



SUELO Y AGUA
SOIL AND WATER

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador

Hydraulic evaluation of subfoliar sprinkler irrigation system in banana (Musa paradisiaca) in San José 2 ranch, Los Ríos province, Ecuador

M.Sc. Oscar Caicedo Camposano^I, Dr.C. Carlos Balmaseda Espinosa^{II}, M.Sc. Jaime Proaño Saraguro^{III}

^I Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.

^{II} Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.

^{III} Universidad Agraria del Ecuador.

RESUMEN. Se realizó la evaluación de un sistema de riego por aspersión subfoliar en el cultivo del banano, con el objetivo de valorar su comportamiento hidráulico. Se estudiaron tres presiones de trabajo de los aspersores en cinco módulos del sistema. Los indicadores evaluados fueron: presiones al inicio y final de los laterales de riego, caudales en esos mismos puntos, coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución y área regada adecuadamente. Los resultados indican que la variación de la presión sobre pasa el 20%, mientras que en los caudales supera el 10%. Se comprobó que altos coeficientes de uniformidad no significan la mayor área regada adecuadamente. Las tres presiones de trabajo de los aspersores estudiadas garantizan altos coeficientes de uniformidad del riego, sin embargo, si lo que se quiere es alcanzar la mayor área adecuadamente regada se debe trabajar a 310,26 kPa.

Palabras clave: riego por aspersión, uniformidad, presión de trabajo.

ABSTRACT. In order to assess subfoliar sprinkler irrigation quality, the hydraulic evaluation of the sprinkler irrigation system in banana farm was carried out at three different pressures in five modules of the system. The evaluated indicators were: pressures to the beginning and final of the lateral, flows in those same points, coefficient of uniformity of Christiansen, distribution uniformity and area irrigated appropriately. The results show that the variation of the pressure surpass 20%, while in the flows it overcomes 10%. It was proven that high coefficients of uniformity do not mean the biggest area irrigated appropriately. The three pressures of work evaluated guarantee high coefficients of uniformity, however, if what is wanted is to reach the biggest appropriately irrigated area it should be worked to 310,26 kPa.

Keywords: Sprinkler Irrigation; Uniformity; Pressure Head.

INTRODUCCIÓN

El riego por aspersión tuvo su origen a principios del siglo XX, en sus inicios alrededor de los años 30 fue muy costoso. Tiempo después el costo de los sistemas de riego por aspersión se redujo gracias a la aparición de los aspersores, el aligeramiento del peso de las tuberías de acero, así como la incorporación de acoples rápidos para la unión de las tuberías. Estas circunstancias provocaron un ascenso en el uso de este método a escala mundial y en una extensa gama de cultivos.

En la década de 1950 se produjo otro gran avance en la tecnología de este método de riego con la fabricación de las tuberías de aluminio, el desarrollo de los aspersores, y una mejora en las estaciones de bombeo, lo que originó una nueva expansión de la aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión han evolucionado de una forma muy rápida, mejorando la eficiencia de aplicación de agua con una amplia automatización, la cual reduce ampliamente las necesidades de mano de obra.

Cerca del 10% de las áreas con riego en el mundo son por aspersión, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados, con altos costos de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones que se introducen mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, de topografía, de cultivos y climas (Tarjuelo, 2005).

En la provincia Los Ríos, Ecuador, el banano es uno de los cultivos de mayor importancia económica, por lo que requiere de grandes inversiones de infraestructura entre ellas la de riego; de las 637.000 ha de suelos agrícolas, 55.040 ha están sembradas con banano, las mismas que en su mayoría poseen riego por aspersión subfoliar y en menor cantidad riego con aspersores de alta carga, los conocidos “gran cañón”. La aspersión subfoliar como técnica de regadío más adecuada al cultivo del banano es reportada por especialistas de otros países de Latinoamérica (Rodríguez *et al.*, 2007; Guzmán Gutiérrez, 2010¹).

