Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias
ISSN: 2071-0054
Universidad Agraria de La Habana

Gómez-Águila, María Victoria; Castellanos-Serrano, Luis Tonatiuh; Soriano-Avendaño, Luis Arturo; Castellanos Suárez, José Alfredo; Cervantes-Bazán, Josué Vicente; Pérez-Vivar, Marcelino Aurelio; Chávez-Mota, Ramiro

Main Design Parameters of a Vermicompost Screening Machine

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 31, no. 1, e08, 2022, January-March
Universidad Agraria de La Habana

Available in: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93270179008

How to cite
Complete issue
More information about this article
Journal's webpage in redalyc.org

Scientific Information System Redalyc
Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and Portugal
Project academic non-profit, developed under the open access initiative

https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1549

TECHNICAL NOTE | NOTA TÉCNICA

Main Design Parameters of a Vermicompost Screening Machine

Principales parámetros de diseño de una máquina cribadora de vermicomposta

MSc. María Victoria Gómez-Águila[1], Ing. Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano, Ing. Luis Arturo Soriano-Avendaño, Ing. José Alfredo Castellanos Suárez, MC. Josué Vicente Cervantes-Bazán, Ing. Marcelino Aurelio Pérez-Vivar, Ing. Ramiro Chávez-Mota

Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco de Mora, Estado de México, México.

ABSTRACT. In Mexico, there is an ecological deterioration caused in part by the inadequate management of natural resources. In order to collaborate in the reduction of this ecological deterioration in the soils and the environment, the objective of the work was to design an accessible vermicompost screening machine that is adaptable to the needs and requirements of small producers of this organic fertilizer in the country, so the calculation was made for the design of the main systems of the machine that are the fertilizer dosing system, the screening system and the power transmission system, developing the deployment of the QFD quality function that allows considering the demands and requirements to be satisfied, in the generation and selection of concepts and / or proposals for design, thereby improving the quality of the design. A vermicompost screening machine was designed which will make it possible to speed up and improve the working conditions in the production of this compost, thus obtaining a production of screened compost greater than that achieved manually.

Keywords: Ecological Deterioration, Soils, Screening, Organic Fertilizer.

RESUMEN. En México existe un deterioro ecológico causado en parte por el manejo inadecuado de los recursos naturales. Con el propósito de colaborar en la disminución de este deterioro ecológico en los suelos y el medio ambiente, el objetivo del trabajo fue diseñar una máquina cribadora de vermicomposta accesible y adaptable a las necesidades y requerimientos de los pequeños productores de este abono orgánico en el país, por lo que se realizó el cálculo para el diseño de los principales sistemas de la máquina que son; el sistema de dosificación de abono, el sistema de cribado y el sistema de transmisión de potencia, desarrollando el despliegue de la función de calidad QFD que permite considerar las demandas y requerimientos a satisfacer, en la generación y selección de conceptos y/o propuestas de diseño, mejorando de esta manera la calidad del diseño. Se diseñó una máquina cribadora de vermicomposta la cual permitirá agilizar y mejorar las condiciones de trabajo en la producción de este abono, obteniendo de esta manera una producción de abono cribado mayor a la alcanzada manualmente.

***Palabras clave*:** deterioro ecológico, suelos, abono orgánico.

INTRODUCTION

In Mexico, the Green Revolution produced a substantial change in all sectors related to productive activities, especially in conventional agriculture, which is based on the intensive use of inputs and machinery, being aggressive to agroecosystems and the environment due to excessive abuse of agrochemicals

INTRODUCCIÓN

En México la revolución verde produjo un cambio sustancial en todos los sectores relacionados con las actividades productivas, sobre todo en la agricultura convencional que se basa en el uso intensivo de insumos y maquinaría, siendo agresiva en los agroecosistemas y en el medio ambiente debido al abuso

[1] Author for correspondence: María Victoria Gómez-Águila, e-mail: mvaguila@hotmail.com ORCID iD: https://orcid.org/0000-0001-9603-2856

Received: 10/02/2021.
Approved: 12/11/2021

(chemical fertilizers, herbicides, insecticides, fungicides, nematicides, among others) which accumulate in the water tables, soils, water and atmosphere, representing a threat to life, due to their high degree of toxicity. Nowadays, new techniques have been implemented to reduce this ecological deterioration as part of organic agriculture. They are crop rotation, use of residues of organic origin, green manures, mechanical tillage, among others, with the purpose of maintaining soil productivity and fertility, as well as controlling pests, weeds and diseases (Mendoza, 2013). Vermiculture is an alternative for the use of organic waste and animal fertilizers, since they can be incorporated into the soil in a short time, thus generating fertilizers called "Wormcompost" or "Vermicompost", capable of replacing chemical fertilizers according to Mendoza (2013), becoming a technique for soil conservation and improvement. Vermiculture is conceived as a biotechnology that makes it possible to use the Californian red worm (*Eisenia fetidae*) as a work tool; for the management of organic waste according to Ceccon (2008); Dávila & Ramírez (1996); Rodríguez *et al.* (2007) and Schuldt (2006).

The decompositions of these products by the earthworm can be used and exploited for agricultural production, as well as the earthworm can be used to feed minor species such as birds, fish, rabbits, etc., in the same way it is used to improve environmental quality, soil fertility and improvement of human health (Rodríguez et al., 2007; Compagnoni & Putzolu, 2018). Currently, the vermicomposting production process in Mexico is being carried out intensively, due to the benefits it provides to agricultural soils, generating growth opportunities for small producers who increase the production of this fertilizer to satisfy the existing demand of this product according to Xelhuantzi and Salazar (2012). One of the main problems that commonly occurs when the production volume begins to increase, is the screening or sifting of the humus, which is a production task carried out when the fertilizer reaches an approximate humidity of 30% that allows to obtain the desired granulometric characteristics for the storage and sale of the product, which allow the easy incorporation of the fertilizer into the soil (Dávila & Ramírez, 1996; Martínez, 1999; Calderon, 2003; Schuldt, 2006; Compagnoni & Putzolu, 2018). Due to the fact that in the national market there is not yet a vermicompost screening machine that is accessible and adaptable to the needs of small producers, the producer sees the need to increase the workforce for this process as it has to be done manually, by means of fixed screens, which is tiring and unproductive. The main objective of the work is the design of a vermicompost screening machine prototype taking into account the desired characteristics of the humus for storage and sale. Once the board of directors of San Juan Raboso Community, belonging to Izúcar de Matamoros Municipality, State of Puebla, Mexico is consulted, the requests are addressed and the deployment of the quality function (or QFD, for its English acronym) is a product and service design method that collects customer demands and expectations and translates them, in successive steps, into satisfactory technical and operational characteristics according to Budynass

excesivo de agroquímicos (fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematicidas, entre otros) los cuales se acumulan en los mantos freáticos, suelos, agua y atmósfera, representando una amenaza para la vida, por su alto grado de toxicidad En la actualidad se han implementado nuevas técnicas para disminuir este deterioro ecológico como parte de la agricultura orgánica: las rotaciones de cultivo, residuos de origen orgánico, abonos verdes, labranza mecánica, entre otros, con el propósito de mantener la productividad y fertilidad del suelo, así como controlar plagas, malezas y enfermedades (Mendoza, 2013). La lombricultura es una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos y abonos animales, ya que pueden ser incorporados al suelo en poco tiempo, generando así los abonos llamados "Lombricomposta" o "Vermicomposta"; capaces de sustituir a los fertilizantes químicos según Mendoza (2013), convirtiéndose en una técnica para la conservación y mejoramiento de los suelos. La lombricultura se concibe como una biotecnología que permite utilizar la lombriz roja californiana (*Eisenia foetidae),* como herramienta de trabajo; para el manejo de desechos orgánicos según Ceccon (2008); Dávila and Ramírez (1996); Rodríguez et al. (2007); Schuldt (2006).

