

# Desempeño de Implementos de Labranza en Términos de Consumo de Energía y Calidad de Trabajo

**Martín Cadena-Zapata\***, **Tomás Gaytán-Muñiz**

Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

\*Autor responsable, e-mail: martincadena@att.net.mx

**Alejandro Zermeño-González**

Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

---

*Abstract . Performance evaluation of four tillage implements in terms of energy consumption and work quality. The evaluation of technological performance of multriplough, vibrocultivator, (vertical tillage) compared to disc plough and discs harrow (local conventional system), was carried out looking at the quality of work and energy consumption of these implements when tilling the soil. The experiment was established in a clay soil, using a random blocks statistical design a with six treatments and three replications. Assessing the performance of the configuration tractor - implement, it was found that the vibrocultivator and the disc harrow had the biggest capacity, less fuel consumption per worked area, as well as less power requirement, so these treatments are statistically different to those of disc plough and multriplough. When looking at the quality and energy required for operation of the implements it was determined that the disc harrow treatment has a significant difference with that of harrowing after plough, and that the multriplough produced the biggest aggregates and the vibrocultivator the smallest ones. The energetic index and the unit strength from the treatments of disc plough and multriplough have a significant difference with all the others, the energetic index and unit strength from the disc plough was higher in a 32 % and 25.5 % respectively compared with the figures from the multriplough. The geometry, cutting intensity, and soil manipulation influence the difference of the unit strength among implements.*

**Key words:** tillage, tests of implements, energetic index of machine operations.

**Resumen.** Se efectuó la evaluación del desempeño tecnológico del multiarado, y del vibrocultivador, (ambos pertenecientes a un sistema de labranza vertical) para comparar resultados tecnológicos con arado de discos y rastra de discos (labores convencionales en el estado de Coahuila), a partir de la calidad y consumo de energía que los implementos desarrollan al labrar el suelo. El experimento se estableció en un suelo arcilloso, en un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. En el desempeño de la configuración tractor-implemento se encontró que los tratamientos con vibrocultivador y rastra tienen una mayor capacidad teórica, un menor consumo de combustible por área, así como un menor requerimiento de potencia, por lo que estadísticamente son diferentes a los tratamientos de arado y multiarado. En la calidad y energía de la operación de los implementos se determinó que el tratamiento de rastra supera significativamente al de rastra después de arado; este último presentó un incremento en la densidad en vez de una disminución. El multiarado dejó los agregados más grandes y el vibrocultivador los más pequeños. También se encontró que en el índice energético y el esfuerzo unitario de los tratamientos de arado de discos y multiarado existe diferencia con el resto de los tratamientos; asimismo, el arado de discos supera al multiarado en un 32 y 25.5 % con relación al índice energético y esfuerzo unitario, respectivamente. La diferencia del esfuerzo de cada implemento la influyen su forma geométrica, la intensidad del corte y la manipulación que hacen del suelo.

**Palabras clave:** labranza, pruebas de Implementos, índice energético de labores con maquinaria.

## Introducción

En el estado de Coahuila más del 97 % de la superficie se considera semidesierto; la precipitación media anual es de 398 mm (INEGI, 2002); pese a esta deficiencia, se siembra en 43,112 ha; sorgo forrajero en 28,231 ha, avena forrajera en 16,040 ha, frijol en 12,438 ha, y trigo en 7,799 ha. El rendimiento promedio de maíz es de  $0.65 \text{ t ha}^{-1}$ , el de sorgo forrajero de  $27 \text{ t ha}^{-1}$ , el de avena forrajera de  $25.4 \text{ t ha}^{-1}$ , el de frijol  $0.36 \text{ t ha}^{-1}$  y el de trigo  $2.42 \text{ t ha}^{-1}$  (INEGI, 2001).

Además de bajos rendimientos por la escasa disponibilidad de agua, los agricultores de las zonas áridas enfrentan problemas por los altos costos del sistema de producción, especialmente con relación a las labores de preparación de suelos. Como evidencia de lo anterior, se cuantificó el seguimiento de actividades en el ejido "El Porvenir", municipio de General Cepeda, Coah., durante el ciclo 2001. En esta área, cuando se utiliza el tractor, se realiza un paso de arado y uno de rastra, posteriormente se siembra manualmente, y para tapar la semilla, se da otro paso de rastra, todo lo cual tiene un costo de \$700 pesos. Los mejores rendimientos en promedio son de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  y en condiciones muy desfavorables de  $0.657 \text{ t ha}^{-1}$ , por lo que el costo de la labranza podría ubicarse, en el mejor de los casos, entre el 35 y 40 % del valor de la producción e, incluso, llegar hasta el 100 % (Cadena *et al.*, 2001).

