

Síntesis y análisis del mecanismo principal de una máquina limpiadora de semillas pequeñas

MONTALBAN-GIL, Carlos Alan, VÁZQUEZ-MENDOZA, Iván, GUILLEN-DOMÍNGUEZ, Ramón Alberto, FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

C. Montalban, I. Vázquez, R. Guillen, E. Fitz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.
efitzr@gmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

Abstract

Cleaning of small seeds, such as chia or amaranth is a problem for small growers, since it is a task carried out manually. Furthermore, acquiring a machine for doing such task is not economically feasible, due to the low production volumes. For this reason, a design of a small seed cleaning machine for small growers is proposed. For designing this machine, an analytical synthesis of a four-bar linkage with rocker output was performed, achieving the required movement on the sieve for cleaning of the seeds. The main task of the design was the synthesis and analysis of the four-bar mechanism applying the vector loop representation of linkages for calculating the position, speed, acceleration and jerk of the output link. SOLIDWORKS and MatlabTM software were used in the design process. The resulting mechanism provided the movement and jerking required for cleaning the small seeds adequately.

1 Introducción

La producción de semillas pequeñas, tales como la chíá (*Salvia hispanica L.*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*), ocupa un lugar importante en el sector productivo agrícola en México, estimándose una superficie de más de 3100 hectáreas de producción de amaranto y 2720 hectáreas de chíá (COFUPRO-Fundación produce Tlaxcala, 2013). La producción es en superficies menores a 5 hectáreas y en promedio se siembran 2.52 ha en la zona de Puebla, Morelos y Tlaxcala lo que caracteriza a los productores como minifundistas, estos productores difícilmente son sujetos a crédito por parte de las instituciones financieras, por ello difícilmente están en condiciones de adquirir maquinaria en el mercado y que se adapte a sus volúmenes de producción (Ayala *et al.*, 2014).

En las diversas zonas donde se cultiva amaranto, la tecnología utilizada es tradicional, lo cual implica el uso limitado o nulo de maquinaria e insumos que permitan explotar el potencial del cultivo y poder incrementar la producción por unidad de área, debido básicamente a que en general es un cultivo de temporal con un manejo laborioso; además de que el empleo de mano de obra es elevado (Parra *et al.*, 2012; Ayala *et al.*, 2012).

El proceso de limpieza de las semillas es un factor determinante en el precio de venta. Ésta labor se realiza comúnmente de manera manual y requiere de mucho tiempo, energía y el resultado no siempre es efectivo. Esto aplica principalmente a productores pequeños, que no cuentan con la tecnología adecuada para realizar el proceso con una mayor eficiencia.

Las características físico-mecánicas de las semillas pequeñas, como el peso y el tamaño de las semillas, complican el proceso de separación de la semilla de otros materiales residuales, dado que éstas resultan ser muy volátiles y guardan gran cantidad de polvo y otros residuos al momento de la cosecha e incluso durante su limpieza, lo que ocasiona que esta última labor, resulte complicada e ineficiente. Esto tiene repercusión en la economía de los productores, ya que la semilla sale a la venta aun con residuos y provoca una caída en su precio.

Este proyecto surge como respuesta a satisfacer las necesidades de un usuario en particular, en este caso, el Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual realiza año con año la siembra de Chía y Amaranto. El volumen de producción es de aproximadamente 150 kg de chía y amaranto con lo que se obtiene una cantidad de semilla considerable. La limpieza de las semillas, se realiza tradicionalmente de forma manual.

El proceso de limpia de la chía consiste en desvarar la planta y “tallarla” a mano, posteriormente se pasa todo por una criba lo que la separa de las varas más grandes provocando que la chía quede con polvo más fino y otros residuos. La limpieza culmina soplando para retirar el polvo, lo que no sólo provoca una gran pérdida de semilla sino también resulta en riesgos para el trabajador, causando molestias en ojos y garganta. De manera similar la semilla de amaranto sólo se pasa por la criba en varias ocasiones. Con estos procesos de limpia, es inevitable la pérdida de semilla, por lo que al final de la limpieza se han perdido varios kilos. Dada esta problemática, se vuelve necesario mejorar la eficiencia en la limpia de chía y amaranto, con el objetivo tener una mejor calidad y presentación en las semillas. Además de facilitar la tarea y ofrecer mejores condiciones de salud a los operadores.