En el diseño e instalación de sistemas de riego por aspersión existe un factor que influye relevantemente en su costo y operación, este es el uso de métodos empíricos que realiza el personal de algunas casas comerciales al momento de calcular: potencia de la bomba, caudales, diámetros de tuberías, pérdidas de carga y programación de riego; sin que el productor bananero conozca que su sistema de riego podría llegar a ser subutilizado o sobreutilizado.

En el accionar diario la intervención de los ingenieros o especialistas en trabajos de cálculos y diseños de riego se muestran en menos proporción que el que se adjudica a algunas casas comerciales, cuyo proceder es empírico y sin garantías de que el trabajo solicitado esté hecho bajo parámetros científicos y técnicos que aseguren una eficiente uniformidad de distribución del agua y precautelen así un excelente funcionamiento de los sistemas de riego desde un punto de vista económico y de buen uso del agua en labor de riego.

La eficiencia del riego por aspersión no pasa sólo por una buena aplicación del agua, sino también por un correcto diseño, es decir, en la selección adecuada de sus principales componentes que incluyen las tuberías, aspersores y accesorios (Holzapfel *et al.*, 2007). Estos autores plantean que en la elección de los aspersores no basta con considerar la velocidad de aplicación, tomando como base la velocidad de infiltración del suelo y su patrón de distribución, debido a que se omiten ciertos antecedentes como son los costos de operación e implementación, que muchas veces pueden ser una variable decisiva al momento de elegir entre varias alternativas de sistemas de riego.

La evaluación del funcionamiento hidráulico y la calidad del riego en sistemas de aspersión a partir de la influencia que puede tener la presión de operación sobre la uniformidad del riego ha sido abordado por varios autores en las más diversas condiciones edafoclimáticas y fitotécnicas (Ortiz *et al.*, 2010; Yacoubi *et al.*, 2012; Faria *et al.*, 2012; MohammadPour zarandi *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2013; Tomásik y Jobbágy, 2013; Zhang Lin *et al.*, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento hidráulico del riego por aspersión subfoliar en plantaciones de banano con el aspersor más empleado en la región por las casas comerciales y para las presiones de operación que comúnmente se emplean en la mayoría de los sistemas, para ello se estudiaron los indicadores de desempeño del riego: coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución, área adecuadamente regada y eficiencia de aplicación.

El estudio de los indicadores que influyen en la calidad de aplicación del riego por aspersión en banano servirán para corregir con criterio técnico errores que se vienen cometiendo desde hace tiempo en la provisión de agua para este cultivo a causa de los métodos empíricos de diseño y operación que recomiendan muchas casas comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la finca “San José 2” de la compañía ODORISIO, ubicada al norte del cantón Babahoyo en las coordenadas UTM 662270, 9811604 del Datum PSD 56, y una altura de 8 metros sobre el nivel del mar. La Finca tiene una superficie de 47,16 hectáreas, se encuentra cultivada en su totalidad con banano. El marco de siembra es de 2,7 m por 3,0 m, con lo cual da una densidad de población de 1220 plantas por hectárea.

El riego se realiza por aspersión subfoliar con un sistema cuyos parámetros generales son:

- Pozo de Ø 355 mm, 150 m de profundidad y caudal de 81,9 L.s⁻¹.
- Tubería de succión de Ø 250 mm.
- Bomba de presión con potencia de 111,85 kW.
- Motor a combustión con potencia de 186,42 kW.
- Tubería de impulsión de Ø 250 mm.
- Tubería principal de Ø 250mm, Ø 200 mm y Ø 160 mm.
- Tubería secundaria de Ø 200 mm, Ø 160 mm y Ø 110 mm.
- Tubería porta aspersores de Ø 25 mm.
- Total de aspersores 2.335.
- Espaciamento entre aspersores 12 m y entre laterales 14 m.
- Consumo de combustible aproximado de 18,9 L de diesel/hora.

La programación del riego de la finca establece regar a dosis e intervalos fijos por etapa. A partir de la disminución de las precipitaciones a principios de mayo y hasta diciembre se aplica una lámina de riego de 4 mm cada día.