Para reducir los costos de producción es posible implementar un sistema de preparación de suelos que utilice menos energía y, a la vez, considerando la poca precipitación, que permita captar y almacenar humedad en el perfil de suelo, tal y como ocurre con la labranza vertical (Hoogmoed, 1994).

Para captar humedad, en un sistema de labranza vertical se utilizan los arados de cincel, cuyo diseño permite penetrar suelos firmes y romper capas compactas. Con este sistema, la superficie queda roturada, lo que permite atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de los arados de cincel y los subsoladores, ocurre cuando el ángulo de elevación es de  $20^\circ$  entre la superficie de la herramienta y la horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

Dada la necesidad de aumentar eficiencia y reducir costos en las labores de preparación del suelo en los sistemas de producción de las zonas semiáridas, el principal objetivo de esta investigación fue la evaluación del desempeño del multiarado y vibrocultivador como

componentes de un sistema alternativo de labranza reducida; para las condiciones de los sistemas de producción en el estado de Coahuila, se hizo una comparación técnica en referencia al desempeño de las operaciones del sistema convencional regional de preparación con arado y rastra de discos.

La hipótesis establecida fue que los resultados tecnológicos de los implementos de labranza vertical son similares, e incluso mejores que los de los implementos convencionales, y que requieren de menor energía.

## Materiales y Métodos

Esta investigación se desarrolló en el campo experimental de Buenavista, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y consistió en evaluar los trabajos que se realizan en suelos de la región y la energía que utilizan tanto los implementos agrícolas del sistema convencional, como otros de un sistema alternativo de labranza vertical.

Para el análisis estadístico de la información se estableció el experimento utilizando un diseño experimental de bloques al azar con los siguientes seis tratamientos: arado de discos, multiarado, vibrocultivador con rodillo, vibrocultivador sin rodillo, rastra después de arado y rastra. El trabajo se realizó en tres repeticiones en unidades experimentales de  $8 \times 50 \text{ m}$ , tamaño adecuado para la operación de la maquinaria.

### Características generales del equipo agrícola

El equipo que se empleó en este trabajo fue: Tractor New Holland 5010 WD, con una potencia de 52.5 kW (70 hp) al volante; tractor John Deere 2300, con una potencia de 63 kW (84 hp) al volante; arado de tres discos New Holland; vibrocultivador New Holland de siete cinceles; multiarado New Holland de dos cuerpos, y rastra de discos John Deere de 20 discos. Los implementos utilizados son del tipo integral.

### Caracterización del sitio de evaluación

Antes de establecer los tratamientos, se realizó una caracterización del terreno a través de las siguientes mediciones: porcentaje de las fracciones minerales (arcilla, limo, arena) que determinan la textura, por ciento de humedad con base a peso, densidad aparente ( $\text{gr cm}^{-3}$ ), porcentaje de cobertura vegetal, índice de rugosidad (cm) y resistencia a la penetración ( $\text{kg cm}^{-2}$ ). Estas mediciones se hicieron para determinar las condiciones en las que se encontraba antes de establecer el experimento.

## Desempeño de la configuración tractor - implemento

Para determinar el comportamiento del tractor con cada uno de los implementos (tratamientos), se registró: ancho de trabajo (m), profundidad de trabajo (m), velocidad de trabajo (km h<sup>-1</sup>), porcentaje de patinaje de las ruedas de tracción, consumo de combustible (L ha<sup>-1</sup>), fuerza de tiro requerido (kN) por el implemento. Con los valores promedio de ancho y velocidad de trabajo se determinó la capacidad teórica de campo de los implementos.

## Calidad y energía en la operación de los implementos

Para evaluar la calidad de los resultados de las labores, se analizaron las siguientes variables: densidad del suelo después de la labor (gr cm<sup>-3</sup>), diámetro medio de agregados (mm) e índice de rugosidad del suelo (cm). Asimismo se incluyeron el índice energético (ml m<sup>-3</sup>) para el manejo de suelo y esfuerzo unitario a la falla (k Pa), lo que permitió comparar los implementos, en términos de energía, por volumen de suelo labrado.