Como proyecto del curso de la asignatura Análisis y Síntesis de Mecanismos de la Carrera de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH, se planteó proponer una solución al problema de limpieza de semillas pequeñas al diseñar una máquina que se adecúe al volumen de producción de los pequeños productores.

1.1 Materiales y métodos

Para el diseño del mecanismo principal de la máquina limpiadora de semillas pequeñas se implementó la síntesis analítica de dos posiciones para un mecanismo de cuatro barras con salida de balancín de acuerdo a la metodología propuesta por Norton (2012). Con esta metodología se determinaron las dimensiones de cada uno de los eslabones del mecanismo, con lo cual se obtuvo el movimiento requerido en la criba donde se deposita el material a limpiar.

En el esquema del mecanismo de cuatro barras con salida de balancín (Figura 1), se muestra la configuración de los eslabones B1, B2, B3, B4 correspondientes al eslabón fijo, de salida, acoplador y motriz, respectivamente. El eslabón motriz y de salida, ambos tienen centro de rotación en O2 y O4, respectivamente.

El movimiento requerido de la criba (acoplada a B2), representado por la distancia del punto $P1-P2$ (Figura 2), determina directamente la dimensión del eslabón B4, el cual representa la mitad del recorrido $P1-P2$. El eslabón B2 con movimiento angular β (Figura 1.1), produce el movimiento necesario para “sacudir” la criba y lograr la limpieza de la semilla. La malla de la criba deja pasar la semilla, dejando el rastrojo en la parte superior para después ser enviado a un componente donde quedan todos los residuos.

Figura 1 Mecanismos de cuatro barras con salida de balancín (eslabón B2) en la posición: a) colineal cruzada y b) colineal abierta, de los eslabones motriz (B4) y acoplador (B3)

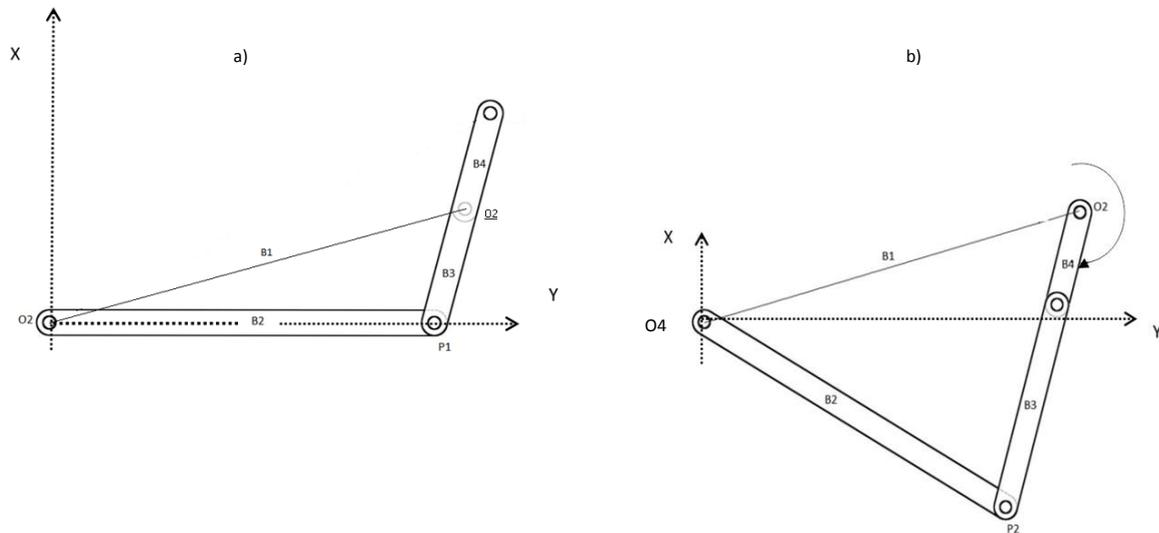
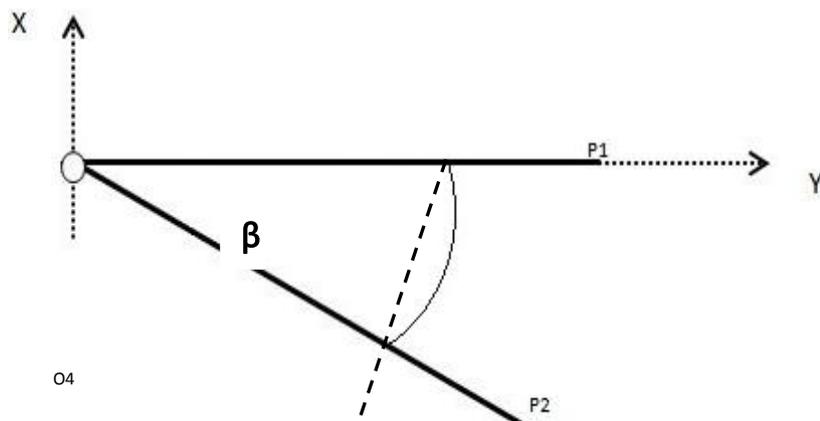