Las descomposiciones de estos productos por parte de la lombriz pueden ser utilizados y aprovechados para la producción agrícola, así como la lombriz puede ser aprovechada para la alimentación de especies menores como aves, peces, conejos, etc., de igual forma se utiliza para mejorar la calidad ambiental, fertilidad de los suelos y mejoramiento de la salud humana (Rodríguez et al., 2007; Compagnoni y Putzolu, 2018). En la actualidad el proceso de producción de vermicomposta en México, se está realizando de manera intensiva, debido a los beneficios que proporciona a los suelos agrícolas, generando oportunidades de crecimiento para los pequeños productores que aumentan la producción de este abono para satisfacer la demanda existente de este producto según Xelhuantzi and Salazar (2012). Uno de los principales problemas que se presenta comúnmente cuando se empieza a elevar el volumen de producción, es el cribado o cernido del humus, que es una labor de producción la cual se realiza cuando el abono alcanza una humedad aproximada de 30% que permite obtener las características granulométricas deseadas para el almacenamiento y venta del producto, que permitan la fácil incorporación del abono al suelo (Dávila y Ramírez, 1996; Martínez, 1999; Calderon, 2003; Schuldt, 2006; Compagnoni y Putzolu, 2018). Debido a que en el mercado nacional no se cuenta aún con una máquina cribadora de vermicomposta accesible y adaptable a las necesidades de pequeños productores, el productor se ve en la necesidad de aumentar la mano de obra para este proceso al tener que realizarse de forma manual, mediante cribas fijas, lo cual resulta fatigosa e improductiva. El objetivo principal del trabajo es el diseño de un prototipo de máquina cribadora de vermicomposta tomando en cuenta las características deseadas del humus para su almacenamiento y venta. Una vez que se consulta con la junta directiva de la comunidad San Juan Raboso, perteneciente al Municipio Izúcar de Matamoros, del Estado de puebla, México, se atiende las peticiones y se implementa el despliegue de la función de calidad (o QFD, por sus siglas inglesas) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfac-

& Nisbett (2019); Cheng & de Melo Filho (2007); De Melo (2007); Montesinos et al. (2016); Pérez et al. (2007).

MATERIALS AND METHODS

In this project, the technique called Quality Function Deployment or QFD, for its acronym in English, was used, which allowed generating technical engineering specifications to define the design (Butters & Brennan, 1998; Flórez *et al.*, 2010; Mott, 2011; Beer *et al.*, 2013; Budynass & Nisbett, 2019). Figure 1 shows the QFD diagram developed, later solution concepts were generated for each technical specification, evaluating with morphological matrices each of the possible concepts proposed for the design by Dean *et al.* (2018); Hernández (2013) (Table 1). The design of the vermicompost screening machine prototype is developed taking into account the winning solution concepts for each technical specification with the characteristics that the conceptual design of the machine must meet (Figure 2) (Flórez *et al.*, 2010; Mendoza, 2013; International Standard Organitation ISO, 2015; Rodríguez, M. *et al.*, 2014). The main design parameters are determined and the driving source and type of transmission are calculated according to Mott (2011).

torias según Budynass and Nisbett (2019); Cheng & de Melo Filho (2007); De Melo (2007); Montesinos et al. (2016); Pérez et al. (2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

En este proyecto se utilizó la técnica llamada *Quality Function Deployment o QFD* por sus siglas en inglés que permitió generar las especificaciones técnicas de ingeniería para poder definir el diseño (Butters y Brennan, 1998; Flórez *et al.*, 2010; Mott, 2011; Beer *et al.*, 2013; Budynass y Nisbett, 2019). En la Figura 1 se observa el diagrama QFD desarrollado, posteriormente se generaron conceptos de solución para cada especificación técnica, evaluando con matrices morfológicas cada uno de los posibles conceptos propuestos para el diseño por Dean *et al.* (2018); Hernández (2013) (Tabla 1). El diseño del prototipo de máquina cribadora de vermicomposta se desarrolla tomando en cuenta los conceptos de solución ganadores para cada especificación técnica con las características que debe reunir el diseño conceptual de la máquina (Figura 2) (Flórez *et al.*, 2010; Mendoza, 2013; International Standard Organitation ISO, 2015; Rodríguez, M. *et al.*, 2014). Se determinan los principales parámetros de diseño y se calcula la fuente motriz y tipo de transmisión según Mott (2011).

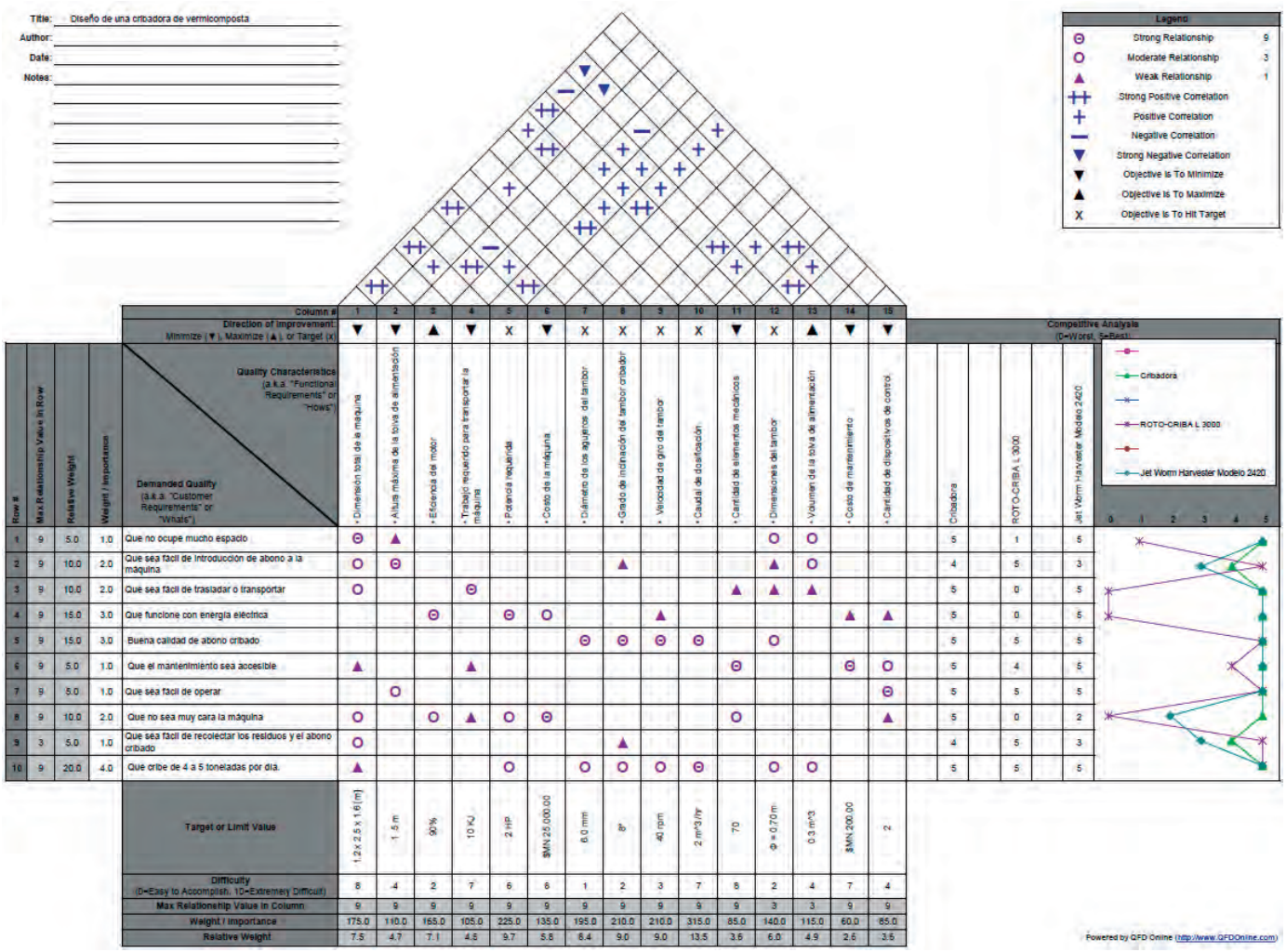

FIGURE 1. QFD diagram of the vermicompost sieve.

