

ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE DESGRANADO DE MAÍZ, A PARTIR DE 4 PARAMETROS BASADOS EN SOSTENIBILIDAD

Data de submissão: 07/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Jonatan Alí Ramos Rivera

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

María del Pilar Corona Lira.

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

Brandon Emmanuel Hernández Delgado

Impulsando un México Joven A.C.
Aguascalientes - Aguascalientes, México

bicimáquinas cómo posible alternativa para tecnificar procesos de postcosecha, con el fin de reducir los problemas productivos de la economía rural mexicana. Lo reportado aquí se centra en la tecnificación del desgranado de maíz en seco, tarea productiva presente en la gran mayoría de las comunidades agrarias mexicanas, y realizada usualmente por mujeres. La evaluación de viabilidad básica se planteó mediante un estudio comparativo de sostenibilidad entre bicimáquina, desgranado manual y sistemas mecánicos comerciales, tomando como base paramétrica las premisas de las dimensiones económica y ambiental del desarrollo sustentable/sostenible y de la tecnología apropiada según diversos autores. Los resultados obtenidos situaron a la bicimáquina en un rango de consumo energético y eficiencia productiva equiparable a un método mecanizado de alta eficiencia y en un rango de productividad que supera a los métodos manuales más empleados.

PALABRAS CLAVE: Sostenibilidad, Tecnología apropiada, Economía social y solidaria, Bicimáquinas.

RESUMEN: El presente trabajo tiene por propósito reportar los resultados de un estudio preliminar de viabilidad básica de

COMPARATIVE STUDY OF CORN SHELLING SYSTEMS, USING 4 SUSTAINABILITY BASED PARAMETERS

ABSTRACT: The purpose of this paper is to report the results of a preliminary basic feasibility study of bicycle-based machines as a possible alternative to technify post-harvest processes, in order to reduce the productive problems of the Mexican rural economy. What is reported here focuses on the modernization of corn shelling, a productive task that is present in the vast majority of agrarian communities in Mexico. The evaluation of basic feasibility was proposed through a comparative study between a bicycle-based machine, manual shelling methods and commercial mechanical systems, taking the premises of the economic and environmental dimensions of sustainable/sustainable development and appropriate technology according to various authors, as a parametric basis. The results obtained placed the bike-machine in a range of energy consumption and production efficiency comparable to a high-efficiency mechanized method and in a productivity range that exceeds the most commonly used manual methods.

KEYWORDS: Sustainability, Appropriate technology, Social and solidarity economy, Bicycle-based machines.

1 | INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XX y estas primeras décadas del siglo XXI, el florecimiento, masificación y auge del fenómeno de la globalización, ha conllevado una acelerada apertura del mercado mexicano y una llegada masiva de inversión extranjera, generando a su vez la llegada de avances tecnológicos y científicos a México; pero provocando en el proceso una desintegración entre la identidad social y productiva en los sectores medio y bajo de la población, que ha afectado principalmente al sector rural. Debido a que en México la formación de cadenas productivas integradas económicamente con el mercado mundial, predominantemente con el norteamericano, ha permitido a las urbes (regiones con capacidad de incorporar tecnologías) dar saltos enormes en cuanto a crecimiento y desarrollo, pero en contraste, ha generado una enorme brecha con las regiones rurales agrarias, las cuales están menos integradas a dicho esquema económico, cuya tendencia es un enfoque cada vez más centrado en la automatización y desarrollos tecnológicos para producción a escalas industriales; haciendo resentir en dichas comunidades una marcada desigualdad tecnológica que termina agudizan un dialelo de marginación (en términos productivos) en el que las comunidades rurales mexicanas llevan atrapadas varias décadas (Verhulst et al, 2017; CEDRSSA, 2018; CONEVAL, 2017; SAGARPA & FAO, 2014); caracterizado entre otras cosas por una marcada migración de las personas en edad laboral, que termina obliterando la capacidad de las comunidades de lograr estabilidad y bienestar social (Carton, 2009).

En este artículo se presentan los primeros resultados de la evaluación preliminar de viabilidad básica, de las bicimáquinas como alternativa para la tecnificación del entorno rural agrario mexicano, abordando el caso de estudio de la tecnificación de la tarea específica

del desgranado de maíz. La evaluación preliminar de dicha viabilidad básica se planteó con base a una comparativa de 4 parámetros (Productividad teórica, Costo, Eficiencia productiva y consumo de energía) entre bicimáquina, métodos de desgranado manual y sistemas comerciales a base de gasolina y/o electricidad que ejecuten la misma tarea. Para efectos de este artículo los alcances quedaron delimitados al desgranado del maíz, en primera instancia debido a que esta es una de las tareas productivas que se encuentra presentes en la mayoría de las comunidades agrarias mexicanas, y solo a los 4 parámetros mencionados. Estos parámetros se eligieron de forma cualitativa con base en las premisas de la dimensión económica y de la dimensión ambiental del desarrollo sustentable, así como de las características de la tecnología apropiada según autores como Teitel, Bowonder, Jéquier & Blanc, Wicklein, Akubue, Fisher y Murphy, entre otros (Blanco, 2018).

El artículo está estructurado de la siguiente manera: En las secciones 2 y 3, correspondientes a antecedentes y marco técnico (respectivamente), se abordan una serie de temas de interés que contextualizarán el propósito y metodología del trabajo; en la sección 3, se describen los objetivos del trabajo en particular, así como la metodología y datos cuantitativos de interés empleados en el mismo; la sección 4 “estudio comparativo”, se presentan los resultados arrojados por la comparativa de los parámetros establecidos entre los sistemas planteados; finalmente en la sección 5, se enuncian las conclusiones inherentes a los resultados obtenidos y a las observaciones recabadas a lo largo del trabajo.

