

Resúmenes del contenido de las tesis de doctorado presentadas a defensa ante el Tribunal Nacional Permanente de Ingeniería Agrícola de la República de Cuba durante el año 2011

Summaries of the content of the doctorate theses presented to defense in the Permanent National Tribunal of Agricultural Engineering of the Republic of Cuba during the year 2011

Invencción de motor hidráulico de alto torque y baja velocidad utilizando cilindros hidráulicos y cigüeñal

Autor: M.Sc. Guillermo Néstor Arias Polo¹, ICDCA, Cuba
Tutor: Dr. Sc. Arturo Martínez Rodríguez, UNAH, Cuba

¹ Ing. Investigador Titular, Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar, E-✉: guillermo.arias@icidca.edu.cu

El trabajo presenta el desarrollo de una invención de un Motor Hidráulico de alto torque y baja frecuencia de rotación, formado por varios componentes que logran un actuador para las transmisiones de potencia, utilizando cilindros hidráulicos múltiples y cigüeñal. El trabajo se desarrolló bajo los auspicios de dos proyectos: un Proyecto Ramal del Ministerio del Azúcar y un Proyecto Nacional del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Fue otorgado un Certificado de Autor de Invención. Los objetivos del trabajo fueron: determinar las características técnicas, herramientas de cálculo e indicadores económicos, validar prácticamente el funcionamiento del nuevo principio patentado y demostrar la posible sustitución de importaciones de este tipo de invención de Motor Hidráulico. Todos los objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente, así como, con la experiencia obtenida se elaboró un superior rediseño del Motor Hidráulico de alto torque y baja velocidad utilizando cilindros hidráulicos y cigüeñal. Se demostró la hipótesis del trabajo, que utilizando como principio cilindros hidráulicos que realizan trabajo útil en ambos sentido de la carrera es posible superar los principales indicadores técnicos y económicos de los motores hidráulicos utilizados internacionalmente.

Modelación de la compactación provocada por el tráfico de neumáticos de los vehículos agrícolas, en suelos en condiciones de laboratorio

Autor: M.Sc. Omar González Cueto², UCLV, Cuba
Tutores: Dr. C. Ciro Iglesias Coronel, UNAH, Cuba
Dr. C. Miguel Herrera Suárez, UCLV, Cuba

² Ing. Profesor, Universidad Central de la Villas (UCLV), Villa Clara, Cuba, E-✉: omar@uclv.edu.cu

En Cuba, las investigaciones sobre la compactación del suelo se han realizado en condiciones de campo, siendo muy escasa la aplicación de las técnicas de modelación y simulación a este problema. En el presente trabajo se desarrolló un modelo, válido

para la simulación de la compactación provocada por el tráfico de neumáticos de los vehículos agrícolas, mediante el Método de los Elementos Finitos, que permite investigar los factores que provocan compactación del suelo. Para cumplimentar este objetivo se determinaron las propiedades y parámetros constitutivos que permitieron validar al modelo de Drucker Prager Modificado como adecuado para la representación de la respuesta mecánica del suelo Ferralítico rojo compactado y definir al modelo de Drucker Prager Extendido como el más apropiado y conveniente para la representación del modelo constitutivo de este tipo de suelo. Se desarrolló y validó en condiciones experimentales un modelo en Método de los Elementos Finitos de un neumático 3,5x10; el cual se utilizó para interactuar con el suelo y formar el modelo de la simulación de la compactación, validándose este en condiciones de laboratorio. La aplicación del modelo permitió hacer recomendaciones para el diseño y administración de la maquinaria agrícola y constituye una base metodológica para la realización de investigaciones sobre el tema.