FIGURA 1. Diagrama QFD de la cribadora de vermicomposta.

According to the morphological matrix, and taking into account the highest rating for each consideration, it is concluded that the vermicompost screening machine to be designed (Figure 2) will meet the following characteristics:

- Form of screening will be by a rotary system.
- It will work with an electric motor.
- It will have a metal screening mesh.
- Power transmission will be by chain.
- The compost dosing system will be by a conveyor screw.
- The inclination of the drum will be variable from 0°, 5° and 8°.
- Cleaning of the drum will be done using a rotating brush.
- The way to collect the humus will be manual by means of a hopper.
- The form of waste collection will be manual by means of a hopper.
- The structure of the machine will be in one piece, that is, it will not be disassembled.
- For the transport system of the machine there will be four steerable wheels.

Recommendations for Machine Work

The recommendations are derived from the QFD analysis and are as follows:

• The dimensions of the screening machine will be 1 · 3.15 · 1.2 m and its operation will consist of a simple technological process for its operation.

- Placing the machine in the workplace, ensuring that the machine is positioned at an 8 ° angle of inclination that will allow the vermicomposting.
- Fixing the stabilizer supports during the screening process and placing the cleaning brush in the cleaning position.
- Deposit of the vermicompost to be screened in the feed hopper with an approximate capacity of 0.3 m^3
- Switch on the machine with a switch to start the screening process.
- Control of the flow of fertilizer introduced to the screening drum, where the screened fertilizer and the solid waste will be separated.
- Continuous feeding of the material to be screened into the inlet hopper.
- Shut down the machine and return to its vacuum position.
- Cleaning of dosing and screening systems.

De acuerdo a la matriz morfológica, y tomando en cuenta la calificación más alta para cada consideración, se concluye que la máquina cribadora de vermicomposta a diseñar (Figura 2), cumplirá con las siguientes características:

- Forma de cribado será por un sistema rotatorio.
- Funcionará con un motor eléctrico.
- Tendrá una malla de cribado metálica.
- La transmisión de potencia será mediante cadena.
- El sistema de dosificación de composta será por un tornillo sinfín transportador.
- La inclinación del tambor será variable de 0°, 5° y 8°.
- La limpieza del tambor se efectuará mediante un cepillo giratorio.
- La forma de recolección del humus será manual mediante una tolva.
- La forma de recolección de los residuos será manual mediante una tolva.
- La estructura de la máquina será de una sola pieza, es decir, no será desarmable.
- Para el sistema de transporte de la máquina se contará con cuatro ruedas dirigibles.

Recomendaciones para el trabajo de la máquina

Las recomendaciones se derivan del análisis del QFD y son las siguientes:

- Las dimensiones de la máquina cribadora serán de 1·3,15·1.2 m y el funcionamiento de la misma constará de un proceso tecnológico sencillo para su operación.
- Colocación de la máquina en el lugar de trabajo, garantizando que la máquina se posicione a un ángulo de inclinación de 8° que permitirá que la vermicomposta.
- Fijación de los soportes estabilizadores durante el proceso de cribado y colocación del cepillo limpiador en posición de limpieza.
- Depósito de la vermicomposta a cribar en la tolva de alimentación con una capacidad aproximada de 0,3 m^3
- Encendido de la máquina con un interruptor para comenzar con el proceso de cribado.
- Control del flujo de abono introducido al tambor cribador, donde se realizará la separación del abono cribado y de los residuos sólidos.
- Alimentación continua del material a cribar en la tolva de entrada.
- Apagado de la máquina y regreso a su posición de vacío.
- Limpieza de los sistemas de dosificación y cribado.

TABLE 1. Morphological matrices of the vermicompost screening machine
TABLA 1. Matrices morfológicas de la máquina cribadora de vermicomposta

		Evaluation criteria									
Aspect	**A**	**C**	**F**	**T**	**R**	**S**	**M**	**P.S**	**P**	**Total**	**100%**
		16.6	16.6	13.3	13.3	13.3	10	10	6.66		100%
Screening form	Vibratory	7	8	7	9	8	8	7	8	62	49.21
	Rotary	7	9	9	9	7	8	7	8	64	50.79

		Evaluation criteria									
Aspect	**A**	**C**	**F**	**T**	**R**	**S**	**M**	**P.S**	**P**	**Total**	**100%**
Driving source	Electric motor	8	10	9	8	9	9	6	9	68	56.2
	Gasoline engine	5	8	6	9	7	7	6	5	53	43.8
Mesh material	Metal	6	8	10	9	8	8	8	7	64	50.79
	Plastic	8	8	10	5	9	5	8	9	62	49.21
Power Transmission	Band	7	7	7	7	7	8	8	8	59	33.52
	Chain	8	8	9	8	7	7	9	7	63	35.8
	Gears	5	9	5	9	7	8	5	6	54	30.68
Compost dosing system	manual	8	5	8	6	7	8	8	8	58	32.77
	Trans band,	6	8	5	7	8	8	8	6	56	31.64
	Trans endless,	7	9	7	9	8	8	8	7	63	35.59
Variable drum tilt	Variable	8	9	8	8	8	8	8	8	65	50.39
	Permanent	9	7	8	8	8	8	8	8	64	49.61
Drum cleaning	Ma nual	8	6	8	7	6	8	8	8	59	48.36
	Rotating brush	6	8	7	8	9	9	8	8	63	51.64
Humus collection	Manual	8	9	8	8	8	9	8	8	66	53.23
	Trans band,	6	9	6	9	7	7	8	6	58	46.77
Waste collection	manual	8	9	8	8	8	9	8	8	66	53.23
	Trans band,	6	9	6	9	7	7	8	6	58	46.77
Structure type	Dismountable	8	8	8	8	8	8	8	8	64	44.44
	Fixed	10	10	10	10	10	10	10	10	80	55.56
Machine transport system	By hitch	8	8	6	9	8	8	8	8	63	32.64
	4 wheels	8	10	9	7	8	8	8	9	67	34.72
	No system	10	0	10	8	8	9	8	10	63	32.64

A: Performance, T: Size, R: Strength, C: Cost, M: Maintenance, S: Safety, PS: Standard Part, P: Weight

Detailed design: During the screening process, the vermicompost to be screened must have, according to Schuldt

Diseño de detalle: Durante el proceso de cribado, la vermicomposta a cribar deberá poseer según Schuldt (2006), un

(2006), 30% humidity to keep the microorganisms alive, as well as the small worms and eggs that the compost carries at harvest time.