2 | ANTECEDENTES

2.1 Tecnología apropiada

Hazeltine & Bull (2003) proponen la siguiente definición de tecnología apropiada (TA): “Cualquier objeto, proceso, idea o práctica que mejore la realización humana a través de la satisfacción de las necesidades humanas”; considerándose, además, que una tecnología es apropiada cuando es compatible con las condiciones culturales y económicas locales (es decir, los recursos humanos, materiales y culturales de la economía), y utiliza recursos materiales y energéticos disponibles localmente, con herramientas y procesos mantenidos y controlados operacionalmente por la población local”. Sin embargo, no existe una definición que desde la ontología formal denote concretamente lo que es una tecnología apropiada; pero un gran número de autores como Simón Teitel, Bowonder, Nicolas Jéquier & Gérard Blanc, Robert Wicklein, Anthony Akubue, Martin Fisher y Heather Murphy, entre otros, han acuñado a lo largo de los años una serie de criterios que delimitan las características distintivas que una tecnología apropiada debe cumplir para considerarse como tal (Blanco, 2018). Más allá de las variaciones en los criterios de los diversos autores, producto de las diferencias en el contexto sociocultural, histórico e historiográfico de estos, dichas características se enfocan más que nada en la noción de mejorar la sostenibilidad de una tecnología bajo los contextos particulares de los países en vías de desarrollo, y a grandes

rasgos han podido resumirse y agruparse a aspectos socioculturales, productivos, técnicos, de manufactura, de operación y mantenimiento, de mano de obra, medioambientales y económicos, tal cómo se ilustra en la Figura 1 (Blanco, 2018; Thomas, 2009).

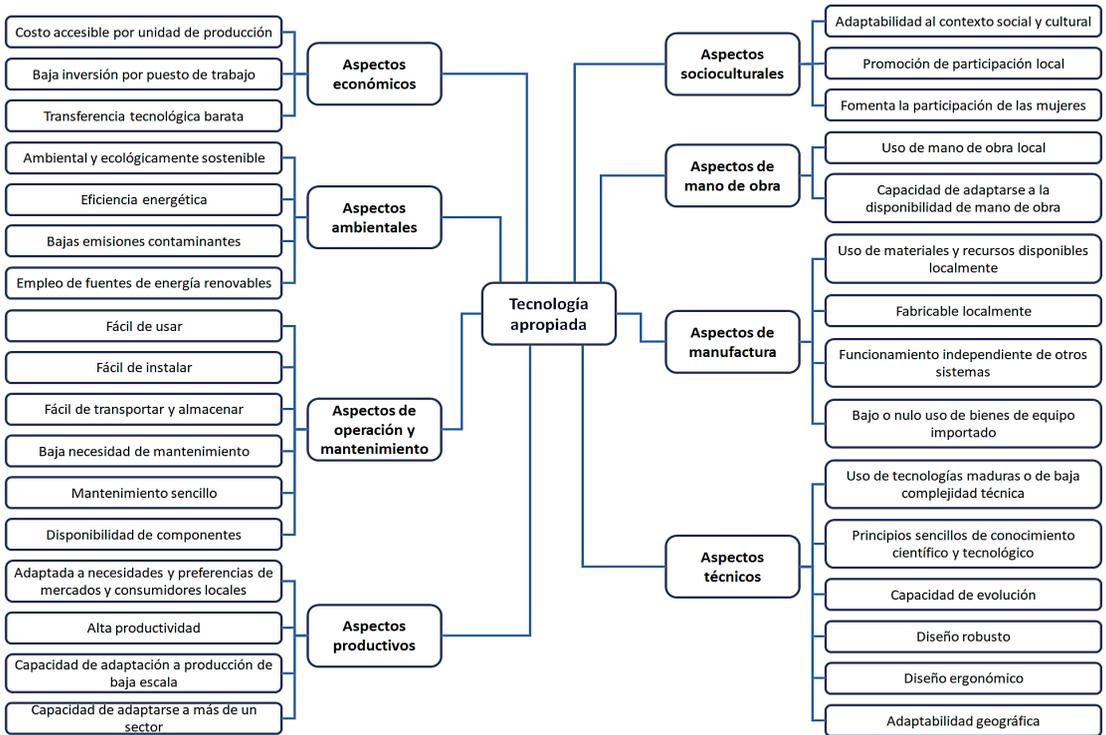


Figura 1 - Características de una tecnología apropiada.

Fuente: Blanco, 2018; Thomas, 2009

2.2 Economía Social Solidaria (ESS)

Según autores cómo García (2017) y Collín (2008), una definición sencilla de economía social y solidaria (ESS) describe este concepto como el conjunto de prácticas socioeconómicas colectivas e individuales, que priorizan la satisfacción de las necesidades y las aspiraciones de sus miembros y/u otras personas por encima del lucro, independientemente de si estas prácticas se realizan bajo esquemas formales o informales (Fraga, 2021). Sin embargo, según Contipelli & Nagao (2017), evidentemente esquemas cómo la economía social solidaria, en la realidad no actúan en un campo fuera del capitalismo y del mercado formal; por lo cual los emprendimientos y demás iniciativas bajo esquema social y solidario y paradigmas afines (economía circular, innovación social, economía colaborativa, economía del bien común), aunque representen modelos alternativos de desarrollo económico siempre tendrán puntos de contacto con la economía de mercado y por tanto no hay forma en que puedan romper definitivamente con el capitalismo.

2.3 Convergencia entre ta y ESS

Dicho lo anterior, de entre los puntos de convergencia que comparten la tecnología apropiada con la economía social y solidaria (y otros esquemas afines) resulta de particular interés el de “la escala o de nivel de producción”, dado que ambos conceptos se enfocan en la pequeña escala; considerando que las bases para solucionar a corto plazo problemas muy frecuentes en las comunidades en situación de pobreza como el desempleo, la escasez de recursos naturales y la degradación ambiental, se encuentran en la operación de pequeñas organizaciones como familias, pequeños grupos de comunidades y microempresas (Fraga, 2021). Decimos que resulta de interés, dado que las organizaciones de la economía social y solidaria que existen en México como cooperativas, comunidades y ejidos, en la práctica han adoptado este rasgo característico de ambos conceptos junto con el principio de solidaridad, tal cual menciona Fraga (2021).