## Resultados y Discusión

De la caracterización inicial del terreno se obtuvieron los siguientes datos: el suelo se clasificó como arcilloso, por tener un 50.7 % de arcilla, 39.3 % de limo y 10% de arena; su humedad inicial fue de 7.7 % y su densidad aparente en el perfil, fue de 1.36 gr cm<sup>-3</sup>

Después de las labores, para cada variable se realizó un análisis de varianza y la comparación de medias al 0.01

mediante la prueba de diferencia mínima significativa y los resultados se reportan en el Cuadro 1.

El ancho de trabajo es fundamental para la medición de la capacidad de trabajo e influye en el criterio de selección del equipo por parte de los productores; los resultados muestran que existe una diferencia entre los tratamientos con relación al ancho de trabajo, de los cuales el mejor es el del vibrocultivador, seguido de la rastra en barbecho, rastra, multiarado y, por último, el arado de discos. Esta diferencia radica, principalmente, en el diseño y forma de los implementos. No existe diferencia entre los tratamientos respecto a la profundidad de trabajo de los implementos, de los cuales el arado y el multiarado son los que tuvieron mayor penetración relativa, que se vio limitada por lo seco del terreno. La penetración depende de la resistencia que presente el suelo, que a medida que se seca, reduce la profundidad de trabajo de los implementos, como encontró Cadena (1999) en un trabajo similar, en condiciones tropicales.

Con relación al desempeño caracterizado principalmente por la capacidad teórica, consumo de combustible y requerimientos de potencia, se observa que los tratamientos con vibrocultivador y rastra tienen una mayor capacidad teórica, un menor consumo de combustible por área, así como un menor requerimiento de potencia, por lo que estadísticamente son diferentes a los tratamientos de arado y multiarado; esta diferencia se debe a que la capacidad teórica y consumo de combustible están directamente relacionados con el ancho de trabajo del implemento, y la potencia, con la fuerza que demandan los implementos al momento de laborar.

**Cuadro 1.** Desempeño de la configuración de tractor – implemento

Implemento	Ancho de trabajo (m)	Profundidad de trabajo (m)	Velocidad (km h <sup>-1</sup> )	Patinaje (%)	Capacidad teórica (ha h <sup>-1</sup> )	Consumo de Comb. (L ha <sup>-1</sup> )	Fuerza de tiro (kN)	Potencia (kW)
Arado de discos	0.68 (E)	0.152 (A)	4.45 (BC)	1.28 (D)	0.31(C)	20.00 (A)	14.86 (B)	23.32 (B)
Multiarado	1.65 (D)	0.149(A)	4.10 (C)	8.17 (AB)	0.67 (B)	12.41 (B)	23.03 (A)	30.80 (A)
Vibro con rodillo	2.28 (AB)	0.118(A)	5.51 (A)	3.56 (CD)	1.34 (A)	8.59 (CD)	3.95 (D)	12.26 (C)
Vibro sin rodillo	2.39 (A)	0.14 (A)	5.34 (AB)	1.93 (CD)	1.27 (A)	11.29 (BC)	4.41 (D)	12.47 (C)
Rastra desp. arado	1.97 (C)	0.13 (A)	5.24 (AB)	9.51 (A)	1.03 (A)	8.00 (D)	7.11 (C)	16.51 (C)
Rastra	2.09 (BC)	0.10 (A)	5.32 (AB)	5.18 (BC)	1.11 (A)	10.21 (BCD)	5.74 (CD)	14.38 (C)

**Nota:** Los valores con letras diferentes en la misma columna indican que existe estadísticamente diferencia significativa al 0.01.

### Calidad y energía de la operación de los implementos

El objetivo más importante de las labores primarias es el aumento de la porosidad del suelo. Un indicador de este factor es el cambio en la densidad aparente. En la Figura 1 se observan los cambios de la densidad en cada tratamiento. El tratamiento de rastra muestra el valor más bajo de densidad. Es importante mencionar que debido a

En este último se presentó un incremento en la densidad, en vez de una disminución; la explicación de este hecho es que se partió de una densidad relativamente baja y que, por consiguiente, con el paso del implemento se desintegraron los agregados grandes, a la vez se ayudó al reacomodo de agregados según su tamaño, lo que incrementó en un 15.56 % la densidad final.