El sistema opera en 10 turnados diarios generalmente, lo que hace que trabajen entre 235 y 250 aspersores simultáneamente; es decir, que se abren de cuatro a cinco válvulas según el turnado, ya que todos los sectores de riego no tienen igual superficie.

En la investigación se empleó un diseño completamente al azar (DCA), para evaluar el desempeño hidráulico del sistema de riego a tres presiones que constituyeron los tratamientos, se valoraron cinco repeticiones (Figura) que estuvieron compuestas por 16 aspersores cada una:

- I. 241,31 kPa (35 PSI),
- II. 275,79 kPa (40 PSI)
- III. 310 kPa (45 PSI).

¹ GUZMÁN GUTIERREZ, S.M.: Evaluación de la productividad del agua en el cultivo de banano (*Musa spp*) para la región del Magdalena por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo (Kc), 82pp., Tesis (en opción al Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2010.

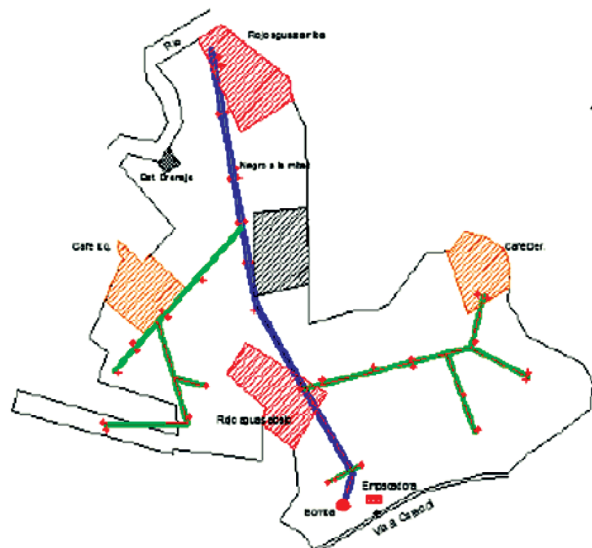


FIGURA. Croquis con ubicación de los cinco módulos de riego evaluados (tratamientos).

El tipo de aspersor utilizado fue SENNINGER 3012² con boquilla #9 (9/64) color gris. La metodología de evaluación fue la propuesta por Merriam y Keller (1978) y Silva et al. (2004).

Para la comparación de medias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan al 95% de confianza. Las fuentes de variación y los grados de libertad del análisis de varianza aparecen en la Tabla 1. El procesamiento estadístico se realizó con el software InfoSTAT (<http://www.infostat.com.ar/>).

TABLA 1. Parámetros para el análisis de varianza

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	
Tratamientos	t-1	2
Error experimental	(rt-1)- (t-1)	12
Total	rt-1	14

Indicadores evaluados:

- Caudal descargado por los aspersores.
- Diferencia de presión entre el primer y último aspersor de cada módulo.
- Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).
- Coeficiente de Uniformidad de Distribución (UD).
- Área regada adecuadamente (ARA).

Indicadores de desempeño hidráulico del riego

Los indicadores de desempeño para cada tratamiento estudiado en esta investigación, se determinaron por el modelo matemático propuesto (Silva *et al.*, 2004) utilizando la rutina Solver que se activa en la hoja de cálculo Microsoft Excel, que permitió representar distintos perfiles de distribución de agua utilizando un mayor número de parámetros de ajustes.

$$X=X_n + (X_m + X_n) (1-a^n)^m$$

donde:

- a*: Representa la fracción del área acumulada;
- X*: Lámina de agua o caudal aplicado;
- X_m*: Lámina o caudal máximo de agua aplicado;
- X_n*: Lámina o caudal mínimo de agua aplicado;
- m* y *n*: Parámetros de ajuste.