2.4 Desarrollo sostenible / sustentable

El concepto de desarrollo sustentable se encuentra en constante evolución desde el surgimiento de su definición formal en 1987 a través del “Informe Brundtland”, sin embargo, según la Comisión Mundial del Medio Ambiente, puede enunciarse cómo: “El esquema de desarrollo encaminado a satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer Los fundamentos de un desarrollo sustentable, se cimantan dentro de 3 dimensiones principales (Figura 2):

- Social: Atiende al fortalecimiento de los aspectos relacionados con la calidad de vida de las poblaciones, tales como la identidad comunitaria, inclusión, estabilidad demográfica, derechos humanos y condiciones laborales, entre otros.
- Ambiental: Atiende al fortalecimiento de un equilibrio, en términos ecológicos, entre las actividades humanas y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas.
- Económica: Atiende al fortalecimiento de la rentabilidad y eficiencia con la que los humanos producen, transforman, distribuyen, intercambian y consumen, los recursos materiales y/o financieros con los que satisfacen sus necesidades.

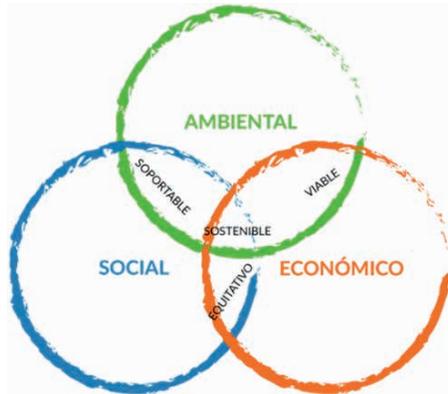


Figura 2 - Dimensiones del desarrollo sustentable.

Fuente: Lira, 2018

Cabe mencionar que, si bien es generalmente aceptado que los conceptos “desarrollo sustentable” y “desarrollo sostenible”, son etimológicamente equivalentes. A partir de diversa literatura (incluyendo el propio informe Brundtland), en un sentido más estricto se puede inferir que ambos conceptos difieren solo en el orden de importancia que cada uno de los 2 conceptos les otorga intrínsecamente a las 3 dimensiones, siendo que en el desarrollo sustentable prepondera la dimensión ambiental, mientras que en el desarrollo sostenible prepondera la dimensión económica, dicha relación se esquematiza en la Figura 3 (Barkin, 1998; Marten, 2001; Zarta, 2018).

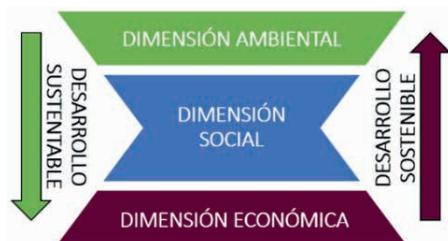


Figura 3 - Desarrollo sostenible y desarrollo sustentable.

Fuente: Barkin, 1998; Marten, 2001; Zarta, 2018

3 | MARCO TÉCNICO

3.1 Desgranado del maíz

Además del uso de utensilios, implementos y máquinas, existen una gran cantidad de técnicas y métodos para desgranar maíz, que pueden tener incluso variaciones dependiendo de la región de México a la que se haga alusión (International Labour Organization, 1984).

3.1.1 Métodos manuales

Método manual mediante pulgares: Este es el método más simple y tradicional para desgranar (Figura 4A); consiste en desprender los granos aplicando presión con los pulgares (Castelán & Vázquez, 2017).



Figura 4 – Desgranado a mano mediante: (A) pulgares; (B) fricción entre mazorcas.

Método manual mediante fricción de 2 mazorcas: Consiste en desprender los granos frotando 2 mazorcas, o bien una mazorca y un olote, entre sí (Figura 4B). Tiene casi las mismas ventajas y desventajas (Tabla 1) que el método manual mediante pulgares (Castelán & Vázquez, 2017); sin embargo, si bien es menos dañino para los dedos del trabajador, también es más fácil romper los granos al emplearlo, por lo que ofrece una integridad de grano un poco menor. Cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, la técnica manual general, consiste en combinar esta técnica con la de pulgares.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">● Alta precisión.● Alta integridad de grano.● Posibilidad de separar los granos en estado de descomposición durante desgrane.	<ul style="list-style-type: none">● Bajo rendimiento en relación con otros métodos.● Requiere mano de obra intensiva para grandes cosechas.● El rendimiento depende en gran medida de las características del maíz, así como de la experiencia y pericia del trabajador.

Tabla 1. – Características del desgranado manual

Método manual mediante utensilios (Piedra, olotera, tabla de grapas): Este método consiste en desprender los granos frotando las mazorcas contra piedras, o bien contra utensilios que usualmente manufacturan los propios trabajadores, tales como oloterías (Figura 5) o tablas incrustadas con grapas (Castelán & Vázquez, 2017).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Rendimiento alto en relación con métodos manuales tradicionales. ● Bajo costo de manufactura. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Solo se pueden usar adecuadamente cuando el maíz está lo suficientemente seco. ● La pericia y experiencia del trabajador son factor de influencia en la integridad del grano. ● Pueden producir daños en dedos, tales como cortaduras, golpes o machucones.

Tabla 2 – Características del desgranado manual mediante utensilios



Figura 5 – Desgranado mediante olotera.

3.1.2 Métodos mecanizados

Desgranado mediante implementos manuales: Existen algunos desgranadores manuales rotativos construidos mediante madera, piezas de fundición o bien perfilaría de acero (Castelán & Vázquez, 2017).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Menor esfuerzo. ● Menor tiempo en relación con otros métodos manuales. ● Buena integridad de grano después de la operación de desgranado. 	<ul style="list-style-type: none"> ● No se pueden adaptar a mazorcas que tengan una diferencia de tamaño muy grande. ● Conllevan riesgos ergonómicos a la larga, dado que no permiten al usuario colocarse en la postura correcta.