Fundamentación de tecnología de la labranza primaria localizada en superficies acanteradas con cobertura de residuos vegetales en caña de azúcar

Autor: Ing. Yoel Betancourt Rodríguez³, ETICA Villa Clara–Cienfuegos, Cuba
Tutores: Dr. C. Miguel Rodríguez O, UCLV, Cuba / Dr. C. Ciro Iglesias Coronel, UNAH, Cuba

³ Ing., Investigador, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos (ETICA Villa Clara–Cienfuegos), bejmenendez@vc.minaz.cu y secretaria@epica.vc.minaz.cu

La labranza primaria es una de las labores más importantes de la preparación de suelo. Basado en ese criterio, el presente trabajo fundamenta la escarificación primaria localizada para el perfeccionamiento de las tecnologías de preparación de suelos arcillosos pesados con superficies acanteradas dedicados a la caña de azúcar. En una primera etapa se analizó el estado actual del tema, quedando plasmada la necesidad de aplicar la labranza de conservación para plantar ese cultivo en dichas condiciones. En la segunda se fundamentó teóricamente los parámetros de diseño de un escarificador combinado en tándem y escalón, obteniéndose la expresión para determinar el ancho de trabajo de las saetas en función de la geometría de las superficies acanteradas, la longitud de dichas saetas, así como la salida entre los órganos escarificadores y la tercera comprende la investigación experimental realizada en áreas de la Empresa Azucarera “Héctor Rodríguez”, en ella se estableció el mullido del suelo mínimo para el acanteramiento y la composición racional del C101M para la labranza primaria de superficies acanteradas, basada en tres órganos escarificadores en tándem con saetas de 700, 800 y 900 mm de ancho de trabajo, escalonados a profundidad de 0,1 m, mediante lo cual se logran indicadores superiores de calidad de labor e índices de explotación, reduciéndose, respecto a la total con arado de discos AT-90 y el multiarado M 250, los gastos específicos de combustible y directos de explotación en 22 y 28%, respectivamente. Finalmente, se conformaron alternativas tecnológicas basadas en la escarificación localizada (C 101M) combinada con medios de laboreo total, facilitando el alisado del suelo, las que comparadas con aquella que emplea medios tradicionales incrementan la productividad en 18%, disminuyendo el tiempo total en un 42%, reducen el gasto de combustible y el costo de la preparación de suelo en 10 %, disminuyen significativamente el número de malezas por metros cuadrado en la primera etapa de desarrollo del cultivo, representando 68 %, logrando rendimientos agrícolas similares en caña planta.

Programa de acciones de Gestión Integral del uso del agua subterránea del valle de Chimaltenango, Guatemala

Autor: M.Sc. Eugenio Orozco y Orozco⁴, USC, Guatemala
Tutor: Dr. C. Albis Mujica Cervantes, ÚNICA, Cuba

⁴ M.Sc., Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, E-✉: eugenioorozco@yahoo.com

En Guatemala, a 60 km al este de la ciudad capital, se encuentra el valle de Chimaltenango. Con un área de 30,5 km², el valle ha sufrido en los últimos años un crecimiento demográfico e industrial que ha provocado una alta presión sobre el recurso acuífero que utilizan para el abastecimiento de agua. El acuífero se encuentra en materiales piroclásticos del cuaternario y se considera de alta productividad y capacidad para transmitir el flujo de aguas subterráneas. Actualmente el potencial hídrico subterráneo anual del acuífero es positivo, pero debido a que el aprovechamiento en el valle se hace en forma desordenada, éste podría verse afectado si la demanda aumenta sin una adecuada recarga al mismo, implicando que el riesgo de explotación se incrementa. Respecto a la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, aunque el valle es prácticamente plano, ésta es baja en las zonas más altas y media en donde se localizan las comunidades de Chimaltenango y El Tejar. Estas comunidades como usuarias del recurso hídrico subterráneo, por una cantidad de 30 000 litros mensuales, pagan una cantidad mínima por el servicio de suministro que reciben.

Según las autoridades municipales en la mayoría de ocasiones no representa ni un 25% de los costos de aprovechamiento del agua a través de bombeo y el traslado a las tuberías de conducción del vital líquido. Con la intención de lograr garantizar el suministro de agua a los usuarios de las comunidades, en el presente trabajo se plantea un programa de acciones de gestión integrada del recurso, logrando a través del ordenamiento en su uso, un aprovechamiento racional del mismo. Se propone como organización local una Mancomunidad de usuarios del acuífero, y se espera que a través de una adecuada planificación del aprovechamiento que incluya un reconocimiento y pago adecuado del valor económico del recurso hídrico subterráneo, lograr su conservación y persistencia. Palabras clave: Acuífero, vulnerabilidad, gestión integrada, valor económico, mancomunidad