A partir de la medición del micro-relieve se calcula el

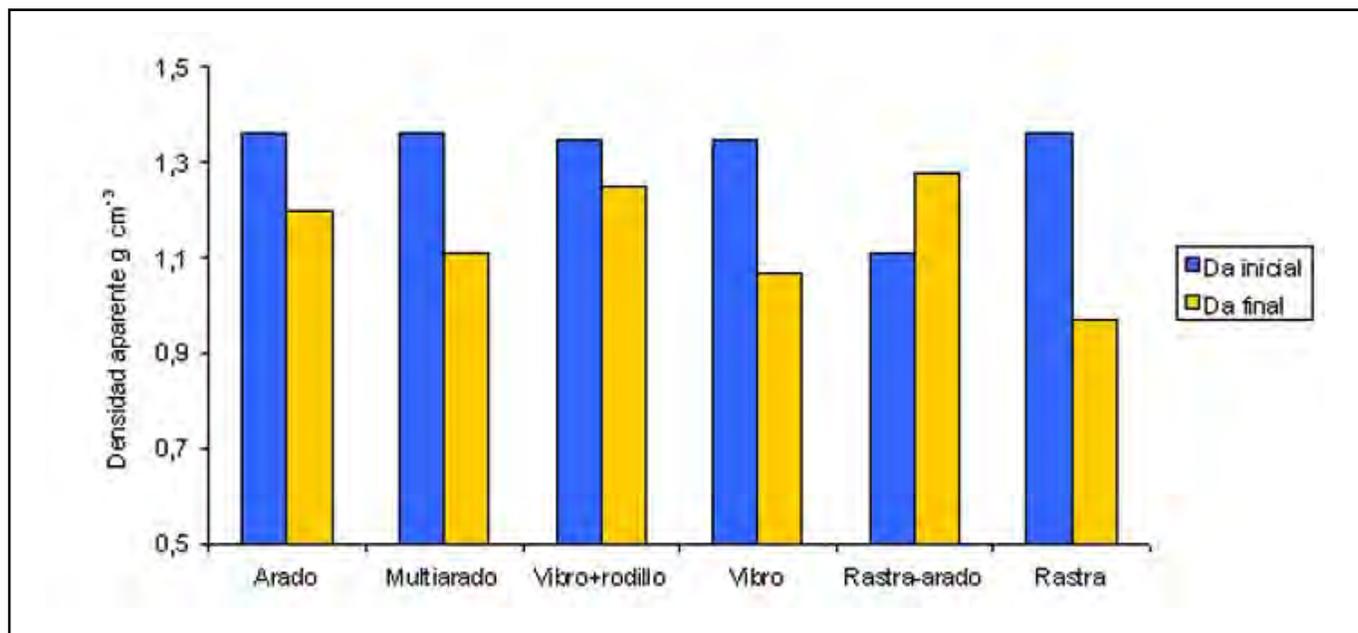


Figura 1. Comportamiento de la densidad aparente para cada tratamiento

este implemento, la reducción de densidad se presentó en un estrato desde la superficie, hasta una profundidad de 10 cm, como se muestra en el Cuadro 2.

Por otro lado, se observa que el tratamiento de rastra difiere significativamente del de rastra después de arado.

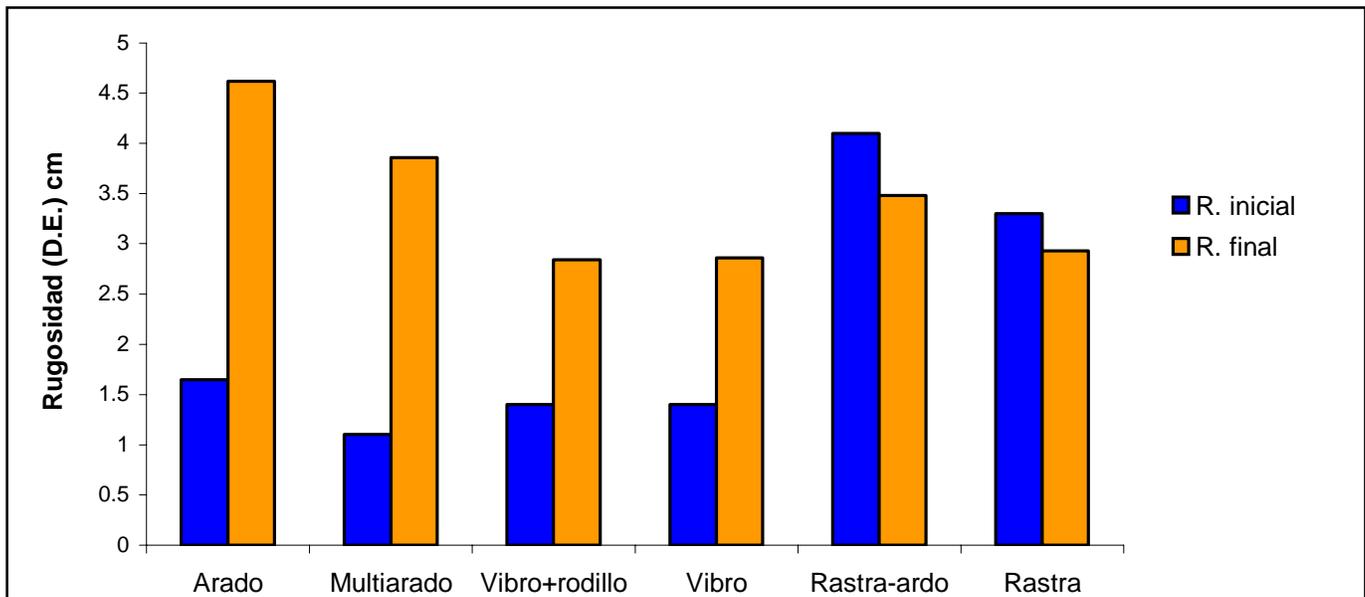
índice de rugosidad que es otra variable de la calidad del resultado de las labores, sobre todo cuando se requiere crear condiciones en la superficie para evitar escurrimiento y aumentar la infiltración.

