

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

**DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA SEMBRADORA MULTIUSO-  
MULTICULTIVO ACCIONADA POR UN TRACTOR DE DOS RUEDAS**

TESIS

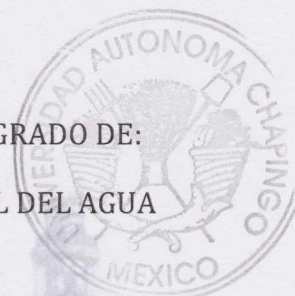
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

**Jesús Antonio López Gómez**

DIRECTOR:

**Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México enero de 2014



**DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA SEMBRADORA MULTIUSO-MULTICULTIVO  
ACCIONADA POR UN TRACTOR DE DOS RUEDAS**

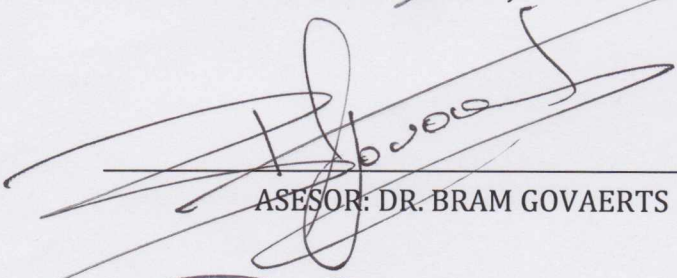
Tesis realizada por el Ing. Jesús Antonio López Gómez bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**



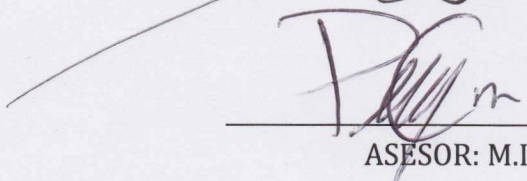
---

DIRECTOR: DR. GILBERTO DE JESÚS LÓPEZ CANTÉNS



---

ASESOR: DR. BRAM GOVAERTS



---

ASESOR: M.I. PEDRO CRUZ MEZA

## **DEDICATORIA**

*A mi madre por estar siempre conmigo y apoyarme, por ser un ejemplo de lucha y perseverancia*

*A mis hermanos Elizabeth, Mary, Eugenia, Gerardo y Marlene por estar siempre acompañándome para poderme formar profesionalmente.*

*A mis compañeros y amigos por haber compartido trabajo y diversión.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de formarme personal y profesionalmente.*

*A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por permitirme realizar mis estudios de maestría y por la beca otorgada.*

*Al Dr. Gilberto de Jesús López Canteñs, al M. I. Pedro Cruz Meza y al Dr. Eugenio Romanchik Kriuchikova por las valiosas observaciones en este trabajo de investigación.*

*Al Dr. Bram Govaerts y Jelle Van Loon por permitirme trabajar en conjunto con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.*

*Al Ingeniero Gabriel Martínez, Javier Vargas y al personal de campo del programa de agricultura de conservación del CIMMYT por su ayuda en la etapa experimental.*

*Al personal del Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la UACH, por su apoyo durante mi estancia en la universidad.*

*Al M. C. Marco Antonio Audelo Benítez del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola por los equipos e instrumentos usados en la investigación.*

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

EL autor de este trabajo nace el 14 de junio de 1987 en el municipio de Oxchuc, Chiapas, donde realizó sus estudios de nivel básico, posteriormente se traslada a la ciudad de San Cristóbal de las Casas donde cursa sus estudios de nivel medio. En el año de 2005 inicia su licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo en la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola. Realizó su estancia profesional en la empresa Tecnomec Agrícola ubicada en la ciudad Jesús María Aguascalientes colaborando en el área de diseño.

En agosto de 2011 ingresó al programa de Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua para realizar sus estudios de maestría. Durante el segundo año de la maestría realiza su estancia de investigación en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en el área de maquinaria agrícola.