30% de humedad para conservar vivos los microorganismos, así como las lombrices pequeñas y huevecillos que lleve el abono al momento de la cosecha.

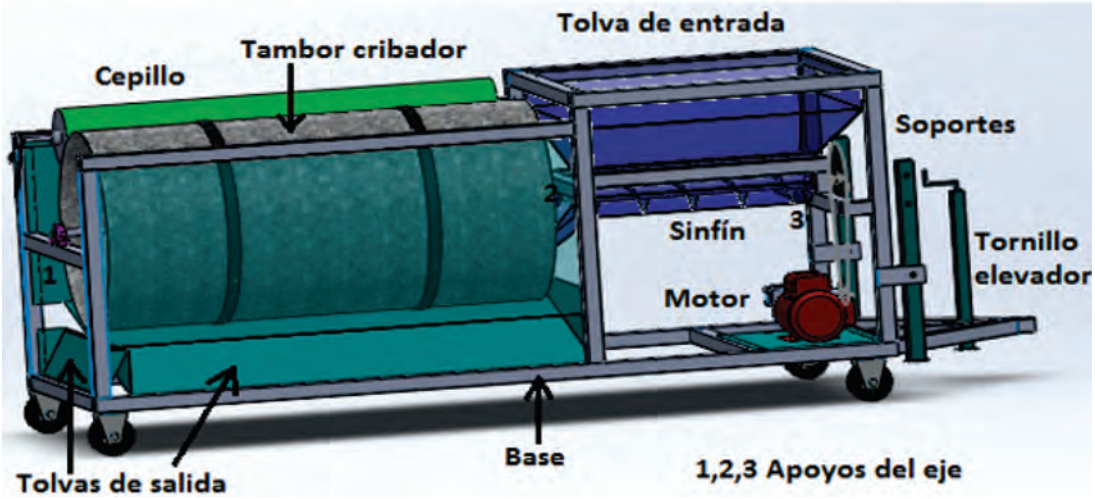

FIGURE 2. General diagram of the vermicompost screening machine.
FIGURA 2. Esquema general de la máquina cribadora de vermicomposta.

Dosing system: Dosing will be done with the conveyor screw (Figure 3), to dose the material placed in the feed hopper to the sieve drum. The request of the board of directors of San Juan Raboso Community is to dose 2 m^3/h, a parameter to be considered in the calculation of the flow rate (Q) for the endless conveyor. The flow rate for a helical worm conveyor is determined according to equation 1 (Mendoza, 2013),

$$Q = 3600\, sv\gamma\ \mathrm{k};\frac{\mathrm{ton}}{\mathrm{h}} \tag{1}$$

where:
s: gutter fill area.
v: linear displacement speed of the material; *v* = 2/3 D.
γ: density of the material to be transported.
k: material flow decrease coefficient; *k* = 0.8, with an angle of inclination of 10º.

The average density of the vermicompost is 0.5 t/m^3, therefore, it is obtained that the flow for the conveyor is 1 t/h. For the gutter fill area equation 2is used

$$S = \frac{\pi\ \mathrm{D}^2}{4};m^2 \tag{2}$$

where:
λ: filling coefficient of the cross section. It is considered a light non-abrasive load, therefore, λ = 0.4 (Mendoza, 2013).
D: diameter of the gutter of the endless conveyor.

The linear displacement speed of the material is determined according to equation 3 (Shigley & Mischke, 2011).

$$v = t\frac{n}{60} \tag{3}$$

where:
t: pitch of the proposed screw
n: rotation frequency; rpm

Sistema de dosificación: La dosificación se hará con el tornillo sinfín transportador (Figura 3), para dosificar el material colocado en la tolva de alimentación al tambor de cribador. La petición de la junta directiva de la comunidad San Juan Raboso, es la de dosificar 2 m^3/h, parámetro a considerar en el cálculo del caudal de flujo (Q) para el transportador sinfín. El caudal de flujo para un transportador sinfín helicoidal se determina según la ecuación 1 (Mendoza, 2013)

$$Q = 3600\, sv\gamma\ \mathrm{k};\frac{\mathrm{ton}}{\mathrm{h}} \tag{1}$$

donde:
s: área de relleno del canalón.
v: velocidad de desplazamiento lineal del material; *v*= 2/3 D.
γ: densidad del material a transportar.
k: coeficiente de disminución del flujo del material; *k* = 0,8, con ángulo de inclinación de 10º.

La densidad promedio de la vermicomposta es de 0,5 t/m^3 por tanto se obtiene que el caudal para el transportador es de 1 t/h. El área de relleno del canalón se utiliza la ecuación 2

$$S = \frac{\pi\ \mathrm{D}^2}{4};m^2 \tag{2}$$

donde:
λ: coeficiente de relleno de la sección transversal. Se considera carga ligera no abrasiva, por tanto λ= 0,4 (Mendoza, 2013)
D: diámetro del canalón del transportador sinfín.

La velocidad de desplazamiento lineal del material se determina según la ecuación 3 (Shigley y Mischke, 2011)

$$v = t\frac{n}{60} \tag{3}$$

donde:
t: paso del tornillo propuesto
n: frecuencia de rotación; rpm

The linear displacement speed of the material is determined by considering the pitch and speed of the worm. The pitch is proposed equal to the diameter and a speed of rotation of the screw equal to 40 rpm. Taking into account equation 4, the diameter of the gutter is determined.

$$v = \frac{D40}{60} = \frac{2}{3}D \quad (4)$$

The diameter of the auger gutter is determined by solving, substituting the values and solving for equation 1, leaving D = 0.1491 = 0.15 m.

The proposed endless conveyor is shown in Figure 4.

La velocidad de desplazamiento lineal del material se determina considerando el paso y la velocidad del tornillo sinfín. Se propone el paso igual al diámetro y una velocidad de giro del tornillo igual a 40 *rpm*. Teniendo en cuenta la ecuación 4, se determina el diámetro del canalón.

$$v = \frac{D40}{60} = \frac{2}{3}D \quad (4)$$

El diámetro del canalón del tornillo sinfín se determina despejando sustituyendo los valores y despejando la ecuación 1, quedando igual a D=0,1491=0,15 *m*.

El transportador sinfín propuesto se muestra en la Figura 4.

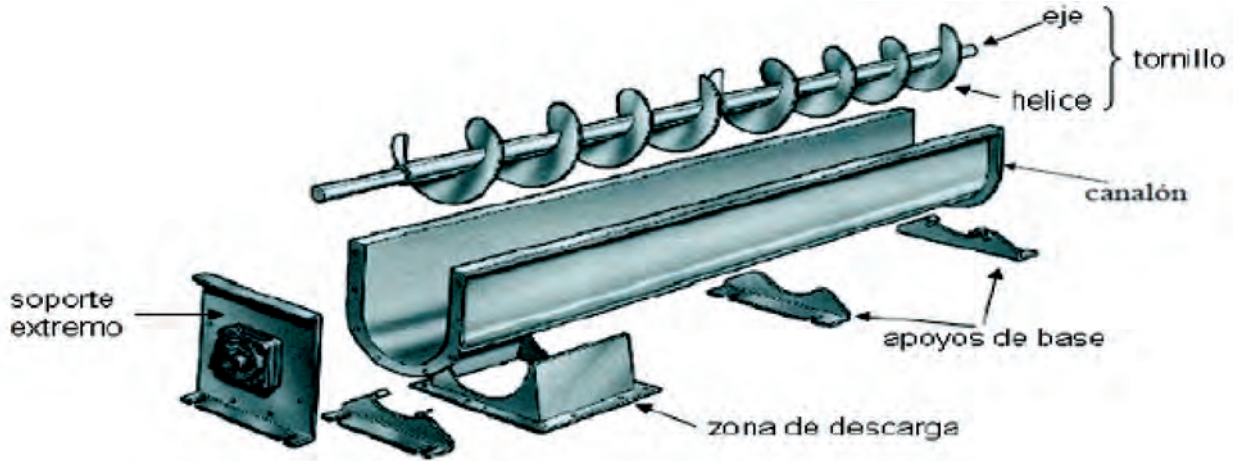

FIGURE 3. Conveyor auger.
FIGURA 3. Tornillo sinfín transportador.