Estrategia para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo en la subcuenca de los ríos Pansiguis y Cushapa en el departamento de Jalapa, Guatemala

Autor: M.Sc. Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez⁵, USC, Guatemala
Tutor: Dr. C. Oscar Brown Manrique, ÚNICA, Cuba

⁵ M.Sc., Profesor Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, E-✉: iherrera@hotmail.com

El agua subterránea juega un papel crítico en el mantenimiento de una alta calidad de vida para la población dentro de la zona semiárida de Guatemala. Este recurso suplente el agua para consumo humano, industrial, comercial y uso agrícola en las partes rurales del país. En este informe se presenta una estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en la subcuenca de los ríos Pansiguis y Cushapa en el departamento de Jalapa en Guatemala. El trabajo se desarrolló durante cuatro años, obteniéndose como resultado la información sobre la geología, hidrogeología, aguas superficiales, calidad de agua, clima y recarga hídrica, para el manejo del agua. El agua subterránea se encuentra en rocas volcánicas fracturadas y forma un acuífero local y con confinamiento. Las aguas son del tipo bicarbonatadas, cálcico-magnésicas, siendo aguas jóvenes con poca evolución química y muy diluidas, las cuales no presentan contaminantes inorgánicos con concentraciones que cumplen las normas de potabilidad, por lo que son aptas para consumo. En la cuenca existe una recarga hídrica de ocho millones de metros cúbicos por año, esto indica que la extracción de agua con el desarrollo de pozos es factible, representando una estrategia de manejo de agua. Se recomienda hacer mejoras con asistencia técnica a las municipalidades y a los pequeños sistemas de agua para desarrollar e implementar programas locales de protección de aguas subterráneas. humano y para riego.

Tecnología para la descontaminación de las aguas del lago Izabal a través de la extracción de la planta (*Hydrilla verticillata* (LF)) Royle y su uso como sustrato alternativo para la producción de plántulas hortícolas, en Guatemala

Autor: M.Sc. Iván Dimitri Santos Castillo⁶, USC, Guatemala
Tutor: Dr. C. Lorenzo E. Camejo Barreiro, ÚNICA, Cuba

⁶ M.Sc., Profesor titular, Investigador Principal, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala, E-✉: jdimitrisc@yahoo.com

Se desarrolló la tecnología para la obtención de un sustrato a base de *Hydrilla verticillata* y con ello dar un uso agrícola a esta planta invasora del recurso hídrico y contaminante del medio ambiente de las márgenes del lago de Izabal. El sustrato elaborado a base de *Hydrilla* degradada a 30 días y mezclada en proporción del 85% y 15% de perlita (H30-85-15), presentó la mayor similitud en las propiedades físicas, químicas y fitotóxicas comparado con el sustrato universal turba de *Sphagnum*, siendo a la vez el mejor sustrato al validar la tecnología en invernadero para la producción de plántulas de tomate en la mayoría de las variables estudiadas: porcentaje de germinación, altura de plántula (cm), diámetro del tallo (mm), peso fresco de la parte aérea y peso fresco de la raíz (g), y materia seca parte aérea (%). Se justifica el uso de la tecnología propuesta ya que es agro técnica y económicamente viable, constituyendo una solución técnica, económica y ambiental que sienta la bases para el desarrollo de una industria ecológica en zonas aledañas al lago de Izabal. Se comprobó que la tecnología para producir sustrato a base de *Hydrilla* es más económica que importar turba con una rentabilidad del 43.42 %. Es una tecnología pionera y propia para Guatemala ya que *Hydrilla* hasta el presente no ha sido utilizada como sustrato alternativo en ninguna zona del mundo, protegiendo con ello el recurso hídrico de agua dulce más grande de Guatemala, el lago de Izabal.