## **CONTENIDO**

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                                    | <b>2</b>  |
| <b>JUSTIFICACIÓN .....</b>                                                   | <b>4</b>  |
| <b>OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS .....</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>                                                | <b>7</b>  |
| 1.1 Importancia de los cultivos maíz y trigo en México .....                 | 7         |
| 1.2 Agricultura de conservación .....                                        | 9         |
| 1.3 Siembra en camas permanentes .....                                       | 11        |
| 1.4 El tractor de dos ruedas y la mecanización de la pequeña extensión ..... | 13        |
| 1.5 Sembradoras para tractor de dos ruedas .....                             | 15        |
| 1.6 Descripción general de las máquinas sembradoras .....                    | 20        |
| 1.7 Sembradoras monograno .....                                              | 20        |
| 1.7.1 Armazones .....                                                        | 21        |
| 1.7.2 Tolvas para semilla y fertilizante .....                               | 22        |
| 1.7.3 Dosificador de semilla .....                                           | 22        |
| 1.7.4 Dosificadores de platos con alvéolos .....                             | 23        |
| 1.7.5 Dosificador de fertilizante .....                                      | 25        |
| 1.7.6 Dosificador tipo chevrón .....                                         | 25        |
| 1.7.7 Dosificador de plato con estrella .....                                | 26        |
| 1.7.8 Dosificador de gusano sin fin .....                                    | 26        |
| 1.7.9 Dosificador de rodillo acanalado .....                                 | 27        |
| 1.8 Corte de residuos .....                                                  | 28        |
| 1.9 Abresurcos .....                                                         | 29        |
| 1.10 Control de profundidad y compactación de la semilla .....               | 31        |
| <b>2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MATERIAL DE PRUEBA .....</b>          | <b>33</b> |
| 2.1 Variables a determinar .....                                             | 33        |
| 2.1.1 Forma y tamaño .....                                                   | 33        |
| 2.1.2 Contenido de humedad .....                                             | 35        |
| 2.1.3 Densidad .....                                                         | 37        |
| 2.1.4 Porcentaje de germinación de las semillas .....                        | 39        |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.5. Ángulo de reposo .....                                                 | 40        |
| <b>3. DISEÑO CONCEPTUAL .....</b>                                             | <b>44</b> |
| 3.1 Generalidades del diseño conceptual .....                                 | 44        |
| 3.1 Identificación de la necesidad .....                                      | 46        |
| 3.2 Definición del problema.....                                              | 46        |
| 3.3 Generación de alternativas de solución .....                              | 46        |
| 3.4 Establecimiento de la estructura de funciones .....                       | 46        |
| 3.5 Principios de solución para satisfacer las sub-funciones. ....            | 48        |
| 3.6 Evaluación y selección de la mejor alternativa.....                       | 50        |
| 3.6.1 Identificación de los criterios de evaluación .....                     | 50        |
| 3.6.2 Construcción del árbol de objetivos .....                               | 51        |
| 3.6.3 Carta de evaluación .....                                               | 53        |
| 3.7 Diseño preliminar .....                                                   | 55        |
| <b>4. DISEÑO DE DETALLE .....</b>                                             | <b>59</b> |
| 4.1 Enganche al tractor y chasis .....                                        | 59        |
| 4.2 Tolva para semilla.....                                                   | 60        |
| 4.4 Tolva para fertilizante.....                                              | 63        |
| 4.5 Sistema de dosificación de fertilizante .....                             | 63        |
| 4.6 Sistema de transmisión de movimiento .....                                | 66        |
| 4.6.1 Cálculo de las relaciones de transmisión .....                          | 67        |
| 4.6.3 Cálculo de las fuerzas de reacción en los apoyos del eje .....          | 72        |
| 4.6.4 Cálculo del diámetro mínimo del eje .....                               | 75        |
| 4.6.5 Selección de los rodamientos .....                                      | 75        |
| 4.7 Selección de la cadena de rodillo y catarinas.....                        | 77        |
| 4.8 Selección de los componentes del abresurco .....                          | 81        |
| 4.9 Construcción del prototipo.....                                           | 84        |
| <b>5. PRUEBA Y EVALUACIÓN .....</b>                                           | <b>87</b> |
| 5.1 Pruebas con la máquina estática .....                                     | 88        |
| 5.2 Evaluación de la dosificación distribución espacial de las semillas ..... | 89        |
| 5.3 Evaluación en campo.....                                                  | 90        |
| 5.3.1 Condiciones de la parcela .....                                         | 90        |