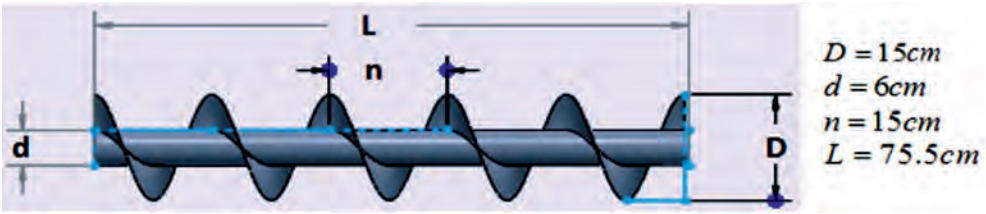

FIGURE 4. Auger conveyor (auger).
FIGURA 4. Transportador sinfín (tornillo sinfín).

With the proposed dimensions, the mass of fertilizer that will be transported during the screening process will be approximately 5.2 kg. To calculate the torque generated by the transport of this mass of fertilizer on the spiral, equation 5 is considered.

$$T\ ts = Fd \quad (5)$$

where:

F: Force necessary to move the mass inside the endless conveyor 51.01 *N*

d: Distance from the center to the end of the conveyor spiral of 0.075 *m*.

Substituting F and *d* in equation 4, it is obtained that the generated torque is equal to $T\ ts$ = 3.83 *Nm*

The endless conveyor will be placed on the main shaft in the lower part of the input hopper which will be filled with the fertilizer to be screened, consequently the main shaft will

Con las dimensiones propuestas, la masa de abono que se transportará durante el proceso de cribado será de aproximadamente 5,2 kg para calcular el torque que genera el transporte de esta masa de abono sobre la espiral se considera la ecuación 5.

$$T\ ts = Fd \quad (5)$$

donde:

F: Es la fuerza necesaria para mover la masa dentro del transportador sinfín de 51,01 N

d: Distancia del centro al final de la espiral del transportador de 0,075 m.

Sustituyendo F y d en la ecuación 4, se tiene que el torque generado es igual a $T\ ts$=3,83Nm

El transportador sinfín será colocado en el eje principal en la parte inferior de la tolva de entrada la cual se llenará del abono a cribar, por consecuencia el eje principal soportará el peso del transportador y del abono que se encuentre en este,

support the weight of the conveyor and the fertilizer that is in it. It is considered that the mass of the conveyor auger with the proposed dimensions is 3.5 kg and the mass of the fertilizer on it is 15 kg.

Inlet Hopper

In the feed hopper (Figure 5a), the feeding of approximately 0.3 m^3 of material to be screened is guaranteed. The proposed geometry guarantees direct feeding to the worm. The dimensions of the hopper are proposed according to the customer's requirements.

The construction material is made up of a 20 gauge galvanized steel sheet.

Screening Drum

The screening drum performs the function of screening the material. For the drum mesh, a perforated galvanized steel sheet with holes of ϕ = 0.6 cm was selected to obtain the quality of the desired fertilizer. The dimensions of the drum (Figure 5.b) are proposed according to the dimensions established for the construction of the machine. The drum geometry is of length L = 1.45 m, effective screening length approximately 1.30 m, drum diameter D = 0.7 m, perimeter $P = \pi \cdot 0.7$ = 2.2 m, sheet thickness e = 1 *mm*, total area of the mesh (perforated sheet with holes of ϕ = 0.6 cm with distance between centers of each hole of 0.9 cm, is A_{Tmesh} = 2.14 m^2. With sheet gauge according to the proposed thickness, a 20 gauge of the mesh is selected for the construction of the screening mesh (Figure 5b) Considering these aspects, the approximate mass of the mesh is 15.9 kg.

Drum Stiffness Rings

The support rings provide greater rigidity to the screening mesh during the operation of the machine, therefore, it is proposed to make the hearth rings of steel with a thickness of the hearth e = 4.8 mm, the width of the hearth A = 25, 4 mm, the length of the hearth L = 2.2 m, mass per ring m = 2.1 kg, mass of the rings m_A = 4.1 kg.

se considera que la masa del sinfín transportador con las dimensiones propuestas es de 3,5 kg y la masa del abono sobre este de 15 kg.

Tolva de entrada

En la tolva de alimentación (Figura 5a), se garantiza la alimentación de aproximadamente un 0,3 m^3 de material a cribar. La geometría propuesta garantiza la alimentación directa al tornillo sinfín. Las dimensiones de la tolva se proponen de acuerdo a las exigencias del cliente.

El material para la construcción lo conforma una lámina de acero galvanizada calibre 20.

Tambor cribador

El tambor cribador realiza la función de cribado del material. Para la malla del tambor se seleccionó una lámina de acero galvanizado perforada con barrenos de ϕ=0,6 *cm* para obtener la calidad del abono deseado. Las dimensiones del tambor (Figura 5.b) se proponen de acuerdo a las dimensiones establecidas para la construcción de la máquina. La geometría del tambor es de longitud L=1.45 *m,* longitud efectiva de cribado de aproximadamente *1.30 m, d*iámetro del tambor D=0.7 *m, p*erímetro $P=\pi \cdot 0{,}7=2{,}2$ *m,* el espesor de la lámina e=1 *mm*, área total de la malla (lámina perforada con barrenos de ϕ=0,6 *cm* con distancia entre centros de cada barreno de 0,9 *cm,* es A_{Tmalla}=2,14 m^2. Con calibre de lámina de acuerdo al espesor propuesto se selecciona un calibre 20 de la malla para la construcción de la malla de cribado (Figura 5b). Considerando éstos aspectos se tiene que la masa aproximada de la malla es 15,9 kg.

Anillos de rigidez del tambor

Los anillos de soporte proporcionan una mayor rigidez a la malla de cribado durante el accionamiento de la máquina, se propone realizar los anillos de solera de acero de espesor de la solera e=4,8 *mm*, el ancho de la solera A=25,4 *mm,* la longitud de la solera L=2,2 *m*, masa por anillo m=2,1 *kg*, masa de los anillos m_A=4,1 *kg*.

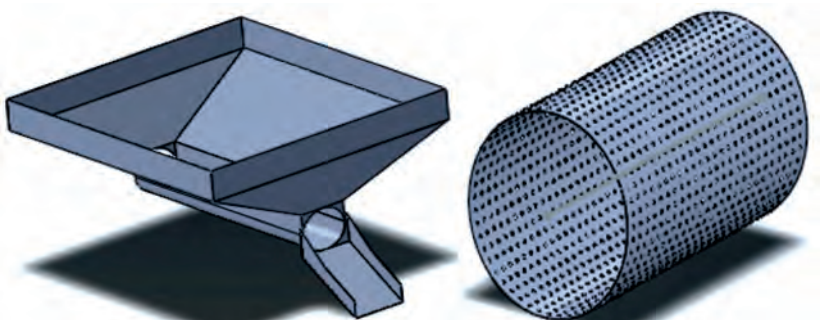

FIGURE 5a) Fertilizer inlet hopper; b) screening drum.