Tabla 3 – Características del desgranado mediante implementos manuales

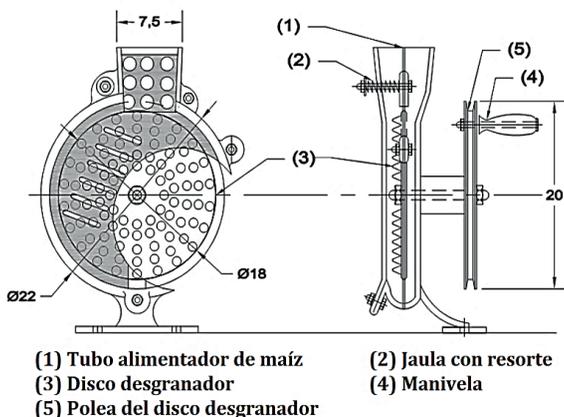


Figura 6 – Estructura usual de implemento manual.

Fuente: El Helew, 2017

Desgranado mediante máquinas manuales: Dentro de las desgranadoras sin motor, estas son de las de mayor rendimiento cantidad-tiempo, funcionan mediante una manivela, replicando los principios de los implementos manuales. Su manufactura, comienza a asemejarse a las máquinas de motor, aunque solo en volumen de material empleado y dimensiones, dado que no se acercan al rendimiento por hora de estas. Actualmente es difícil encontrar quien las manufacture y las comercialice en México.

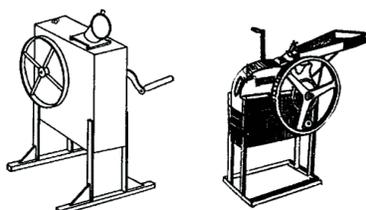


Figura 7 – Máquina desgranadora manual.

Fuente: International Labour Organization, 1984.

Desgranado mediante máquinas eléctricas y a gasolina: Estas máquinas son de las de mayor rendimiento, normalmente funcionan con motores eléctricos (1 a 7 hp), o bien con motores (generalmente OHV) a gasolina (4 a 16 hp), la potencia aumenta en función de la cantidad de cosecha; su capacidad oscila entre 700 y 5000 kg/h; siendo las máquinas eléctricas más eficientes (Castelán & Vázquez, 2017).



Figura 8 – Máquina desgranadora mecánica: (A) a gasolina; (B) eléctrica.

Fuente: <https://www.bomeri.com>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Alto rendimiento horario. ● Separan el maíz del tamo. ● Requiere de poca mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Solo son factibles económicamente para cosechas superiores a 50 toneladas. ● El costo de estas máquinas es elevado. ● Alto riesgo de descomposturas por exposición a factores medioambientales. ● No existe una separación de los granos dañados por humedad o que se encuentran infestados por insectos o gusanos. ● En algunos casos el olote se tritura o fractura y se combina con los granos y su separación es difícil. ● Alto riesgo de intoxicaciones por CO₂ si no se da mantenimiento adecuado.

Tabla 4 – Características del desgranado mediante máquinas eléctricas y a gasolina.

3.2 Energía de propulsión humana

La energía motriz humana, es una de las fuentes de energía renovable de uso más frecuentes. Curiosamente la potencia humana y su aprovechamiento es un área poco investigada en relación con otras energías renovables.

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Bahaley et al.	2012	60 - 90
Gradjean	1988	75
Fuller y Aye	2012	75 - 150
Avallone et al.	2007	50 - 150
Tiwari et al.	2011	60
Gilmore	2008	65 - 90

Tabla 5 – Potencia mecánica humana en pedaleo.

Entre los autores que han estudiado y estimado la potencia motriz humana y su

aprovechamiento mecánico, existen discrepancias, en la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos por algunos autores, respecto a la potencia mecánica disponible, para mecanismos tipo bicicleta, en intervalos de pedaleo superiores a una hora ejecutados por adultos promedio (Ruiz Rivas et. al, 2017). Análogamente, diversos autores estudiaron la potencia mecánica que un humano puede desarrollar empleando los brazos (Tabla 6) y todo el cuerpo (Tabla 7).

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Gilmore	2008	15 - 30
Kennedy y Rogers	1985	30
Fraenkel	1986	30

Tabla 6 – Potencia mecánica humana empleando solo los brazos

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Mack y Haslegrave	1990	10 - 55
Kennedy y Rogers	1985	40 - 50

Tabla 7 – Potencia mecánica humana empleando solo brazos y cuerpo

4 I DESCRIPCIÓN DE OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

4.1 Objetivos

Evaluación preliminar de la viabilidad de un sistema de desgranado de maíz a base de bicimáquinas.

- Dimensión económica: Viabilidad preliminar en términos de productividad, costo y eficiencia productiva.
- Dimensión ambiental: Viabilidad preliminar en términos de la energía consumida.

4.2 Metodología

4.2.1 *Diseño y manufactura*

Empleando un proceso básico de diseño de tecnología apropiada (Fig. 9) (Sianipar et al, 2013), a partir de la limitación de diseño de una máquina que no requiera combustibles y/o energía eléctrica, se desarrolló un prototipo de desgranadora, basado en la estructura funcional de una máquina comercial, evaluando la sustitución de su fuente energética, de un motor eléctrico o a gasolina, por una bicimáquina (Fig. 10 y Fig. 12).

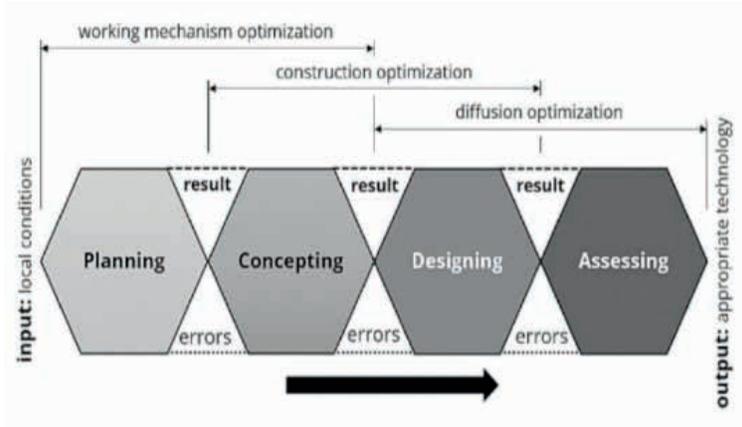


Figura 9 - Proceso básico de diseño para tecnologías apropiadas.