El índice de rugosidad de los tratamientos arado y

Cuadro 2. Calidad y energía de la operación de los implementos

Implemento	Indice energético (ml m <sup>-3</sup> )	Esfuerzo unitario (kPa)	Rugosidad (D.E. cm)	Tamaño de agregados (mm)	Reducción de densidad (%)
Arado	13.29 (A)	143.27 (A)	4.62 (A)	19.97 ( B)	-11.11 (B)
Multiarado	9.05 (AB)	106.67 (A)	3.86 (AB)	53.24 (A)	-18.22 (BC)
Vibro con rodillo	7.65 (B)	14.58 (B)	2.84 (C)	13.93 (B)	-7.35 (B)
Vibro sin rodillo	7.98 (B)	12.93 (B)	2.86 (BC)	9.03 (B)	-20.37 (BC)
Rastra desp. arado	5.80 (B)	18.78 (B)	3.48 (BC)	10.81 (B)	15.56 (A)
Rastra	9.29 (AB)	26.73 (B)	2.93 (BC)	16.33 (B)	-28.43 (C)

Nota: Los valores con letras diferentes en la misma columna indica que existe estadísticamente diferencia significativa al 0.01.



**Figura 2.** Rugosidad del suelo antes y después de cada tratamiento

multiarado fueron de 4.6 y 3.8 cm, respectivamente, como se puede apreciar en la Figura 2. A pesar de que el multiarado dejó los agregados más grandes y estadísticamente existe diferencia significativa entre estos dos tratamientos, la rugosidad entre ambos no difiere estadísticamente, como se aprecia en el Cuadro 2. Esta igualdad en rugosidad, a pesar de la diferencia de tamaño de agregados, se debe principalmente al patrón de trabajo que presenta cada implemento. Mientras que el arado de discos corta e invierte parcialmente el suelo, el multiarado rompe y fragmenta el suelo al levantarlo con las aletas, pero sin invertirlo, con lo que logra reducir la densidad en un 7 % más que el arado de discos.

En la Figura 2 se aprecia que, al contrario de los demás, en los tratamientos con rastra se presentó una reducción de la rugosidad, ocasionada principalmente porque se partió de una rugosidad alta, consecuencia de la labor del arado; a partir de esta condición se siguió con la acción de desmenuzamiento de los agregados y la nivelación del suelo que realiza la labor de rastreo.

En el Cuadro 2 se aprecia que, con relación al índice energético y esfuerzo unitario de los tratamientos con arado de discos y multiarado, existe diferencia respecto al resto de los tratamientos; asimismo, que el arado de discos supera al multiarado en un 32 y un 25.5 % en relación al índice energético y al esfuerzo unitario, respectivamente. La diferencia entre implementos con relación al esfuerzo se ve influenciada por la forma geométrica, la intensidad de corte y la manipulación del suelo que éstos realizan; similares resultados se obtuvieron en el trabajo de Hoogmoed (1994). También el consumo de energía se acentúa conforme se incrementa la profundidad de la labranza Buckingham (1984).