La variable puede ser explícitamente determinada con la siguiente expresión:

$$a = \left[1 - \left(\frac{X - X_n}{X_m - X_n} \right)^{1/m} \right]^{1/n}$$

La descarga de los aspersores evaluados se midió en dos ocasiones durante la evaluación para cada tratamiento y réplica. Esos valores se emplearon en la determinación del caudal promedio. Se midió la presión del grupo de bombeo y de los aspersores de los módulos implicados en el ensayo en cada tratamiento con manómetros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se observa que ninguno de los cinco módulos evaluados (constituyen las repeticiones estudiadas) cumple las condiciones de diseño de tuberías laterales, las cuales indican que la variación máxima de presión entre el primer y el último aspersor debe ser ≤ 20%, para que la diferencia en los caudales descargados, en esos mismos puntos, sea ≤ 10% (Martin *et al.*, 2007). Estos autores plantean esas condiciones para obtener eficiencias de aplicación altas con el mínimo diámetro de las tuberías. Lo antes explicado corrobora la hipótesis inicial de esta investigación sobre el funcionamiento hidráulico defectuoso del sistema de riego evaluado, quizás provocado por un excesivo número de aspersores en los laterales.

TABLA 2. Variaciones promedio de presiones y caudales en los módulos estudiados

Módulos (repeticiones)	Variación de presiones (%)	Variación de caudales (%)
1	26	17
2	26	17
3	22	9
4	23	14
5	24	13

² La mención de marcas comerciales de los aspersores, instrumentos o materiales específicos obedece únicamente a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos por la dirección de la revista, la que tampoco se responsabiliza con los criterios emitidos con relación a productos de determinada firma comercial.

Las deficiencias en el funcionamiento hidráulico del sistema de riego se ponen de manifiesto al comparar los caudales observados con los nominales que aparecen en los catálogos del fabricante para las presiones estudiadas. En ninguno de los tres tratamientos las descargas reales superan el 81,4% del gasto nominal (Tabla 3). Es de suponer que la causa de esta situación son las variaciones de presión mencionadas en el párrafo anterior, lo que se sustenta en que “un aspersor funciona mejor cuando la presión disponible está dentro de los límites especificados por el fabricante” (Santos Pereira *et al.*, 2010).

En la Tabla 3 se presentan los valores medios de los indicadores recomendados cuando el objetivo de la investigación es identificar la calidad del riego de los sistemas (Tarjuelo, 2005), los cuales fueron medidos en cada tratamiento. El coeficiente de

uniformidad de Christiansen (CUC) alcanzó valores por encima del 95% en todos los tratamientos, aun así existen diferencias significativas entre los dos primeros y el tercero. Es conveniente señalar que el empleo de este coeficiente como criterio para el diseño en sistemas de riego por debajo del follaje de las plantas (como es el caso estudiado) ha sido puesto en duda, debido a la intersección que hacen las plantas del chorro emitido por los aspersores (Boss, 1980; Boss y Wolters, 1990).

En la Tabla 4 se exponen criterios para clasificar la calidad del riego en sistemas de aspersión a partir del coeficiente de uniformidad³. De acuerdo con esos criterios la calidad del riego es muy buena. Más adelante se verá la contradicción con otro indicador estudiado.

TABLA 3. Indicadores de calidad del riego por tratamiento

Tratamientos	Caudal observado (L.hora ⁻¹)	Caudal nominal (L.hora ⁻¹)	% entregado del nominal	CUC (%)	UD _{25%} (%)	ARA (%)
I	614,84	755,24	81,4	97,21 ^a	96,01 ^a	0,4461 ^b
II	643,76	807,41	79,7	96,85 ^a	95,80 ^a	0,4409 ^b
III	680,21	857,30	79,3	95,87 ^b	93,64 ^b	0,5421 ^a
CV (%)	6,97			0,51	1,43	14,84

TABLA 4. Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad (adaptado de SIAR Castilla-La Mancha, 2003)

CUC (%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
85 – 90	Buena
80 – 85	Aceptable
< 85	Inaceptable

La uniformidad de distribución para el 25% del área menos regada (UD_{25%}) tiene la misma tendencia que el CUC, sus valores son altos, hay más de dos unidades porcentuales entre los tratamientos I y III. La UD_{25%} caracteriza el sistema de riego e indica el valor límite que puede ser alcanzado por la eficiencia de aplicación, siendo esta última la que depende del manejo del riego y las limitaciones impuestas al sistema (Santos Pereira *et al.*, 2010).