Contribución metodológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales

Autor: M.Sc. Alberto A. Méndez Jocik⁷, ENPA-MINAG, Cuba

Tutores: Dr. C. Oscar Solano Ojeda, INSMET. Cuba / Dr. C. Daniel Ponce de León Lima, UNAH, Cuba

⁷ MSc. J Dpto. Geomática ENPA. Edificio *MINAG*. Piso 10. Conil esq. Carlos M. Céspedes, Nuevo Vedado, Plaza de la Revolución. La Habana. Cuba.
E-✉: mendez@enpa.minag.cu

Con el lanzamiento del sensor satelital MODIS (Moderada resolución de imágenes espectralradiométricas) de dominio público en la Internet, se presenta una nueva posibilidad de la estimación de variables meteorológicas, para estudios de los lujos de calor y la evapotranspiración. Las imágenes generadas de estos satélites en combinación con modelos de inteligencia artificial, como las redes neuronales artificiales, constituyen una poderosa herramienta de modelación no lineal con un enfoque no paramétrico, sin restricciones en cuanto a dependencias estadísticas de los datos de entrada aplicables a informaciones de un comportamiento estocástico y difuso, práctico para el análisis de complejos ecosistemas como la evapotranspiración, dando respuestas en condiciones de incertidumbre. Los resultados obtenidos consisten en los aportes metodológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y de redes neuronales artificiales y la generación de imágenes sintéticas de variables meteorológicas a partir de productos radiométricos satelitales. Los modelos desarrollados ofrecen resultados prometedores, al encontrar relaciones consistentes y significativas, al validar estos con los procedimientos estándar a partir de la ecuación de la FAO Penman-Monteith. La integración de tecnologías de avanzada en un soporte único, constituyen partes esenciales de las bases cognitivas y metodológicas para la introducción en Cuba del “pronóstico de riego asistido, mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales” que podrá estar disponible y operativamente utilizable para los usuarios mediante el servicio de asesoramiento al regante, de modo que contribuya a la toma de decisiones en la gestión del recurso agua con fines de regadíos.

Resúmenes del contenido de las tesis de doctorado presentadas a defensa por profesores de la Universidad de Granma, Facultad de Ingeniería, Cuba, ante Tribunales de la Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Ingeniería Rural, España, durante los años 2009-2010

Summaries of the content of the doctorate theses presented to defense by professors of the University of Granma, Faculty of Engineering, before Tribunals of the Polytechnic University of Madrid, Superior Technical School of Agricultural Engineers, Department of Rural Engineering, Spain, during the years 2009-2010

Contribución metodológica de la Geometría Fractal al estudio de la fragmentación producida por diferentes sistemas de laboreo del suelo

**Autor: Lic. Juan Matos Tamayo¹ UDG, Cuba / Tutores: Dr.C. Humberto E. Millán Vega, Universidad de Granma, Cuba
Dr. I. A. Ana María Tarquis Alfonso, UPM, España**

¹ Lic., Prof. e Inv., Universidad de Granma, Carretera Bayamo-Manzanillo km 17 ½, Peralejo. Bayamo, CP 85 100. Granma, Cuba. Facultad de Ciencias Técnicas. E-✉: jmatost@udg.co.cu

La Distribución del Tamaño del Agregado (DTA) es un atributo físico del suelo fundamental, con influencia dominante en muchas otras sus propiedades. Un análisis granulométrico combinado con el análisis fractal ha demostrado ser útil para obtener información precisa de la DTA. El objetivo de este trabajo fue evaluar la similitud o diferencia de las DTAs en parcelas de un campo experimental aplicando varios sistemas de labranza y que pertenece a la misma clase textural utilizando parámetros fractales. El experimento de campo consistió en cuatro tratamientos de labranza y tres sistemas de cultivo consecutivos. Se llevó a cabo con nueve repeticiones para cada tratamiento de labranza y de cultivos en un Fluvisol que presenta una textura franco arcillosa. Los tratamientos de labranza fueron: labranza convencional (T1), labranza mínima con multiarado y grada de discos (T2), labranza mínima con fresadora y subsolador (T3) y arado de vertedera con gradas de discos (T4), mientras que los cultivos eran de papa (*Solanum tuberosum* L.); boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Con el fin de caracterizar algunas de las propiedades del suelo a lo largo de los tres cultivos, fueron medidas la densidad aparente, la porosidad total, el módulo de ruptura (MR) y la impedancia mecánica (RP), en tres profundidades diferentes (0-10, 10-20 y 20-30 cm). El análisis de la distribución tamaño agregado en una columna de tamices entre 0,25 y 10 mm de diámetro, en suelo seco y en suelo húmedo a límite de retracción (LR) fue utilizado para estimar las dimensiones fractales de fragmentación en las dos etapas de humedad