Fuente: Sianipar et al, 2013

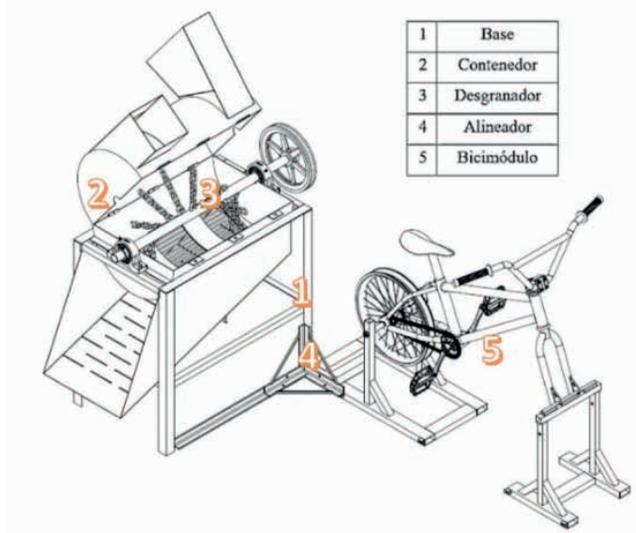


Figura 10 – Esquema del prototipo.

Efectuando una serie de iteraciones y fases de mejora (Fig. 11A y 11B), basadas en las observaciones hechas por 17 usuarias.



Figura 11 – Prototipo del módulo funcional: (A) Manufactura inicial; (B) Fases de mejora.



Figura 12 – Prototipo: (A) Bicimódulo; (B) Módulo de proceso.

4.2.2 Descripción de pruebas

Los testeos del prototipo consistieron primeramente de pruebas preliminares, cuyo propósito era encontrar la combinación de piñón-estrella de la bicicleta y el tiempo que debe procesarse una medida determinada de mazorcas, dentro de la máquina, para lograr un desgranado con la máxima integridad de grano posible, para lo cual se eligieron algunos de los tipos de maíz más comunes (Fig. 13) de la región Occidente, y Centronorte del país (Ron Parra et. al, 2006), uno de los cuales (Ancho) también es bastante común en la región Centrosur. Se logró la obtención promedio de un daño visible en granos ($D_V(\%)$) menor al 10%, con base en la masa de granos rotos ($G_R(\text{kg})$) y a la masa total de granos ($G_T(\text{kg})$), calculado en base a la fórmula 1 (El Helew, 2017).



Figura 13 – Tipos de maíz: (A) Ancho; (B) Pozolero colorado; (C) Pinto.

$$D_V(\%) = \left(\frac{G_R(\text{kg})}{G_T(\text{kg})} \right) \cdot 100 \quad \boxed{1}$$

Posteriormente se realizaron pruebas para evaluar el rendimiento de la máquina,

en las que participaron 17 mujeres, las cuales consistieron en medir la masa de grano que estas desgranaban en 1 ciclo de carga (duración entre 25 y 45 segundos, 20 a 40 mazorcas por cubetada). También se realizó una prueba de desgranado mediante métodos manuales (Fig. 4A y 4B), con 7 mujeres, así como una prueba con olotera (Fig. 5), todas realizadas por personas con experiencia en dichas tareas.

4.2.3 Características productivas

De los resultados se proyectó la productividad teórica (R_T) en kg/h, tanto de la bicimáquina (Fig. 14), cómo de los métodos manuales (Fig. 15), a partir de la masa de maíz desgranado (M_G) en kg y al tiempo neto de desgranado (T_D) en horas; empleando la fórmula 2 (El Helew, 2017).

$$R_T \left(\frac{kg}{h} \right) = \left(\frac{M_G(kg)}{T_D(h)} \right) \cdot 100 \quad [2]$$

Para la bicimáquina se obtuvieron rendimientos promedio de 172 kg/h con maíz ancho; 200 kg/h con maíz pozolero colorado y 246 kg/h con maíz colorado (Figura 14).

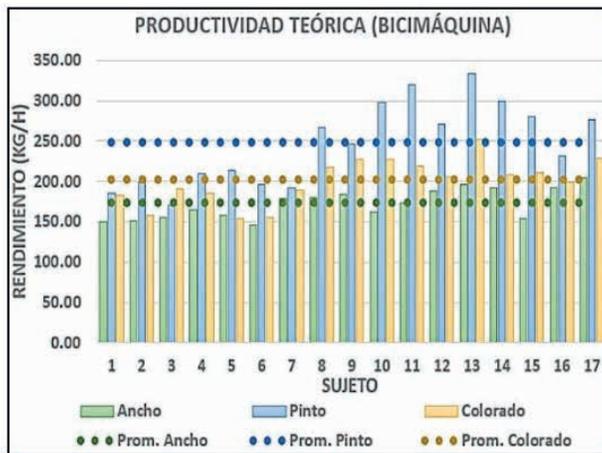


Figura 14 – Productividad teórica (Bicimáquina).

En desgranado a mano, se obtuvieron rendimientos promedio de 28.26 kg/h con maíz ancho, 16.98 kg/h con maíz pozolero colorado y 16.19 kg/h con maíz pinto; en el desgranado mediante olotera se obtuvieron rendimientos de 80.35 kg/h con maíz ancho, 48.07 kg/h con maíz pozolero colorado y 57.14 kg/h con maíz pinto.