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4 Resultados obtenidos durante la siembra.....                                                                | 92         |
| 5.5 Formación de camas.....                                                                                     | 96         |
| 5.6 Niveles de ruido y vibración .....                                                                          | 97         |
| 5.7 Prueba de potencia necesaria .....                                                                          | 98         |
| <b>6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MÁQUINA PROTOTIPO .....</b>                                                      | <b>103</b> |
| 6.1 Costos para la construcción del prototipo .....                                                             | 104        |
| 6.1.1 Materiales .....                                                                                          | 104        |
| 6.1.2 Mano de obra .....                                                                                        | 104        |
| 6.1.3 Costos por uso de instalaciones.....                                                                      | 104        |
| 6.1.4 Costos por consumo de energía eléctrica .....                                                             | 104        |
| 6.2 Costos horarios totales del prototipo .....                                                                 | 106        |
| 6.2.1 Costos fijos .....                                                                                        | 106        |
| 6.2.2 Costos variables .....                                                                                    | 110        |
| 6.2.3 Mantenimiento y reparación .....                                                                          | 110        |
| 6.3 Costos de operación.....                                                                                    | 111        |
| 6.3.1 Costos de la materia prima .....                                                                          | 112        |
| 6.4 Ingresos por el servicio de la máquina .....                                                                | 112        |
| 6.4.1 Utilidades .....                                                                                          | 113        |
| 6.4.2 Relación beneficio-costos .....                                                                           | 113        |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                                                                      | <b>114</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>                                                                            | <b>115</b> |
| <b>ANEXO A. Planos de piezas y ensamblajes .....</b>                                                            | <b>121</b> |
| <b>ANEXO B. Resultados de las diferentes pruebas al prototipo.....</b>                                          | <b>133</b> |
| <b>ANEXO C. Tablas de datos para los cálculos del prototipo y Metodología para la evaluación en campo .....</b> | <b>150</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                 | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 2.1. Resultados obtenidos en la determinación del contenido de humedad.....                                               | 38   |
| Tabla 2.2. Resultados obtenidos en la determinación de la densidad de la semilla de maíz y trigo.....                           | 39   |
| Tabla 2.3. Resultados obtenidos en la determinación del ángulo de reposo de la semilla de maíz y la mezcla de fertilizante..... | 43   |
| Tabla 3.1. Principios de solución para satisfacer las sub-funciones.....                                                        | 50   |
| Tabla 3.2. Escala para la asignación de valores.....                                                                            | 54   |
| Tabla 3.3. Carta de evaluación.....                                                                                             | 58   |
| Tabla 4.1. Valores de $\lambda$ para distintos tipos de carga.....                                                              | 65   |
| Tabla 4.2. Coeficiente de resistencia de distintos materiales.....                                                              | 67   |
| Tabla 4.3. Datos de inicio para el cálculo de la transmisión.....                                                               | 69   |
| Tabla 4.4. Relaciones de transmisión y velocidades angulares en los distintos ejes.....                                         | 70   |
| Tabla 4.5. Engranajes seleccionados del manual Martin Sprocket & Gear.....                                                      | 70   |
| Tabla 4.6. Resultados obtenidos en el cálculo de las fuerzas piñón- engrane.....                                                | 73   |
| Tabla 4.7. Resultados obtenidos en el cálculo de las reacciones de los soportes...                                              | 75   |
| Tabla 4.8. Distancias y longitudes para las distintas cadenas.....                                                              | 82   |
| Tabla 5.3. Ajustes realizados en la máquina para la siembra.....                                                                | 92   |
| Tabla 5.4. Resultados obtenidos en la siembra con el chuzo 1.....                                                               | 94   |
| Tabla 5.5. Resultados obtenidos en la siembra con el chuzo 2.....                                                               | 95   |
| Tabla 6.1. Materiales utilizados en la construcción del prototipo.....                                                          | 103  |
| Tabla 6.2. Vida útil para distintas máquinas. ....                                                                              | 105  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                       | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura1. Distribución porcentual del valor de la producción de maíz por entidad federativa.....                                                                                                       | 7    |
| Figura 2. Distribución porcentual del valor de la producción de trigo por entidad federativa.....                                                                                                     | 8    |
| Figura 3. Rendimiento relativo de maíz en el experimento a largo plazo del CIMMYT. Agricultura de conservación: rendimientos altos y estables.....                                                    | 11   |
| Figura 4. Comparación en rendimientos y costos de producción en camas convencionales y camas permanentes, durante varios años del Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste en Cd. Obregón..... | 12   |
| Figura 5. Área de influencia de los nodos de innovación actuales y en desarrollo.....                                                                                                                 | 13   |
| Figura 6. Unidades de producción por tamaño de finca.....                                                                                                                                             | 14   |
| Figura 7. Tractor de dos ruedas o motocultor.....                                                                                                                                                     | 15   |
| Figura 8. Sembradora 2BG-6A.....                                                                                                                                                                      | 16   |
| Figura 9. Detalle de las cuchillas enderezadas.....                                                                                                                                                   | 17   |
| Figura 10. Sembradora desarrollada por ACIAR.....                                                                                                                                                     | 17   |
| Figura 11. Sembradora-fertilizadora brasileña.....                                                                                                                                                    | 18   |
| Figura 12. Sembradora-fertilizadora fabricada en China.....                                                                                                                                           | 18   |
| Figura 13. Tipos de tolvas para semilla y fertilizantes, A-para cada línea de siembra; B-única para todos las líneas de siembra.....                                                                  | 22   |
| Figura 14. Dosificador de plato horizontal.....                                                                                                                                                       | 23   |
| Figura 15. Dosificador de plato inclinado.....                                                                                                                                                        | 24   |
| Figura 16. Dosificador de plato vertical.....                                                                                                                                                         | 24   |
| Figura 17. Dosificador de fertilizante tipo chevrón.....                                                                                                                                              | 26   |
| Figura 18. Dosificador de fertilizante tipo estrella.....                                                                                                                                             | 26   |
| Figura 19. Dosificador de fertilizante tipo sinfín.....                                                                                                                                               | 27   |
| Figura 20. Dosificador de rodillo acanalado.....                                                                                                                                                      | 27   |
| Figura 21. Tipos de discos cortadores de paja.....                                                                                                                                                    | 28   |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Abresurcos de disco.....                                                                                       | 30 |
| Figura 23. Abresurcos tipo cincel (a) azada; (b) patín; (c) T invertida; (d) pala reversible; (e) cincel; (f) zapata..... | 30 |
| Figura 24. Control de profundidad de semilla y rueda compactadora.....                                                    | 31 |
| Figura 25. Ruedas de control de profundidad (a) en abresurco de cincel; (b) en abresurco de disco.....                    | 31 |
| Figura 26. Dimensiones de la semillas. ....                                                                               | 34 |
| Figura 27. Torre de tamices para determinar la distribución de tamaño del fertilizante.....                               | 35 |
| Figura 28. Distribución de las partículas de fertilizante en la mezcla.....                                               | 35 |
| Figura 29. Muestras para obtener el contenido de humedad A) maíz, B) trigo..                                              | 36 |
| Figura 30. Obtención de la densidad de grano de maíz.....                                                                 | 38 |
| Figura 31. Prueba de germinación en semillas de maíz.....                                                                 | 39 |
| Figura 32. Ángulo de reposo estático para la mezcla de fertilizante.....                                                  | 41 |
| Figura 33. Ángulo de reposo dinámico, A) maíz, B) Trigo.....                                                              | 41 |
| Figura 34. Etapas del diseño conceptual.....                                                                              | 45 |
| Figura 35. Función global de la sembradora accionada por tractor de dos ruedas.....                                       | 47 |
| Figura 36. Diagrama de bloques de las sub-funciones del prototipo.....                                                    | 48 |
| Figura 37. Estructura del árbol de objetivos.....                                                                         | 52 |
| Figura 38. Boceto preliminar del prototipo.....                                                                           | 56 |
| Figura 39. Enganche de la sembradora al tractor.....                                                                      | 59 |
| Figura 40. Chasis de la sembradora.....                                                                                   | 59 |
| Figura 41. Banco de pruebas para dosificador de plato inclinado.....                                                      | 60 |
| Figura 42. Vistas de la tolva para semillas con dosificador de plato inclinado....                                        | 61 |
| Figura 43. Acomodo de los componentes del sistema de dosificación de semillas.....                                        | 61 |
| Figura 44. Platos dosificadores.....                                                                                      | 62 |
| Figura 45. Cubierta para el plato dosificador.....                                                                        | 62 |
| Figura 46. Tolva para fertilizante.....                                                                                   | 63 |