De acuerdo con los dos indicadores analizados el funcionamiento del sistema es bueno, sin embargo, son contradictorios con los valores de área regada adecuadamente (ARA). En esta variable el tratamiento III es significativamente diferente a los otros dos, superándolos en más de 10%. De manera que, desde el punto de vista de la uniformidad en la distribución del riego se puede afirmar que el sistema funciona adecuadamente, sin

embargo, puede tratarse de aplicaciones escasas que no cubren el déficit de humedad en el suelo (Tarjuelo, 2005).

La contradicción entre los valores de uniformidad y el ARA pudieran estar dados porque en la técnica de riego de aspersión subfoliar, como la que se aplica en el banano, se crea un efecto de apantallamiento del chorro de agua del aspersor, que causa una distribución de la lluvia diferente a cuando se riega sin esos obstáculos (Rodríguez *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

- El sistema tiene deficiencias en su diseño que repercuten en el funcionamiento, ya que las variaciones de presión y caudal, son mayores que las admitidas como aceptables según los fundamentos de la hidráulica de tuberías, por lo que se impone una revisión de su diseño en aras de mejorar su operación.
- Que un sistema de riego tenga valores de CUC y UD_{25%} por encima de 95% y 93% respectivamente, no garantiza que la lámina aplicada este humedeciendo adecuadamente la profundidad requerida por el cultivo y por tanto esté bien regada.
- Las tres presiones de trabajo de los aspersores estudiadas garantizan altos coeficientes de uniformidad del riego, sin embargo, si lo que se quiere es alcanzar la mayor área adecuadamente regada se debe trabajar a 310,26 kPa.