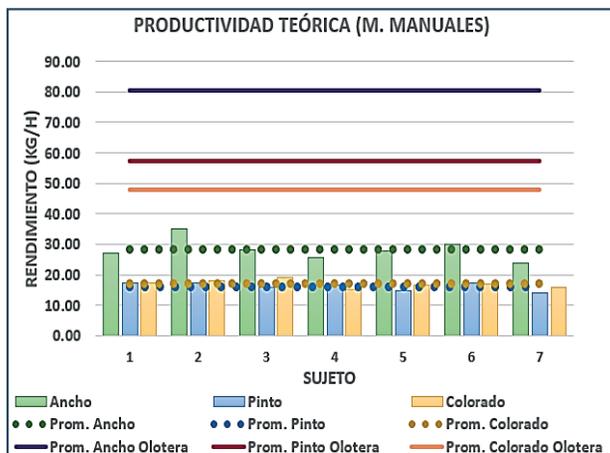


Figura 15 – Rendimientos promedio proyectados, métodos manuales.

Para implementos manuales (Tabla 10), así como para las máquinas comerciales manuales (Tabla 8) con motor a gasolina (Tabla 9) y con motor monofásico (Tabla 11), se consideraron los rendimientos y características de los modelos básicos disponibles en el mercado mexicano, ofertados por diversos proveedores.

Marca	Modelo	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
IH McCormic	Pony	80 - 100	\$5,000 - \$16,000
Penagos	DM2	85	\$7,000
John Deere	1B	150 - 200	\$4,100 - \$9,500

Tabla 8 – Características de implementos manuales.

Marca	Modelo	Potencia (Hp)	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Swissmex	612010	6.5	1500	\$19,862
Azteca	501370	4	1500	\$16,297
Raiken	RKDM1800	6.7	1700	\$14,131
Arenas	D1750	5.5	1750	\$14,319
Fumasa	DM-1800	5.5	1800	\$13,351
Avante	G-1000	4	700	\$12,998
Matep	DP1500	5.5	1500	\$12,150
Matep	DP1800	6.5	1800	\$14,850
Bomeri	DESG2	5.5	1500	\$13,700
Macroffi	DESG03	6.5	1000	\$14,165
Antarix	DL1800K6	6	1205	\$16,171

Tabla 9 – Características de máquinas desgranadoras comerciales a gasolina.

Marca	Modelo	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Luma	492251	60	\$1,672
Raiker	JIM-002	50	\$1,450
Balfe	PTD-012	50	\$1,215
Tecsa	Narpad	45	\$1,425
Mekatech	MKT-DSGM-1R	50	\$1,300
Gallo	DMG	60	\$1,200

Tabla 10 – Características de implementos manuales

Marca	Modelo	Potencia (Hp)	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Swissmex	612001	2	1500	\$19,862
Azteca	501390	2	1500	\$16,297
Raiken	RKDM1800W1	1	1000	\$11,707
Raiken	RKDM1800W1.5	1.5	1500	\$12,111
Raiken	RKDM1800W2	2	2000	\$12,927
Arenas	D1750	1.5	1500	\$12,000
Arenas	D1750	2	2000	\$13,351
Fumasa	DM-1800	2	1800	\$13,351
Avante	G-1000	1	700	\$12,500
Matep	DP1500	2	1500	\$12,150
Bomeri	DESG2E	2	1500	\$11,100
Macroffi	DESG02	2	1000	\$14,383
Antarix	DL1800S1	1	1205	\$13,589

Tabla 11 – Características de máquinas desgranadoras comerciales eléctricas

4.2.4 Costo de manufactura del prototipo

Para comparar los precios de los productos, se desglosó el costo de manufactura del prototipo (Tabla 12), considerando los siguientes costos:

Costos directos: Costos asociados directamente a los materiales y su transformación (Tabla 13 y Tabla 14).

Subsistema	Directos (mxn)	Indirectos (mxn)	Utilidad (mxn)	Costo (mxn)
1 Base	\$581	\$87	\$100	\$768
2 Contenedor	\$1,910	\$287	\$330	\$2,527
3 Desgranador	\$1,711	\$257	\$295	\$2,263
4 Alineador	\$360	\$54	\$62	\$476
5 Bicimódulo	\$1,925	\$289	\$332	\$2,546
Total				\$8,580

Tabla 12 – Costo del prototipo

Costo	Descripción	Consideraciones
Materiales (Mat)	1.- Aceros comerciales y reciclados. 2.- Piezas mecánicas 3.- Partes de bicicleta 4.- Otros insumos	1.- Perfiles, láminas, tubos. 2.- Bandas, poleas, cadenas, chumaceras. 4.- Pintura, tornillería, soldadura.
Mano de obra (M.O.)	5.- Salario real del personal que ejecuta una tarea entre su rendimiento por jornada .	5.- Calculado de acuerdo con ; Salario nominal igual al salario mínimo según la ley federal del trabajo (\$172.87 mxn); Factor de salario real (FSR) de 1.35;
Desperdicios y desgaste (D.D.)	6.- Fabricación 7.- Maquinaria 8.- Herramienta 9.- Eq. de seguridad	6.- 5% del costo del material 7.- 4% del costo de M.O. 8.- 3% del costo de M.O. 9.- 3% del costo de M.O.

Tabla 13 – Descripción de costos directos

$$M_o = \frac{S_r}{R_j} = \frac{S_n \cdot F_{SR}}{\text{Unidades por jornada}} \quad [3]$$

Subsistema	Mat (mxn)	M.O (mxn)	D.D. (mxn)	Total (mxn)
1 Base	\$386	\$160	\$35	\$581
2 Contenedor	\$1,107	\$730	\$73	\$1,910
3 Desgranador	\$1,153	\$469	\$89	\$1,711
4 Alineador	\$191	\$145	\$24	\$360
5 Bicimódulo	\$1,666	\$160	\$99	\$1,925

Tabla 14 – Desglose de costos directos

Costos indirectos: Costos de operación no incluidos en los costos directos, tales como administración, instalaciones, imprevistos, entre otros. Los consideramos cómo un prorrateo del 15% del costo directo.

Utilidad: Ganancia proyectada por ejecución de partidas de trabajo, la consideramos 15% de la suma de los costos directos e indirectos.