para cada muestra, para fragmentación parcial y total, D_r y D respectivamente. En nuestro caso, el límite de retracción del suelo es de 120 g kg^{-1} . Respecto a los parámetros fractales D_r y D mostró que la distribución fractal es un modelo adecuado para los DTA obtenidos por análisis granulométrico en un rango de escalas de 150 a 25 mm de diámetro, obteniendo en todos los casos R^2 superiores a 0,95. Los resultados mostraron que los tratamientos de labranza tuvieron un efecto significativo sobre los parámetros de la fragmentación fractal estimados en LR del suelo, por otra parte no fue significativo entre los cultivos estudiados. Entre los cuatro sistemas de labranza, T2 muestra una mejor sostenibilidad de la estructura del suelo y, al mismo tiempo da el rendimiento del cultivo más alto. Respecto a los parámetros físicos, se encontró una relación lineal entre la RM y RP y es estimada en dos profundidades diferentes del suelo. Aunque estos experimentos se desarrollaron bajo condiciones de producción de cultivos en el municipio de Yara (Granma, Cuba), la metodología se puede aplicar a diferentes condiciones de campo y de cultivos para ampliar la interpretación de estos parámetros fractales.

Efecto de tres sistemas de labranza en las propiedades físicas y en el consumo energético para el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) en un *Vertisol*

Autor: Ing. Yosvel Enrique Olivet Rodríguez², UDG, Cuba
Tutores: Dr. I. A. Víctor Sánchez-Girón Renedo, UPM, España
Dr.C. Bejamín Gabriel Gaskin Espinosa, Universidad de Granma, Cuba

² Ing., Prof. e Inv., Universidad de Granma, Carretera Bayamo-Manzanillo km 17 ½, Peralejo. Bayamo, CP 85 100. Granma, Cuba. Facultad de Ciencias Técnicas. E-✉: yolivetr@udg.co.cu

La superficie dedicada al cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) en la provincia de Granma, Cuba, representa en la actualidad el 4% de la superficie total plantada de este cultivo en toda la isla (65×10^3 ha). El tabaco es muy exigente en laboreo, ya que en los sistemas tradicionales de producción se llegan a dar hasta ocho labores diferentes antes de proceder con el trasplante del cultivo. Este laboreo tan intensivo deteriora las propiedades físicas del suelo hasta el punto de que llegan a afectar de forma negativa a los rendimientos de las cosechas. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar dos sistemas de laboreo alternativos al tradicional que mejoren las condiciones de un suelo vértico de textura franco-arcillosa, reduzcan las labores para preparar el terreno de asiento y aumenten el rendimiento de las cosechas. Los tratamientos que se consideraron fueron el sistema de laboreo tradicional, T1, que consistió en dar hasta un total de cuatro labores con el arado de discos y la grada de discos; el sistema de labranza reducida, T2, en el que se dieron dos labores utilizando el Multiarado y la grada de discos; y el sistema de labranza reducida, T3, en el que también se dieron dos labores pero utilizando el escarificador y la grada de discos. Con los dos sistemas de laboreo reducido se alcanzaron las mejores condiciones físicas del suelo, las cuales se tradujeron en los valores más bajos de la densidad aparente, los mayores contenidos de humedad, la mayor porosidad y la menor resistencia a la penetración. El mayor diámetro de los agregados del suelo en el perfil labrado se obtuvo con el tratamiento de laboreo que comprende el uso del escarificador y la grada de discos, T3, favoreciendo con ello un mayor contenido de humedad del suelo. Este sistema de laboreo, T3, proporcionó los mayores rendimientos del cultivo ($2,26 \text{ t ha}^{-1}$) al ser el tratamiento con el que se consiguió el mayor número de hojas por planta. Desde el punto de vista energético, T3 proporcionó la mayor relación energética y la mayor eficiencia energética, con valores de 2,01 y 1,01, respectivamente, superando en un 30% y en un 59% a los obtenidos con T1. El mayor consumo de energía entrante, y por tanto las mayores emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, se obtuvieron con T1, mientras que el menor consumo de combustible y las menores emisiones de dióxido de carbono fueron las de T3, que resultó ser el tratamiento más sostenible.