Figura 1.1 Movimiento angular del eslabón de salida (B2), donde se acopla la criba de limpieza



Para imitar el movimiento manual de sacudir la criba de limpieza se seleccionó un mecanismo que produjera una salida de balancín. El mecanismo más simple es uno de cuatro barras con proporción de eslabones que cumplan la condición Grashof y donde el eslabón fijo (B1) es uno de los adyacentes al eslabón más corto (B4), esto resulta en un mecanismo manivela-balancín.

Una vez que se sintetizó el mecanismo, se desarrolló el análisis de posición, velocidad, aceleración y sacudimiento, para cada uno de los eslabones del mecanismo. Para el análisis analítico se implementó el método de lazo vectorial (Figura 1.2).

Para el análisis cinemático del mecanismo se plantea el método analítico basado en la descomposición por diadas del mecanismo y su representación en lazo vectorial (Figura 1.2).

Las ecuaciones del modelo analítico se derivan a partir de la suma de vectores (que representan a cada uno de los eslabones) y por el método de lazo vectorial, resultando:

$$R1+R2-R3-R4 = 0$$

Usando la notación de Euler para cada vector y derivado respecto al tiempo, se obtienen las siguientes ecuaciones para posición, velocidad, aceleración y sacudimiento, respectivamente.

$$ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} - ce^{j\theta_3} - de^{j\theta_4} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}[ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} - ce^{j\theta_3} - de^{j\theta_4}] = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{d}{dt}[bje^{j\theta_2} \omega_2 - cje^{j\theta_3} \omega_3 - dje^{j\theta_4} \omega_4] = 0 \quad (1.2)$$

$$\frac{d}{dt}[bje^{j\theta_2} \alpha_2 - be^{j\theta_2} \omega_2^2 - cje^{j\theta_3} \alpha_3 + ce^{j\theta_3} \omega_3^2 - dje^{j\theta_4} \alpha_4 + de^{j\theta_4} \omega_4^2] = 0 \quad (1.3)$$

donde:

$a = B1$, $b = B2$, $c = B3$, $d = B4$, θ_1 , ω_1 , α_1 Son las longitudes de cada eslabón, posición angular, velocidad angular, aceleración angular y sacudimiento angular respectivamente. Los cuales son datos de entrada, adicionalmente se usara φ_2 después de desarrollar la ecuación de sacudimientos.

Al desarrollar las ecuaciones anteriores se pueden obtener distintas variables como:

$$\theta_2, \theta_3, \theta_4, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \quad (1.4)$$

Que representan la posición angular, la velocidad angular, la aceleración angular y sacudimientos de cada uno de los eslabones (donde el subíndice indica el número de eslabón). Al mismo tiempo se puede obtener la posición, velocidad, aceleración y sacudimientos lineales en los eslabones.

Las ecuaciones del modelo analítico se implementaron en un algoritmo de Matlab para analizar la cinemática del mecanismo en función del desplazamiento angular (ω_4) del eslabón motriz (B4). Con esto se logró poder analizar el comportamiento cinemático del mecanismo al reajustar cualquiera de las longitudes de los eslabones. Cabe mencionar, que B1 y θ_1 siempre son constantes, los demás parámetros B2, B3, B4, se pueden variar, y θ_2 , θ_3 , θ_4 dependerán de la posición del mecanismo.

Una vez determinado las longitudes de los eslabones del mecanismo que garantizaba el movimiento deseado, se implementó el diseño en el software de diseño paramétrico-3D, SOLIDWORKS (Figura 1.3), con el cual también se diseñaron el resto de los componentes de la máquina limpiadora.