FIGURA 5a) Tolva de entrada de abono; b) tambor cribador.

Cleaning Brush

The cleaning brush (Figure 6) has the function of preventing the clogging of the holes in the drum. The tangential speed of the crib drum v is determined according to equation 6.

Cepillo limpiador

El cepillo limpiador (Figura 6), tiene la función de evitar la obstrucción de los agujeros del tambor. La velocidad tangencial del tambor cribador v se determina según la ecuación 6.

$$v=\omega r \quad (6)$$

where:
ω: Angular velocity of the drum;
r: Radius of the sieve drum;

Substituting the kinetic and geometric parameters in equation 5, the result is a tangential velocity equal to 1.47 *m/s*, which facilitates the calculation of the torsional moment, the result of which is equal to 2.16 *Nm*.

$$v=\omega r \quad (6)$$

donde:
ω: Es la velocidad angular del tambor;
r: Es el radio del tambor cribador;

Sustituyendo en la ecuación 5 los parámetros cinéticos y geométricos, se tiene como resultado una velocidad tangencial igual a 1,47 *m/s,* lo que facilita el cálculo del momento torsor, cuyo resultado es igual a 2,16 *Nm*.

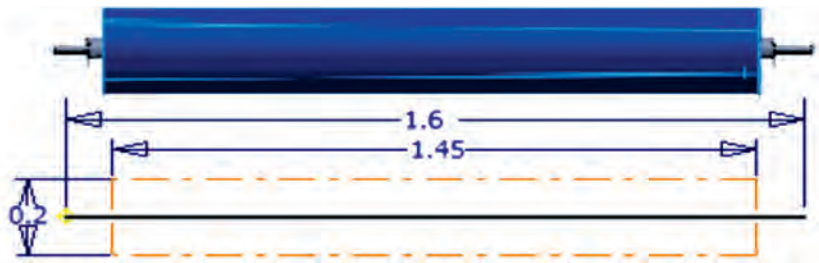

FIGURE 6. Cleaning brush.
FIGURA 6. Cepillo limpiador.

Cleaning Brush Design

For the design of the cleaning brush, the simplified model of the forces acting on it is considered, through the free body diagram (Figure 7), the reactive forces are determined and the Tresca criterion is used (Faires, 1999; Shigley & Mischke, 2011; Beer *et al.*, 2013). From the free body diagram (FBD) of the brush axis, the equations of static equilibrium are used and the reactions at supports A and B are determined, resulting in the magnitudes of the reactions equal to: *RAy = RBy = 24, 29 N; RAx = 6.83 N.*

Diseño del cepillo limpiador

Para el diseño del cepillo limpiador, se considera el modelo simplificado de las fuerzas que actúan en este, a través del diagrama de cuerpo libre (Figura 7), se determinan las fuerzas reactivas, y se emplea el criterio de Tresca (Faires, 1999; Shigley y Mischke, 2011; Beer *et al.*, 2013)A partir del diagrama de cuerpo libre (DCL) del eje del cepillo, se emplean las ecuaciones de equilibrio estático y se determinan las reacciones en los apoyos A y B, quedando como resultado las magnitudes de las reacciones iguales a: RA_y=RB_y=24,29 *N;* RA_x=6,83 *N*

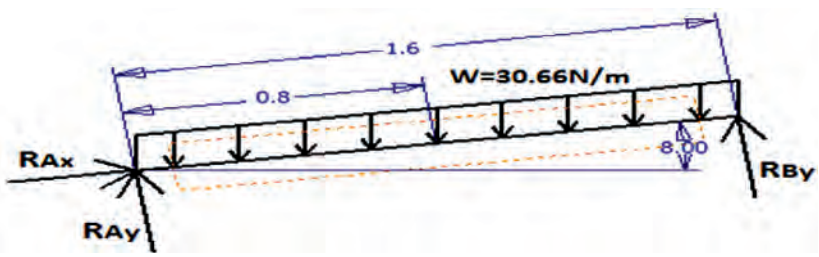

FIGURA 7. Free body diagram (FBD) of the brush axis.
FIGURA 7. Diagrama de cuerpo libre del eje del cepillo.

The maximum bending moment is determined by the method of sections and it is obtained that the ***Mf max*** .

The diameter of the cleaning brush shaft is determined considering the maximum shear stress failure theory or TRESCA theory (Beer *et al.*, 2010; Shigley & Mischke, 2011), according to equation 7.

$$D\ brush\ axis = \left[32 \frac{n}{\pi Sy} \left(M^2 + T^2 \right)^{1/2} \right]^{!/3} \quad (7)$$

where:
n: safety factor for brush shaft design of 2
Sy: effort to yield; *Sy* = 220 · 106 Pa
M: maximum bending moment; *Mma*x = 19.43 Nm
T: torsional moment on the shaft; *T* = 2.16 Nm

El Momento flector máximo se determina por el método de las secciones y se obtiene que el .

El diámetro del eje del cepillo limpiador se determina considerando la teoría de falla de esfuerzo cortante máximo o teoría de TRESCA Beer *et al.* (2010); Shigley y Mischke (2011), según la ecuación 7.

$$D\ brush\ axis = \left[32 \frac{n}{\pi Sy} \left(M^2 + T^2 \right)^{1/2} \right]^{!/3} \quad (7)$$

donde:
n: factor de seguridad para el diseño del eje del cepillo de 2
S_y: esfuerzo a la cedencia; S_y=220·10^6 *Pa*
M: momento flector máximo; M_{max}=19,43 *Nm*
T: momento torsor en el eje; *T*=2,16 Nm

Substituting in equation 6, the diameter of the drum is equal to 0.01 m, the diameter is selected equal to 15 mm.

Shear forces and bending moments are graphed (Figure 8).

Principal Axis

The main axis is the element in charge of transmitting the rotary movement to the dosing system and the screening system of the machine. According to Faires (1999); Shigley & Mischke (2011) the total torsional moment is equal to *T totat* = 160.1 Nm and a rotation frequency equal to 1200 rpm, with a 10: 1 reducer that will allow obtaining 120 rpm of output. The maximum diameter of the shaft will be 26 mm which is standardized and it is proposed to be 31.8 mm (1¼ in).

Sustituyendo en la ecuación 6, se tiene el diámetro del tambor igual a 0,01 m, se selecciona diámetro igual a 15 *mm*.

Se procede a graficar las fuerzas cortantes y momentos flectores (Figura 8).

Eje principal

El eje principal es el elemento encargado de transmitir el movimiento rotatorio al sistema de dosificación y al sistema de cribado de la máquina. Acorde a Faires (1999); Shigley & Mischke (2011) el momento torsor total es igual a

T totat=160,1 *Nm* y una frecuencia de rotación igual a 1200 rpm, con un reductor de 10:1 que permitirá obtener 120 *rpm* de salida. El diámetro máximo del eje será de 26 mm el que se estandariza y se propone sea de 31,8 mm (1¼ *in*).