³ SIAR CASTILLA-LA MANCHA: “Resultados del SIAR en la campaña de riego 2002”, CREA-Universidad de Castilla-La Mancha, ser. Hoja Informativa, (6): 8, marzo de 2003.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSS, M.G.: "Irrigation efficiency at crop production level", *ICID Bulletin*, ISSN: 0300-2810, Vol. 29 (2): 18-26, 1980.
- BOSS, M.G.; WOLTERS, W.: "Water changes and irrigation efficiencies", *Irrigation and Drainage Systems*, ISSN: 1573-0654, Vol. 4 (3): 267-278, 1990.
- FARIA, L.C.; BESKOW, S.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H.F.E. de: "Modelagem dos efeitos do vento na uniformidade da irrigação por aspersão: aspersores de tamanho médio" [en línea], *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, DOI-10.1590/S1415-43662012000200002, Vol. 16 (2): 133-141, fevereiro de 2012.
- HOLZAPFEL, E.A.; PARDO, X.M.; DA S. PAZ, V.P.; RODRIGUES, A.; ORREGO, X.C.; LÓPEZ, M.A.: "Análisis técnico-económico para selección de aspersores", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, Vol. 11 (6): 557-563, 2007.
- MARTIN, D.L.; HEERMANN, D.F.; MADISON, M.: "Chapter 15. Hydraulics of Sprinkler and Microirrigation Systems", *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 2nd edition ed., ISBN: 1-892769-64-6, pp. 532-556, Ed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Nebraska, USA, 2007.
- MARTINS, C.L.; BUSATO, C.; SILVA, S.F. da; RODRIGUES, W.N.; REIS, E.F. dos: "Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação no sul do Estado do Espírito Santo", *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, ISSN: 1982-8470, Vol. 7 (2): 236-241, 4 de setembro de 2013.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J.: *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management*, Ed. Utah State University, 271pp., ISBN: 631.7.M568b, Logan, UT, USA, 1978.
- MOHAMMADPOUR ZARANDI, M.E.; HEYDARI, N.; ROSTAMPOUR, S.: "An empirical method to measure the relative efficiency of irrigation methods in agricultural industry", [en línea] *Management Science Letters*, ISSN: 19239335, 19239343, DOI-10.5267/j.msl.2011.08.011, Vol. 2 (1): 279-284, 1 de enero de 2012.
- ORTÍZ, J.N.; DE JUAN, J.A.; TARJUELO, J.M.: "Analysis of water application uniformity from a centre pivot irrigator and its effect on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield", [en línea] *Biosystems Engineering*, ISSN: 1537-5110, DOI-10.1016/j.biosystemseng.2009.12.007, Vol. 105 (3): 367-379, marzo de 2010.
- RODRIGUEZ, M.; REY, R.; TORRALBA, V.; PUIG, O.; ACEVEDO, R.: "Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 «pruebas de laboratorio»", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, Vol. 16 (1): 86-88, 2007.
- SANTOS PEREIRA, L.; DE JUAN VALERO, J.A.; TARJUELO MARTÍN-BENITO, J.M.: *El Riego y sus Tecnologías*, 269pp., Ed. CREA-UCLM, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha, 1a Edición en castellano ed., ISBN: 13:978-84-692-9979-1, Albacete, España, 2010.
- SILVA, E.M. da; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A. de; RODRIGUES, L.N.: "A mathematical model for evaluating irrigation systems performance" [en línea], *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, ISSN: 0100-204X, DOI-10.1590/S0100-204X2004000800003, Vol. 39 (8): 741-748, agosto de 2004.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Ediciones Mundi Prensa, vol. 3a edición, ISBN: 84-8476-225-4, Madrid, Barcelona, México, 2005.
- TOMÁSIK, L.; JOBBÁGY, J.: "Optimization of Irrigation Spray Distribution in the Term of its Uniformity", *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, ISSN: 1804-1930, 2: 103-109, 2013.
- YACOUBI, S.; ZAYANI, K.; SLATNI, A.; PLAYÁN, E.: "Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia" [en línea], *Engineering*, ISSN: 1947-3931, 1947-394X, DOI-10.4236/eng.2012.410087, Vol. 04 (10): 682-691, 2012.
- ZHANG LIN; MERKLEY, G.; PINTHONG, K.: "Assessing whole-field sprinkler irrigation application uniformity.", [en línea] *Irrigation Science*, ISSN: 0342-7188, DOI-http://dx.doi.org/10.1007/s00271-011-0294-0, Vol. 31 (2): 87-105, 2013.
- ZHAO, W.; LI, J.; LI, Y.: "Modeling sprinkler efficiency with consideration of microclimate modification effects", [en línea] *Agricultural and Forest Meteorology*, ISSN: 0168-1923, DOI-10.1016/j.agrformet.2012.03.019, 161: 116-122, 15 de agosto de 2012.

Recibido: 15 de febrero de 2014.

Aprobado: 22 de septiembre de 2014.

Publicado: 28 de diciembre de 2014.

Oscar Caicedo Camposano, Docente investigador de la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Correo electrónico: jquint007@hotmail.com.

Programa de Investigación en Ingeniería Agrícola

Se realizan investigaciones en áreas de la Ingeniería Agrícola y Agroindustrial que plantean soluciones a problemas sectoriales o regionales de impacto nacional.

Líneas de investigación:

- Geohidrología
- Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola
- Sistemas y tecnologías para la mecanización
- Ingeniería y tecnología de alimentos

Se cuenta actualmente con máquinas para la cosecha del maíz, frijol, transplantadoras de piña, reventadora de amaranto, cosechadora de jamaica, cosechadora de cacahuate, sembradoras de precisión de diferentes tipos y capacidades.

Coordinar con:

Ing. Marco A. Rojas Martínez

Director del

Dpto. de Ing. Mecánica Agrícola

Tel.: (595) 2 1500 ext. 5719

Dpto. de Irrigación

Tel.: (595) 2 1500 ext. 5690

**"Marcando el rumbo
de la Ingeniería
Agrícola en México,
en el Tercer Milenio"**

**Universidad
Autónoma
Chapingo**