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 47. Configuración de la transmisión de movimiento, Zi; Catarinas, A-F; Chumaceras.....             | 66  |
| Figura 48. Diagrama de cuerpo libre del piñón.....                                                        | 70  |
| Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del engrane.....                                                      | 70  |
| Figura 50. Configuración del árbol plano horizontal y vertical de la tolva para semillas.....             | 73  |
| Figura 51. Resultados obtenidos con el software MDsolids.....                                             | 74  |
| Figura 52. Cuerpo del abresurco y rueda de compactación.....                                              | 81  |
| Figura 53. Efecto del ángulo de ataque en la fuerza de tracción a distintas profundidades.....            | 82  |
| Figura 54. Control de profundidad de la máquina.....                                                      | 83  |
| Figura 55. Construcción de platos dosificadores.....                                                      | 84  |
| Figura 56. Construcción del prototipo. A) Tolva para semillas, B) Chasis, C) ensamblaje del embrague..... | 85  |
| Figura 57. Espaciamiento entre semillas.....                                                              | 89  |
| Figura 58. Obtención de muestras de suelo en la parcela de pruebas.....                                   | 91  |
| Figura 59. Siembra en camas angostas con rastrojo de trigo.....                                           | 92  |
| Figura 60. Tipos de abresurco usados en la siembra.....                                                   | 95  |
| Figura 61. Corte de rastrojo de maíz.....                                                                 | 95  |
| Figura 62. Tipos herramientas usadas en la formación de camas.....                                        | 96  |
| Figura 63. Formación de camas angostas (0.75 m).....                                                      | 97  |
| Figura 64. Medición de la vibración, A- Colocación en la máquina, B- Sensor.....                          | 97  |
| Figura 65. Medición del ruido.....                                                                        | 98  |
| Figura 66. Medición de la potencia de tracción con dos tractores.....                                     | 100 |
| Figura 67. Determinación de potencia para la tracción del implemento.....                                 | 100 |
| Figura 68. Apartados que considera el análisis de costos del prototipo.....                               | 103 |

# DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA SEMBRADORA MULTIUSO-MULTICULTIVO ACCIONADA POR UN TRACTOR DE DOS RUEDAS

## DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A MULTIPURPOSE-MULTICROP SEEDER POWERED FOR A TWO WHEEL TRACTOR

<sup>1</sup>Jesús Antonio López Gómez, <sup>2</sup>Gilberto de Jesús López Canteñs

Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma  
Chapingo. Km 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo de México. C.P. 56230. Tel.  
01(595)9521551. iauia@correo.chapingo.mx, jesus.alogo@gmail.com

### RESUMEN

La finalidad de la presente investigación fue desarrollar una máquina capaz de realizar la siembra, fertilización y reformación de camas angostas. Se determinaron propiedades físico-mecánicas de la semilla de maíz, trigo así como de fertilizante granular para realizar el diseño conceptual y diseño de detalle. Se construyó y posteriormente se evaluó el prototipo bajo condiciones de siembra sobre rastrojo en camas angostas de 0.75 m de ancho. La máquina cuenta con los siguientes componentes: enganche, chasis, disco de corte, abresurco, tolva para semillas, tolva para fertilizante y ruedas de control de profundidad. El peso del implemento es de 181 kg usando dos cuerpos de corte y dos de siembra, para la operación de reformación se usan dos discos de corte y dos surcadores o patas de mula con un peso de 195 kg. Las dimensiones principales son 1.1 m de longitud, 1 m de ancho y 0.9 m de altura. El rendimiento es de 0.18 ha·h<sup>-1</sup> con un consumo de combustible promedio de 4.16 L·ha<sup>-1</sup>. De las pruebas de campo realizadas con el prototipo se obtuvo una eficiencia en el corte de residuos de rastrojo de maíz de 88.8 % con humedad de 23.4 %.

**Palabras clave:** Máquina agrícola, tractor de dos ruedas, siembra.

### ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a machine able of sowing, fertilizing and reformation of narrow beds. After determining the physical and mechanical properties of the maize, wheat seeds and granular fertilizer a conceptual design and detailed design were made. The prototype was constructed and then evaluated under stubble sowing conditions on narrow beds of 0.75 m width. The machine consist of the following components: Hitch chassis, cutting disk, opener, hopper for seeds, hopper for fertilizer and depth control wheels. The weight of the implement is 181 kg with two bodies of cutting and two of sowing, two cutting disks and two furrowers with a weight of 195 kg are used for the reforming operation. The main dimensions are 1.1 m long, 1 m wide and 0.9 m high. The performance is 0.18 ha·h<sup>-1</sup>, with a fuel consumption average of 4.16 L·ha<sup>-1</sup>.

On the field tests with the prototype was obtained 88.8 % efficiency in cutting under stubble mulching conditions with moisture of 23.4%.

**Keywords:** Agricultural machine, two wheel tractor, sowing.

<sup>1</sup>Thesis author

<sup>2</sup>Thesis director

## INTRODUCCIÓN

La mecanización agrícola es fundamental en el incremento de la producción, puesto que permite aumentar el área cultivada, mejorar las técnicas del cultivo, bajar los costos de producción y dignificar el trabajo humano. Para llevar a cabo dicha mecanización, el pequeño agricultor necesita fuentes de energía económicas, prácticas, de fácil mantenimiento y operación, cuya capacidad de trabajo y costos sean apropiados al tamaño del predio (Negrete, 2011).