Una vez definida la síntesis de tipo del mecanismo a utilizar, se analizaron los posibles diseños de la máquina, para poner a funcionar el mecanismo, se concluyó que la opción más viable sería usar una caja con planos inclinados en la cual la semilla pasara por una cribadora que realiza un movimiento tipo de vaivén, accionada por el mecanismo, en esta se filtra, separando así las partículas de rastrojo más grandes, posteriormente las semillas caerían en el plano inclinado donde aún quedan partículas finas no deseadas, las cuales son separadas con ayuda de un flujo de aire provisto por un ventilador, el cual termina el proceso de limpieza de la semilla.

Figura 1.2 Representación vectorial del diagrama cinemático del mecanismo de cuatro barras

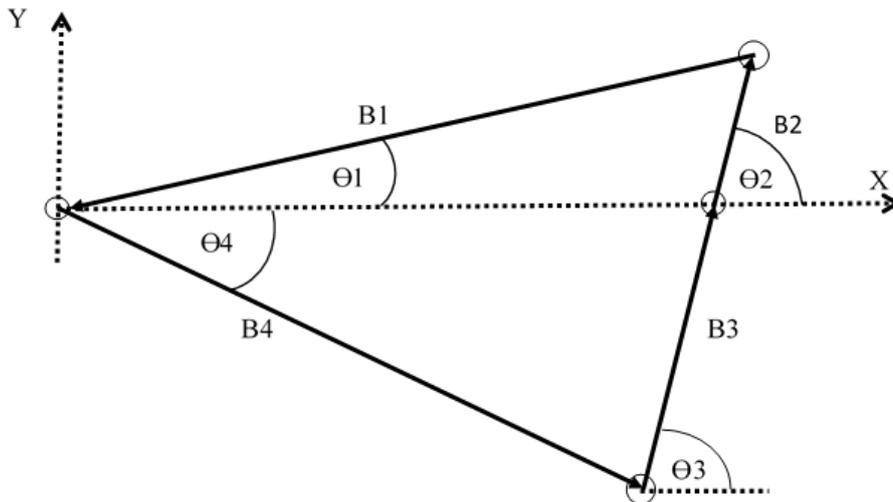
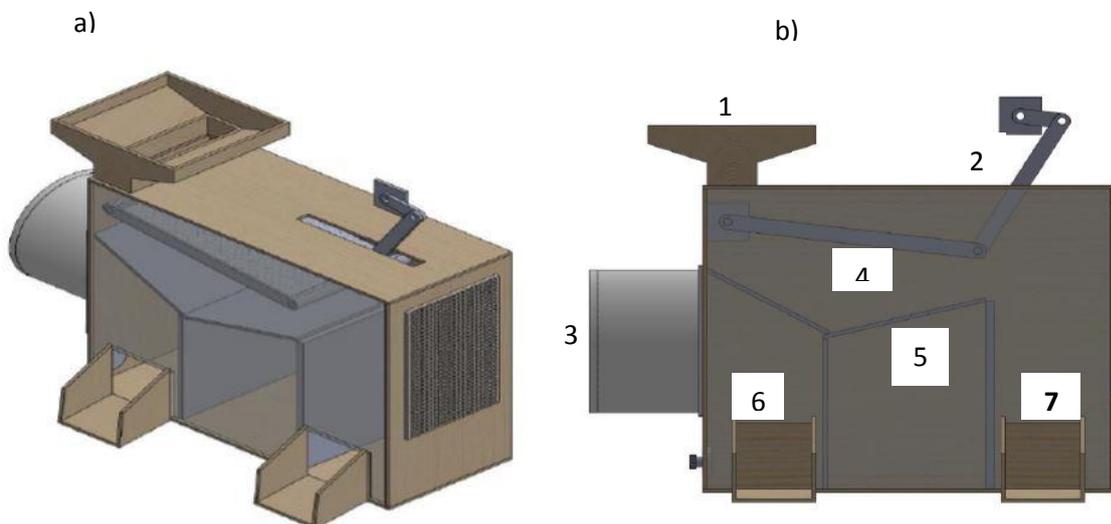


Figura 1.3 Diseño paramétrico-3D de componentes del mecanismo de la máquina



Las dimensiones del resto de los componentes de la máquina (Figura 1.4) se establecieron en relación a la cantidad de semillas que la máquina debía limpiar, al no ser una gran producción, se decidió no exceder de 50cm (largo) x 20cm (ancho) x 40cm (altura), ya que entre más grande fuera la máquina, mayores serían los costos de los materiales y del motor requerido para accionarla.

