memorias 48 Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. CD-ROM (ISBN 959-7164-31-0). 2002.
12. Gutiérrez, A.; Diaz, R.; Vidal, L.; Rodríguez, I.; Pineda, E. y Betancourt, Y. Instructivo Tecnológico para la Producción de Caña de Azúcar en los Suelos Arcillosos Pesados. Memorias del Evento por el 40 Aniversario del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. CD-ROM (ISBN-959-246-122-8). 2004.
13. Gutiérrez, A.; Vidal, L.; Barreto, B.; Alonso, N. y Pacheco, J. Manejo Sostenible del Regadío en Caña de Azúcar. Memorias del XV Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. CD-ROM (ISBN 959-7023-36-9). 2006.
14. Menning, P.; Koepke, K.; Bloch, D. y Vidal, D. 1989. Grundlagen für die Wasserregulierung tonreicher Zuckerrohrstandorte Kubas. Bericht G3/ Wilhenm-Pieck-Universität. Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Rostock, 54 p.
15. Pacheco, J.; Alonso, N. y Gutiérrez, A. Evapotranspiración de la caña de azúcar en la costa norte de Villa Clara. Revista Centro Agrícola No. 4 (3) 1-6 Cuba. 1977.
16. Pacheco, J.; Alonso, N. y Gutiérrez, A. Relación agua-rendimiento en caña de azúcar. Revista Centro Azúcar No. 4:33-42. Cuba. 1982.
17. Pacheco, J.; Alonso, N. y Gutiérrez, A. Evapotranspiración de la caña de azúcar en Cuba. XVIII Congreso del ISSCT. La Habana. Cuba 509-526. 1983.

18. Pacheco, J. Estudio del régimen de riego de la caña de azúcar en suelos arcillosos pesados. Memorias 44 Congreso de la ATAC, p 104-115. La Habana Cuba. 1984.
19. Pacheco, J.; Gutiérrez, A.; Vidal, L. y Alonso, N. Régimen de riego con déficit hídrico. Revista Centro Agrícola. 1(3), p 13-21. 1990.
20. Pacheco, J.; Alonso, N.; Pujol, P. y Camejo, E. 1995. Riego y Drenaje. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 414 p.
21. Vidal, L. 2001. Schlitzdrainung in Tongleyboden unter Zuckerrohr. Rostock, Alemania. Tesis doctoral, 76 p. (original en idioma alemán)
22. Vidal, L.; Gutiérrez, A. y Pacheco, J. Régimen de riego de la caña de azúcar Retoño II. Revista Cultivos Tropicales. No. 3 p 20-26. La Habana. Cuba. 1984.
23. Vidal, L.; Gutiérrez, A. y Alonso, N. Tecnología integral de drenaje soterrado y mejoramiento de suelos pesados del norte de Villa Clara dedicados al cultivo de la caña de azúcar. XLVI Congreso de la ATAC. Santiago de Cuba. 1992.
24. Vidal, L.; Gutiérrez, A. y Alonso, N. Uso del drenaje topo en suelos pesados del norte de Villa Clara. Revista Centro Azúcar, No. 1, Año 20, ene-abr, 1993.
25. Vidal, L.; Gutiérrez, A.; Alonso, N. y Pacheco, J. 1998. Sistema "BIOCLI" para el pronóstico y la conducción del régimen de riego de explotación de la caña de azúcar. XII Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana. Cuba. 15 p.
26. Vidal, L.; Gutiérrez, A.; Pérez, J.; Alonso, N.; Carrasco, H. y Ruiz, M. 2000. Caracterización de un área potencialmente salina al norte de Villa Clara empleando técnicas geoestadísticas y un SIG. Recomendaciones para asegurar la sostenibilidad del regadío en la región. Conferencia Científica Internacional "Medio Ambiente Siglo XXI" Universidad Central de Las Villas. Cuba. CD.
27. Vidal, L.; Gutiérrez A. y Alonso, N. Caracterización de los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Revista Centro Agrícola. Vol 1, p 43-51. 2001.
28. Vidal, L.; Gutiérrez, A. y Pacheco J. Sistema de pronóstico y conducción del régimen de riego para la explotación de la caña de azúcar. Revista Centro Azúcar, No. 3, Año 28, jul - sep. 2001.

29. Vidal, L.; Cairo, P.; Menning, P.; Könker, H.; Alonso, N.; Pacheco, J. y Gutiérrez, A. Slot drainage of clay soils under sugarcane in Cuba. *Irrigation and Drainage*, Volume 55, Issue 5, Pag. 511-521, Wiley InterScience, ICID-CIID. 2006.