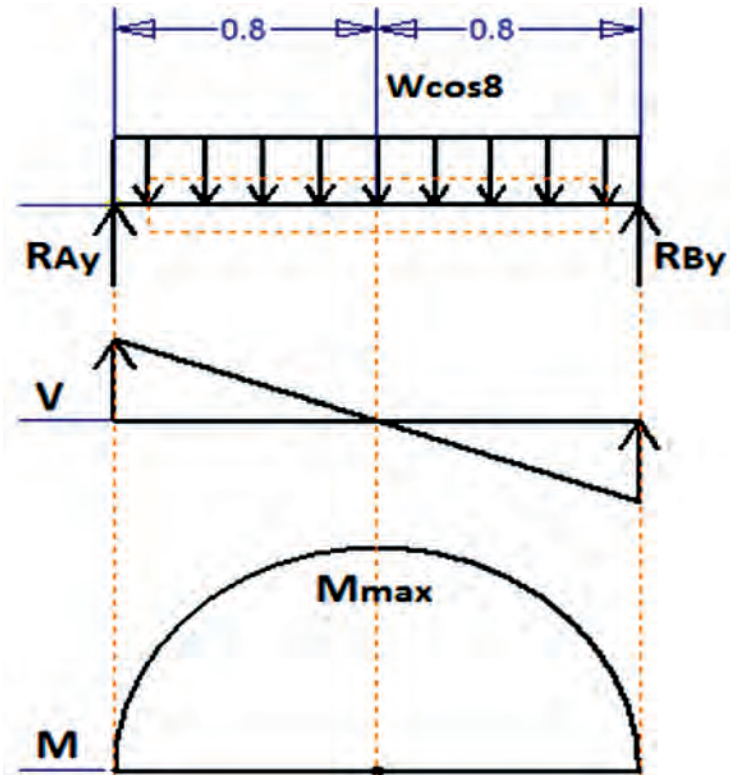

FIGURE 8. Shear and bending moment diagram of the brush shaft.
FIGURA 8. Diagrama de cortante y momento flector del eje del cepillo.

Selection of Sprockets and Transmission Chain

The sprockets and the chain make up the power transmission system from the motor to the main shaft, so they must be selected according to the working conditions in which this machine will operate. The reduction of sprockets is given by equation 8.

$$r = \frac{n1}{n2} = \frac{z1}{z2} \tag{8}$$

where:
n_1: gear motor rotation frequency equal to 120 *rpm*.
N_2: proposed machine rotation frequency equal to 40 *rpm*.
Z_1: number of teeth of the conducted sprocket.
Z_2: proposed number of teeth of the motor sprocket equal to 17.

Selección de catarinas y cadena de transmisión

Las catarinas y la cadena conforman el sistema de transmisión de potencia del motor al eje principal por lo que se debe realizar la selección de las mismas de acuerdo a las condiciones de trabajo en las que operara nuestra máquina. La reducción de las catarinas está dada por la ecuación 8.

$$r = \frac{n1}{n2} = \frac{z1}{z2} \tag{8}$$

donde:
n_1: frecuencia de rotación del motor reductor igual a 120 *rpm.*
N_2: frecuencia de rotación de la máquina propuesta igual a 40 *rpm.*
Z_1: número de dientes de la catarina conducida.
Z_2: número de dientes de la catarina motriz propuesto igual a 17.

Substituting the parameters in equation 9, the transmission ratio will be 3, with the sprocket driven 51 teeth. Therefore, according to Faires (1999) a sprocket number 35 is chosen, with 52 teeth.

A number 35 chain is selected, with a circular pitch equal to 9.52 *mm*, single strand with type A manual or drip lubrication, according to ANSI Standard (Budynass & Nisbett, 2019)

The approximate mass of the vermicompost screening machine is 370 *kg*.

RESULTS AND DISCUSSION

Taking into account the established methodology, the best design variant was defined and the main design parameters were calculated, obtaining a machine prototype (Figure 2), with a 2 "x 2" 14 gauge PTR base, which will allow the placement of the systems and elements of the screening machine, with dimensions of 13.15 x 1.2 m; transport system with 4 steerable wheels; lifting system that will allow the machine to be positioned at an 8° angle of inclination for the screening position, consisting of a lifting screw and two 2 "x 2" 14 gauge PTR fixing brackets. Fertilizer dosing system is made up of a 20 gauge steel sheet inlet hopper where approximately 0.3 m^3 of fertilizer will be placed and an endless conveyor with dimensions that allow dosing 2 m^3/h of fertilizer to the screening system, at 4, 2 rad/s; screening system consisting of 20 gauge perforated steel sheet screening drum with 0.6 mm holes with 0.9 mm distance among centers, with 75 cm diameter and 145 cm length, thick hearth rings 3/16" by 1" wide and 75 cm in diameter that will provide greater rigidity to the screening drum. The 145 cm long polypropylene steel bar support arms, which will have arms that allow it to be placed in the working position, to avoid clogging of the drum holes during the screening process. The collection system is made of a compost collection hopper and a waste collection hopper, both made of 20 gauge steel sheet with dimensions proposed according to the base of the machine; transmission system where there is a 1 hp motor, with a 5/8 "cylindrical 10: 1 reducer that fixes the screen drum with the main shaft and the cleaning brush with bristles and a chain system with sprockets that will provide the transmission of motion at a constant angular velocity.

CONCLUSIONS

- After carrying out the design of the machine prototype, it is concluded that it is easy to use, maintain and perform the screening, humanizing the work. The motor to be used is 1 hp and a gear motor that reduces the rotation frequency to 120 rpm.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: M. V. Gómez. Data curation: M. V. Gómez, L. T. Castellanos. Formal analysis: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos, J. V. Cervante, M. A. Pérez, R. Chávez-Mota. Investigation: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos. Methodology: M. V. Gómez, L. T. Castellanos,. Supervision: M. V. Gómez. Roles/Writing,

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 9, se tiene que la relación de transmisión será de 3, con la rueda catarina conducida 51 dientes. Por lo que de acuerdo a Faires (1999) se elige una catarina número 35, con 52 dientes.

Se selecciona una cadena número 35, con paso circular igual a 9,52 mm, de un solo hilo con lubricación tipo A manual o por goteo, según Norma ANSI (Budynass y Nisbett, 2019).

La masa aproximada de la máquina cribadora de vermicomposta es de 370 kg.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la metodología establecida, se definió la mejor variante de diseño y se calcularon los principales parámetros de diseño, obteniéndose un prototipo de máquina (Figura 2), con una base de PTR calibre 14 2"x 2", que permitirá colocar los sistemas y elementos de la máquina cribadora, con dimensiones de 13,15 x 1.2 m; sistema de transporte con 4 ruedas dirigibles; sistema de elevación que permitirán colocar a la máquina con un ángulo de inclinación de 8° para la posición de cribado, compuesto por un tornillo de elevación y dos soportes de fijación de PTR calibre 14 2"x 2"; sistema de dosificación de abono conformado por una tolva de entrada de lámina de acero calibre 20 donde se colocará aproximadamente 0,3 m^3 de abono y un sinfín transportador con dimensiones que permiten dosificar 2 m^3/h de abono al sistema de cribado, a 4,2 rad/s; sistema de cribado compuesto por el tambor cribador de lámina de acero calibre 20 perforada con barrenos de 0,6 mm con una distancia entre centros de 0.9 mm con un diámetro de 75 cm y una longitud de 145 cm, anillos de solera con espesor de 3/16" por 1" de ancho y 75 cm de diámetro que proporcionarán mayor rigidez al tambor cribador, los brazos soporte de barra de acero de polipropileno de 145 cm de largo, que contará con brazos que permiten colocarlo en posición de trabajo, para evitar la obstrucción de los orificios del tambor durante el proceso de cribado; sistema de recolección, donde se cuenta con una tolva de recolección de abono y una de recolección de residuos ambas de lámina de acero calibre 20 con dimensiones propuestas de acuerdo a la base de la máquina; sistema de transmisión donde se cuenta con un motor de 1 hp, con un reductor 10:1 cilíndrica de 5/8" que fijan al tambor cribador con el eje principal y el cepillo limpiador con cerdas y un sistema de cadena con catarinas que proporcionaran la transmisión de movimiento a una velocidad angular constante.