4.2.5 Productividad y potencia

Para corroborar la potencia disponible suministrada al módulo de función por el bicimódulo (Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 12), se realizó un experimento con 4 mujeres, en el que se instrumentó el módulo de función mediante los compontes de la tabla 15 (Fig. 16), siguiendo la lógica del freno de Prony; midiendo la potencia, a través de las revoluciones captadas por el sensor de RPM y el torque dinámico registrado por la celda de carga vía los

collarines. La lectura reportó una potencia media de 64 watts (Fig.17).

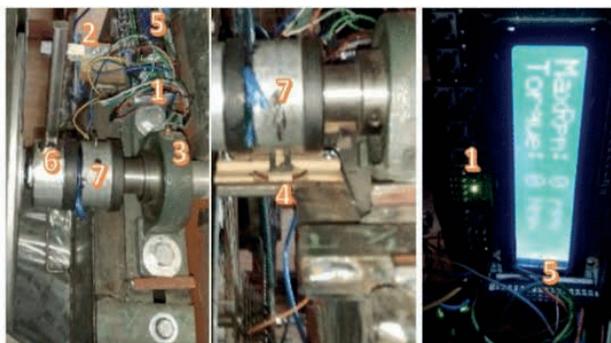


Figura 16 – Montaje de instrumentación.



Figura 17 – Medición de potencia.

Componente	Descripción
1	Arduino Mega 2560
2	Celda de carga de 20 kg Electrocrea YZC131
3	Módulo amplificador Hx711 para celda de carga
4	Módulo sensor de RPM Tecneu LM393
5	Dfrobot Gravity Dfr0009 LCD shield para arduino
6	Collarín con palanca para celda de carga
7	Collarín con paletas para sensor de RPM

Tabla 15 – Instrumentación

Corroborados estos datos para la bicimáquina, se determinó la eficiencia productiva (E_c) de las distintas formas de desgranado, con base en la fórmula 4, y la energía consumida mediante la fórmula 5 (El Helew, 2017).

$$S_R \left(\frac{kg}{Wh} \right) = \frac{R_T \left(\frac{kg}{h} \right)}{P_T(W)} \quad [4]$$

$$E_c \left(\frac{kJ}{kg} \right) = \left(\frac{P_T(W) \cdot T_D(h)}{M_G(kg)} \right) \cdot 3.6 = \frac{3.6}{S_R \left(\frac{kg}{Wh} \right)} \quad [5]$$

5 | ESTUDIO COMPARATIVO

Para los cálculos se consideró la potencia y el límite superior de los rangos de productividad descritos por los proveedores de los productos comerciales, y de la potencia descrita en las tablas 5, 6 y 7, en el caso de métodos, implementos y máquinas, basados en potencia humana. Para el desgrane manual, el precio y la energía se consideraron despreciables, debido a la falta de datos en materia de potencia mecánica desarrollada por los dedos humanos.

Para el estudio, la primera comparativa se hizo entre el precio, la productividad y la eficiencia productiva (Fig. 18), la cual es un índice que en términos económicos permite darnos una idea de la razón entre los recursos obtenidos y los recursos suministrados para los diferentes productos a comparar, en este caso entre la masa de granos obtenida y la potencia requerida. La segunda comparativa se dio entre el precio, la productividad y energía consumida (Fig. 19). En ambos casos agrupando los tipos de desgranado dentro de una de las siguientes 7 categorías: Método manual, desgranado con olotera, bicimáquina, implementos manuales, máquinas manuales, máquinas eléctricas, máquinas a gasolina.

Dentro de las 3 primeras categorías, se incluyó el desgranado de los 3 tipos maíz empleados en las pruebas, mientras que para las otras categorías se incluyeron todas las marcas y modelos comerciales recopilados. La forma de interpretar las gráficas, para ambos casos, es que mientras más a la derecha, en el eje de las ordenadas, y mientras más abajo en el eje de las abscisas, mejor relación productividad-precio tiene el producto ponderado, siendo la diferencia entre ambas comparativas, que para la primera (Fig. 20), los productos con la burbuja más grande representan las opciones con mejor eficiencia productiva, mientras que para la segunda (Fig. 19) los productos que menor energía consumen son los de las burbujas más pequeñas.

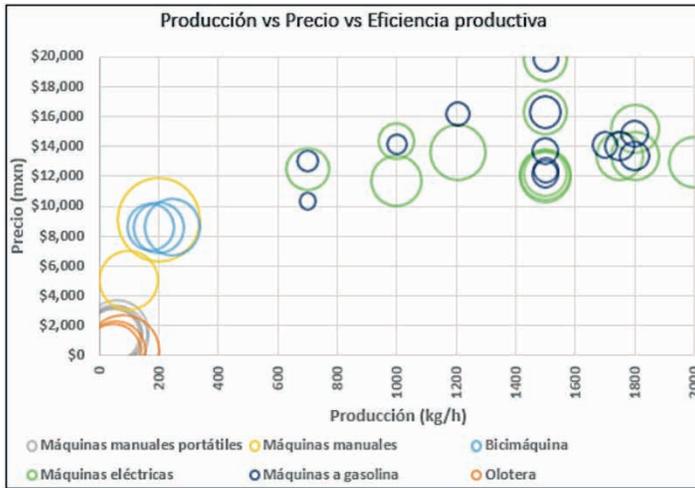


Figura 18 – Relación producción/precio/ef. productiva

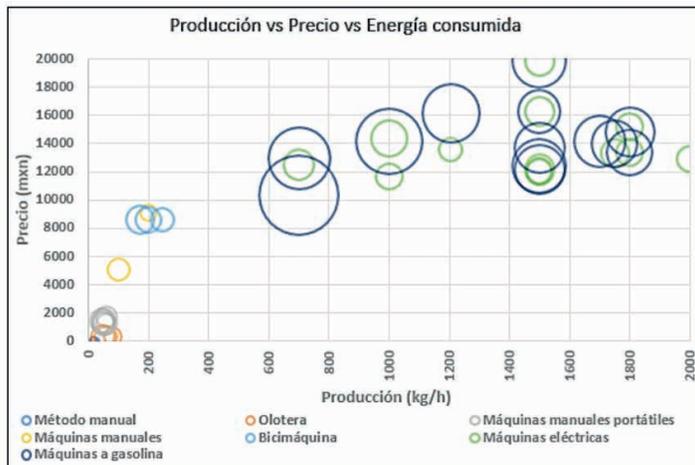


Figura 19 – Relación producción/precio/energía

6 | RESULTADOS

A partir de las figuras 18 y 19, podemos apreciar que la bicimáquina:

Supera por amplio margen, en términos de producción, al método manual, al método con olotera, y a los implementos manuales. En términos de precio-producción-energía, es muy similar a una máquina manual de alta capacidad, aunque más barata en cuanto a precio. Está muy lejos en términos de productividad, de las máquinas eléctricas, pero tiene una eficiencia productiva equiparable.