Figura 1.4 Prototipo de la máquina limpiadora. a) Vista isométrica y b) listado de componentes de la máquina: 1) Tolva de entrada de semillas, 2) Mecanismo, 3) Ventilador para flujo de aire, 4) Cribadora, 5) Plano inclinado, 6) Depósito de semilla limpia y 7) Depósito de rastrojo (basura)



1.2 Análisis y discusión de resultados

El análisis de la cinemática del mecanismo se centró principalmente en el punto P, en el rango de movilidad en sus posiciones límite P1-P2. Al igual que el eslabón de salida (B2).

Del resultado del análisis cinemático se observa la posición, la velocidad, la aceleración y el sacudimiento del eslabón (B2) y punto de interés (P), para cada instante de operación del mecanismo durante un ciclo completo (Figura 1.6). Se observa que no hay discontinuidades o cambios bruscos durante un ciclo de operación. Al no presentarse picos demasiado prolongados, significa que el mecanismo no tiene problemas de sacudimientos (cambios bruscos de aceleraciones).

Al observar la gráfica de posición del mecanismo (Figura 1.5) se puede constatar que cumple con los requerimientos establecidos dándonos una trayectoria específica con salida de balancín, en el segundo grupo de graficas (Figura 1.6) se puede observar que las gráficas del punto de interés (Punto P) son estables a lo largo de los ciclos lo que asegura que la maquina va a estar trabajando a un régimen constante sin cambios repentinos que afecten su desempeño y el sistema en general, sin embargo la maquina presenta también aceleraciones y sacudimientos discontinuos dentro del ciclo lo que consecuentemente podría afectar la aceleración del mecanismo sin embargo en los sacudimientos cumplen con la condición de inestabilidad necesaria para llevar a cabo su trabajo.

Existen aspectos que pueden ser mejorados en la maquina con la finalidad aumentar su rendimiento, especialmente en la criba y en el flujo de viento mismo que no fue estudiado y se requiere para determinar la potencia necesaria para realizar una limpieza correcta de las semillas de acuerdo con las características de ambas.

Figura 1.5 Trayectoria definida por el punto de interés P, en el rango de movilidad

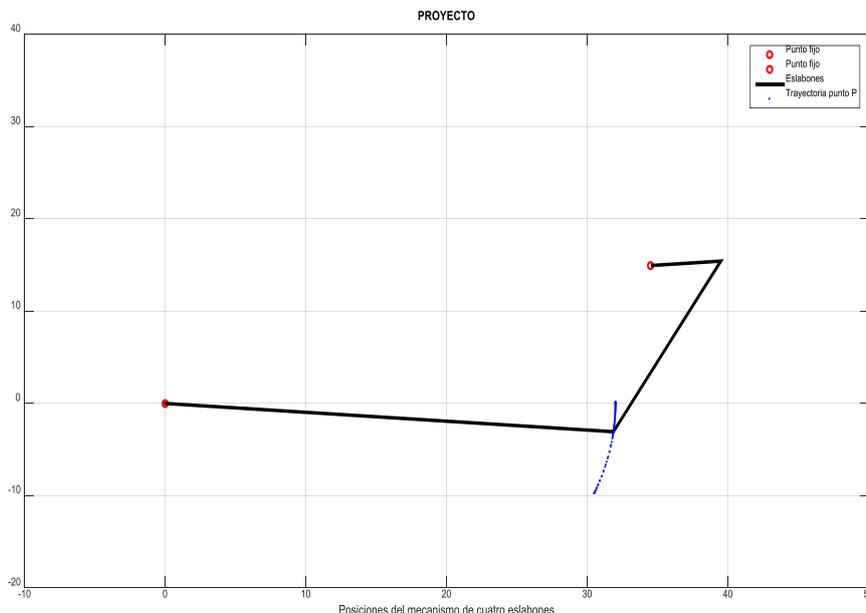
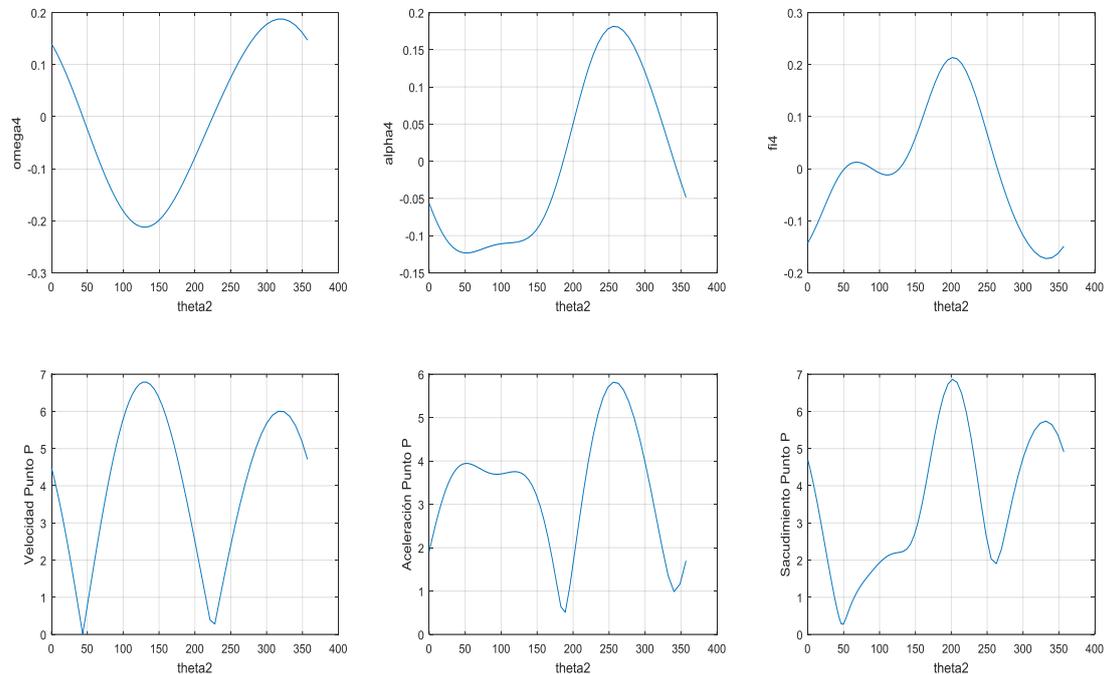