CONCLUSIONES

- Después de realizar el diseño del prototipo de máquina, se concluye que el mismo es, de fácil manejo, mantenimiento y realiza el cribado humanizando el trabajo. El motor que se utilizará es de 1 hp y una moto reductora que reduce la frecuencia de rotación a 120 rpm.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: M. V. Gómez. Data curation: M. V. Gómez, L. T. Castellanos. Formal analysis: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos, J. V. Cervante, M. A. Pérez, R. Chávez-Mota. Investigation: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos. Methodology: M. V. Gómez, L. T. Castellanos,. Supervision: M. V. Gómez. Roles/Writing,

original draft: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos. Writing, review & editing: L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos, J. V. Cervante, M. A. Pérez, R Chávez-Mota.

original draft: M. V. Gómez, L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos. Writing, review & editing: L. T. Castellanos, L. A. Soriano, J. A. Castellanos, J. V. Cervante, M. A. Pérez, R Chávez-Mota.

REFERENCES

BEER, F.P.; JOHNSTON, E.; RUSSELL, J.: *Mechanics of Materials*, Ed. McGraw-Hill, USA, 2010, ISBN: 978-0-07-128422-6.

BEER, F.P.; RUSSELL, J.E.Jr.; DEWOLF, J.T.; MAZUREK, D.: *Mecánica de Materiales*, Ed. Mc Graw Hill, sexta ed., México, DF, 817 p., 2013, ISBN: 978-607-15-0934-5.

BUDYNASS, R.G.; NISBETT, K.: *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Ed. Mc Graw Hill Education, novena ed., Edo. de México, México, 1059 p., 2019, ISBN: ISBN 978-607-15-0771-6.

BUTTERS, J.R.; BRENNAN, J.: *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*, Ed. Acribia, Mexico, 714 p., 1998.

CALDERON, F.E.: "Impacto de la lombricultura en Mazapiltepec", En: *VI Congreso internacional de ciencias Ambientales*, México, pp. 767-768, 2003.

CECCON, E.: "La revolución verde: tragedia en dos actos", *Ciencias*, 91(091), 2008, ISSN: 0187-6376.

CHENG, L.Ch.; DE MELO FILHO, L. del R.: *QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos*, Ed. Editora Blucher, 2007, ISBN: 85-212-1691-2.

COMPAGNONI, L.; PUTZOLU, G.: *Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus*, Ed. Parkstone International, 2018, ISBN: 1-68325-590-9.

DÁVILA, M.T.; RAMÍREZ, C.A.: "Lombricultura en pulpa de café", *Avances Técnicos Cenicafé*, 225(1), 1996.

DE MELO, L.F.: "QFD na garantia da qualidade do produto durante seu desenvolvimento: caso em uma empresa de materiais", *Production*, 17(3): 604-624, 2007, ISSN: 0103-6513.

DEAN, R.A.; MAGLIONE, L.S.; CAPPELLARI, F.O.: "Análisis de función y matriz morfológica aplicado al diseño de un implemento agrícola", *Aporte Santiaguino*,: ág-11, 2018, ISSN: 2616-9541.

FAIRES, V.M.: *Diseño de elementos de máquinas*, Ed. Limusa Noriega, México, DF, 1999, ISBN: 978-607-05-0436-5.

FLÓREZ, D.A.; RAMÍREZ, W.A.; VARELA, L.B.: "Diseño conceptual de una máquina peletizadora de alimentos para aves de corral", *Medellín-Ingeniería Mecánica-Facultad de Minas-Universidad Nacional de Colombia*, 2010.

HERNÁNDEZ, P.D.: "Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos", *CONACYT*, 2013, ISSN: 2007-3380.

MARTÍNEZ, C.C.: *Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo*, Inst. Lombricultura técnica Mexicana, México, DF, 140 p., 1999.

MENDOZA, R.O.: *Diseño de máquina cribadora de vermicomposta*, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Tesis Profesional, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, 16-57 p., 2013.

MONTESINOS, S.; ECHEVERRÍA, Y.; ALVARADO, A.; MANZANO, M.: "Aplicación del QFD y AHP en el diseño de una montura mecánica para manipular una lente sintonizable sólida elástica por compresión", *Revista de Ingeniarla Industrial*,: 22-29, 2016.

MOTT, R.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Ed. Prentice Hall, cuarta ed., USA, 2011.

NTERNATIONAL STANDARD ORGANITATION ISO: *General principies and perspectives of QFD., 2015*, ISO, 2015.

PÉREZ, Y.; RÍOS, R.; SÁNCHEZ, C.; VERGARA, I.; NOY, M.: ""QFD VS AHP: Comparación de los resultados en la obtención de los requisitos de calidad", *Ingeniería Industrial*, 28: 62-65, 2007, ISSN: 0258-5960, e-ISSN: 1025-9929.

RODRÍGUEZ, D.N.; CANO-RÍOS, P.; FAVELA-CHÁVEZ, E.; FIGUEROA-VIRAMONTES, U.; DE PAUL-ÁLVAREZ, V.; PALOMO-GIL, A.; MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, C.; MORENO-RESÉNDEZ, A.: "Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2): 185-192, 2007, ISSN: 1027-152X.

RODRÍGUEZ, M.; CHAGOLLA, H.; LÓPEZ, M.: "Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato", En: *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, Ed. Citeseer, pp. 299-318, 2014, ISBN: 607-8324-27-6.

SCHULDT, M.: *Lombricultura. Teoría y práctica*, Ed. Mundi-Prensa Libros, 2006, ISBN: 84-8476-296-3.

SHIGLEY, J.E.; MISCHKE, C.R.: *Mechanical Engineering Design*, Ed. McGraw-Hill, Décima edición ed., México, DF, 2011, ISBN: 0-07-107783-9.

XELHUANTZI; SALAZAR, G.G.: *Manual para la elaboración de abonos orgánicos*, Ed. SAGARPA, Folleto No. 2 ed., México D.F., 48 p., 2012.

María Gómez-Aguila, Profesora, Investigadora, *Centro* de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. mgomeza@chapingo.mx, ORCID iD: https://orcid.org/0000-0001-9603-2856

Luis Tonatiuh-Castellanos, **Profesor, Investigador,** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. lcastellanoss@chapingo.mx, ORCID iD**:** https://orcid.org/0000-0003-3299-985

Luis Soriano-Avendaño, **Profesor, Investigador,** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. lsorianoa@chapingo.mx, ORCID iD: https://orcid.org/0000-0003-3299-9851

José Alfredo Castellanos-Suárez, **Profesor, Investigador,** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. jcastellanoss@chapingo.mx ORCID iD:

https://orcid.org/0000-0001-8950-1992

Marcelino Pérez-Vivar, **Profesor, Investigador,** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. mperezv@chapingo.mx, ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-2746-8688

Ramiro Chávez-Mota, **Profesor, Investigador,** Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. rchavezm@chapingo.mx, ORCID iD: https://orcid.org/0000-0001-5354-4034

Josué Vicente Cervantes-Bazán, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco de Mora. Estado de México, México, e-mail: jcervantesba@chapingo.mx ORCID iD: https://orcid.org/0000-0003-4849-1518

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.