71 CONCLUSIONES

En cuanto a productividad, la bicimáquina es muy lejana a la de las máquinas eléctricas y a gasolina, pero muy superior al de las formas manuales convencionales, equiparando la productividad de una máquina manual de alta capacidad y la eficiencia productiva de una máquina eléctrica, por un precio ligeramente inferior, quedando corroborada preliminarmente la viabilidad en términos de costo, productividad y eficiencia productiva, aunque con necesidad de mejora.

En cuanto a la dimensión ambiental, en términos de consumo de energía no hay gran diferencia entre máquina eléctrica y bicimáquina, pero al ser la fuerza motriz humana una fuente de energía de menores emisiones en general, se corrobora la viabilidad preliminarmente. Ahora bien, aunque la bicimáquina está muy lejos de las máquinas eléctricas y a gasolina en términos de productividad, dada la escasa presencia comercial de las máquinas manuales, podemos percibir una coyuntura en términos de emprendimiento social y solidario para esta, dado que tiene una eficiencia productiva y de uso de energía equiparable al de las máquinas eléctricas, y precisamente hay un mercado de máquinas a gasolina, debido a la baja disponibilidad de electricidad en parcelas y campos.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo, fue realizado gracias a las becas de maestría otorgadas por CONACYT a los estudiantes de la UNAM involucrados en el estudio en el que se basa.

REFERENCIAS

Barkin, David. Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable. México: Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo, 1998.

Blanco Romero, Elena. Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2018.

Carton de Grammont, Hubert. *La desagravación del campo mexicano*. Convergencia, 16 (50). 2009.

Castelán Herrera, Isidro; Vázquez Nieto, Olga. Prototipo de desgranadora de maíz que mejora el proceso de desgranado en la Región de Influencia del Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, 4 (8). 2017.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Cámara de diputados del poder legislativo de federal de México. Reporte: La composición del ingreso de los pequeños productores agropecuarios. Ciudad de México. 2018.

Collin Harguindeguy, Laura. La economía social y solidaria. Pasos, 135, 1-12. 2008.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Gobierno de México. Evaluación de Consistencia y Resultados 2017: Programa de Apoyo a Pequeños Productores. Ciudad de México. 2017.

Contipelli, Ernani; Nagao Menezes, Daniel Francisco. Innovación tecnológica en la economía solidaria. En: IX Coloquio Ibérico Internacional de Cooperativismo y Economía Social. Santiago de Compostela. 2017.

El Helew, W. K. Performance of a small-scale hand-cranked machine for maize shelling. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 34 (2), 617-634. 2017

Fraga Castillo, Carlos Alberto. Tecnologías apropiadas y economía social y solidaria: el caso de México. *Panorama Económico*, 17, 101-127. 2021.

García Jané, Jordi. La economía solidaria en 100 palabras. Barcelona: Icaria. 2017.

Hazeltine, Barrett; Bull, Christopher. *Field Guide to Appropriate Technology* (1ª Ed.). Amsterdam: Academic press. 2003.

International Labour Organization. Small-scale maize milling. *Technology Series - Technical Memorandum 7*. 1984.

Lira, A. Introducción al concepto de sostenibilidad. CDMX: Unidades de Apoyo para el Aprendizaje CUAED/UNAM. 2018

Marten, Gerald. *Ecología Humana: Conceptos Básicos para el Desarrollo Sustentable*. Reino Unido: Earthscan Publications. 2001

Rodríguez, G.; Taylor, J. E. y Yúnez Naude, A. The impacts of economic reforms on an ejido community: a quantitative análisis. En Cornelius W. y D. Myhre. *The transformation of Rural Mexico: Reforming Rural Mexico* (pp. 333-357). San Diego, California: Center for US-Mexican Studies, University of California. 1998.

Ron Parra, José; Sánchez González, José de Jesús; Jiménez Cordero, Ángel Andrés; Carrera Valtierra, José Alfredo; Martín López, José Guadalupe; Morales Rivera, Moisés Martín, de la Cruz Larios, Lino; Hurtado de la Peña, Salvador Antonio; Mena Munguía, Salvador; Rodríguez Flores, José Guadalupe, "Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004". *Scientia CUCBA*, 8 (4). 2006.

Ruiz Rivas Hernando, Ulpiano; Blanco Cano, Lucia; Soria Verdugo, Antonio; Chinchilla Sánchez, Mónica. Modelización de bombas manuales para el abastecimiento de agua. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 2017.

Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA & FAO). Gobierno de México. Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012. Ciudad de México, 2014.

Sianipar, Corinthias; Yudoko, Gatot; Dowaki, Kiyoshi; Adhiutama, Akbhar. Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered. *Sustainability*, 5(8), 3382–3425. 2013

Verhulst, Nele; González, Jessica; Vilchis, Rodolfo; Eryanche, Fabien; Odjo, Sylvanus. Postcosecha para pequeños productores de maíz en México. *Enlace la revista de agricultura de conservación*, 9 (41), 30-33. 2017.

Thomas, Hernán. De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. Conceptos / estrategias / diseños / acciones. En: Primera Jornada sobre Tecnologías Sociales, 2009. Buenos Aires: Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales. 2009.

Zarta Ávila, Plinio. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, 28, 409-423. 2018.