Figura 1.6 Diagramas de velocidad, aceleración y sacudimiento, angulares del eslabón de salida (B4) y sus respectivas velocidades, aceleraciones y sacudimientos lineales del punto de acoplamiento (P), en función del ángulo de rotación (θ_2) del eslabón de entrada (B2)



1.3 Conclusiones

Como resultado de la síntesis y análisis del mecanismo propuesto, se obtuvo un prototipo parcialmente funcional de la máquina. Dado la etapa preliminar del diseño de la máquina y el bajo presupuesto para el desarrollo del prototipo, se utilizaron materiales reciclados y de baja calidad, incluyendo componentes no adecuados. Esto resultó en desgaste rápido y atascamiento. Sin embargo se probó el concepto y en el corto tiempo un prototipo funcional.

1.4 Referencias

Ayala, G., A. V., P. Rivas-Vargas, L. Cotes-Espinoza, M. O., O., D. Escobedo-López, E. Espitia-Rangel. 2014. La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia Ergo Sum* 21(1): 47-54.

Ayala, G. A. V., D. Escobedo L. L. Cortés E. y E. Espitia-Rangel. 2012. El cultivo de amaranto en México, descripción de la cadena, implicaciones y retos, en E. Espitia-Rangel (ed.), *Amaranto: ciencia y tecnología* (pp. 315-330). Libro científico. Núm. 2. México: inifap/sinarefi.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Biodiversidad mexicana, Amaranto. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/amaranto.html> , [Consultado el día 10 de junio de 2015].

Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce (COFUPRO). 2013. “Agenda de innovación tecnológica Tlaxcala”.

http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/29/2013/agenda_innovacion_tecnologica/agenda_29-46-2013-05-1.pdf [Consultado el día 10 de junio de 2015].

Norton R. L. 2009. Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos, 4ª ed. McGraw-Hill /interamericana editores, S.A. de C.V. México D.F. 752 p.

Parra, C. F. I. y J. P. Délano F. 2012. Uso de batearías promotoras de crecimiento vegetal para aumentar la productividad de amaranto de grano, en E. Espitia-Rangel (ed.), Amaranto: ciencia y tecnología (pp. 113-127). Libro científico. Núm. 2. México: inifap/sinarefi.

Reyes C. L. 2014. “La chía, un cultivo rentable”, Panorama agropecuario. <http://panorama-agro.com/?p=5292> [Consultado el día 10 de junio de 2015].