En resumen, se observa que el área de contacto con relación a la dirección de avance del implemento, manipulación del suelo y profundidad de trabajo de los implementos, así como la densidad del suelo influye significativamente tanto en el esfuerzo unitario como en el índice de disgregación energética. El tratamiento de rastra después de arado presenta un índice energético y un esfuerzo unitario relativamente bajos, debido a que el suelo se encontraba suelto al momento de aplicar el tratamiento de rastra.

## Conclusiones

Con base en los datos que se obtuvieron en campo durante la evaluación de los implementos y considerando los objetivos e hipótesis planteados en este trabajo se puede concluir lo siguiente:

El multiarado representa una alternativa adecuada para la preparación primaria del suelo especialmente la de las zonas semiáridas, por lo cual puede utilizarse en lugar del arado de discos, ya que realiza la misma labor que éste, pero con una mejor calidad y menor consumo de energía; esto se observa al reducir la densidad aparente, con la ventaja de una mayor capacidad teórica y ancho de trabajo, así como un menor consumo de combustible por área, menor índice de disturbación energética y menor esfuerzo unitario.

La preparación primaria de suelos puede realizarse con similares resultados tecnológicos de resultados en índice de rugosidad tanto con el multigrado como con el arado de discos, ambos dejan muy similar la superficie del suelo, aunque el costo de energía es menor con el multiarado.

Para realizar la operación de labranza secundaria del suelo, el vibrocultivador puede remplazar la rastra, ya que

realiza una mejor reducción de la densidad aparente y deja un tamaño de agregados óptimos para la cama de siembra; además, comparado con la labor de rastreo convencional, este resultado tecnológico se alcanza con una menor inversión de energía.

Los implementos de labranza vertical, desde el punto de vista tecnológico, y de la reducción de consumo de energía para las zonas semiáridas, representan una opción de menor costo para la preparación de suelos

### Literatura Citada

Buckingham F. 1984. Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo. Deere & Company Service Training, Moline, Illinois. E. U. A.

Cadena Z. M. 1999. Soil Workability as a basis for advice on tillage activities. Wageningen Agricultural University. The Netherlands, pp. 29 – 33.

Cadena Z. M., Zertuche A. F. A., Báez A. O., Gaytán M. T. 2001. Identificación de necesidades de tecnología de mecanización agrícola en las zonas áridas y semiáridas del noreste de México. Informe técnico No. 1. Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Hoogmoed W. 1994. Soil Tillage. Agronomics applications in tropical regions lecture notes J 150 – 2207. Soil Tillage Department, Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

INEGI. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática 2001. Anuario Estadístico del Estado de Coahuila. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, pp. 331 – 341.

\_\_\_\_\_ 2002. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, p. 358.



### Subdirección de Postgrado Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Buenavista Saltillo, Coah.. México. CP 25315

Tel. (844) 411 03 33 y 34 Fax (844) 411 02 28 [postgrado@uaaan.mx](mailto:postgrado@uaaan.mx)

### Programa de Postgrado en Fitomejoramiento

#### Presentación

El Programa de Postgrado en Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se inició en agosto de 1971, ante la necesidad de contar con profesionistas capacitados al más alto nivel, para desarrollar actividades de investigación y docencia en el campo de las ciencias agrícolas.

El Postgrado en Fitomejoramiento de la UAAAN es, en la actualidad, una de las mejores alternativas para especializarse en las diferentes áreas del mejoramiento genético vegetal en México.

#### Objetivos

Formar profesionales de excelencia en el campo del mejoramiento genético de plantas, con un conocimiento científico y tecnológico al nivel de maestría y doctorado en ciencias, que les permita resolver problemas de producción e investigación agrícola, y enseñar en ciencias agrícolas.

#### Aspirantes

En su preparación, el estudiante diseña un programa de trabajo académico consistente en un proyecto de investigación y un plan de estudios bajo la asesoría y supervisión de su comité particular.

Al concluir sus estudios, el egresado contará con las herramientas conceptuales y metodológicas en diversos campos del Fitomejoramiento; con una comprensión sólida y amplia de los problemas de la agricultura moderna, y con la capacidad para resolverlos.

Cada aspirante es evaluado con base en su vocación, méritos académicos y profesionales y en su potencial para realizar estudios de postgrado.

Para permanecer en el programa, el estudiante debe cumplir con el requisito de valoración docente con un mínimo de ocho en cada uno de los cursos en que se inscriba incluyendo la investigación, así como con una residencia mínima de tres semestres para estudios de maestría y de cinco para los de doctorado.