A través de la mecanización se promueve el crecimiento económico, mediante mayores rendimientos por hectárea y ampliación del área cultivada, ya sea por la incorporación de nuevas tierras o por la posibilidad de realizar más de una siembra por año, en una misma unidad de superficie. Lo anterior debería replantear las políticas públicas a promover, las cuales deberían fomentar la investigación, docencia y desarrollo de maquinaria agrícola congruente al tamaño de las propiedades agrícolas en el país.

La agricultura de conservación es un sistema que permite aumentar la producción y representa una excelente opción para la conservación de los recursos naturales, se basa en tres principios, mínimo removimiento del suelo, conservación de una cobertura vegetal del cultivo cosechado y la rotación de cultivos. Sin embargo, una de las limitaciones importantes en la adopción de estos sistemas en el sureste de México y para condiciones de siembra de temporal, es la falta de disponibilidad de equipo apropiado y de confiabilidad para la siembra directa en terrenos con residuos orgánicos (Campos et al., 2007).

Los tractores de dos ruedas también llamados motocultores o tractores mono eje son máquinas polivalentes que ofrecen grandes posibilidades en la agricultura en pequeñas extensiones. En las pequeñas fincas son muy comunes las parcelas de reducidas dimensiones, irregulares y con malos accesos, complicados para los tractores. Por otro lado, las dimensiones de estas parcelas no justifican la adquisición de un tractor, máquina que además sería excesivamente aparatosa y poco práctica para desenvolverse con agilidad en las condiciones apuntadas. Atendiendo a criterios

económicos, la rentabilidad de los tractores de dos ruedas está asegurada en las pequeñas explotaciones, donde el volumen de trabajo está acorde con la inversión que requiere la compra del tractor de dos ruedas y con sus costos de utilización.

En trabajos en donde es necesario realizar diversas tareas el tractor de dos ruedas se convierte en una máquina muy versátil permitiendo el uso de diferentes aperos como desbrozadoras, motosegadoras, sembradoras entre otras.

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, existe una demanda potencial de 2000 sembradoras de alta precisión para labranza de conservación en condiciones de temporal, para tractores de potencia media (cuya potencia de tiro y fuerza de levante es menor de 40 kW y 12 kN, respectivamente), en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Guerrero, Oaxaca y Puebla (Campos *et al.* 2007).

En nuestro país las prácticas de conservación se han vuelto una necesidad tecnológica, considerando que más del 60% de nuestro territorio sufre de un moderado a severo grado de desertificación por efectos de la erosión (Novelo, 2000).

Por otro lado, como una variante de la siembra directa en la agricultura de conservación, se tiene la siembra en camas permanentes. En México el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha experimentado de manera intensiva bajo este sistema durante estos últimos años, donde se han observado que ofrece numerosos beneficios principalmente en el consumo de agua.

Esto lleva a diseñar equipos que se adapten a las condiciones específicas del territorio nacional y a los agricultores, que cumplan con los requisitos esenciales de funcionalidad, eficiencia y que tengan precios accesibles para los pequeños productores.

## OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

### General

- Desarrollar una máquina multiuso que sea movida por un tractor de dos ruedas en base a las necesidades del pequeño agricultor con la finalidad de mecanizar el proceso de siembra y fertilización del cultivo de maíz en condiciones de Agricultura de Conservación.

### Específicos

- Diseñar y construir la máquina de manera que permita la modificación en distancias entre hileras de siembra, así como distancia entre plantas.
- Evaluar la posibilidad del uso del mismo mecanismo dosificador para semillas pequeñas y grandes.
- Determinar las características técnicas y funcionales de la sembradora.
- Determinar su funcionalidad bajo el sistema de siembra en camas.

# **CAPÍTULO 1**

## **Marco teórico**

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Importancia de los cultivos maíz y trigo en México

El maíz es el cultivo más importante de México, desde el punto de vista alimentario, económico y social. El maíz blanco se utiliza principalmente para la elaboración de alimentos, como tortillas y tamales, así como aceite comestible o fabricación de barnices, pinturas y cauchos artificiales. Este grano se produce en dos ciclos productivos: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad, temporal y riego, los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Chiapas, Michoacán y Veracruz (Financiera Rural, 2011). La Figura 1 muestra la distribución de la producción de maíz por entidad federativa.

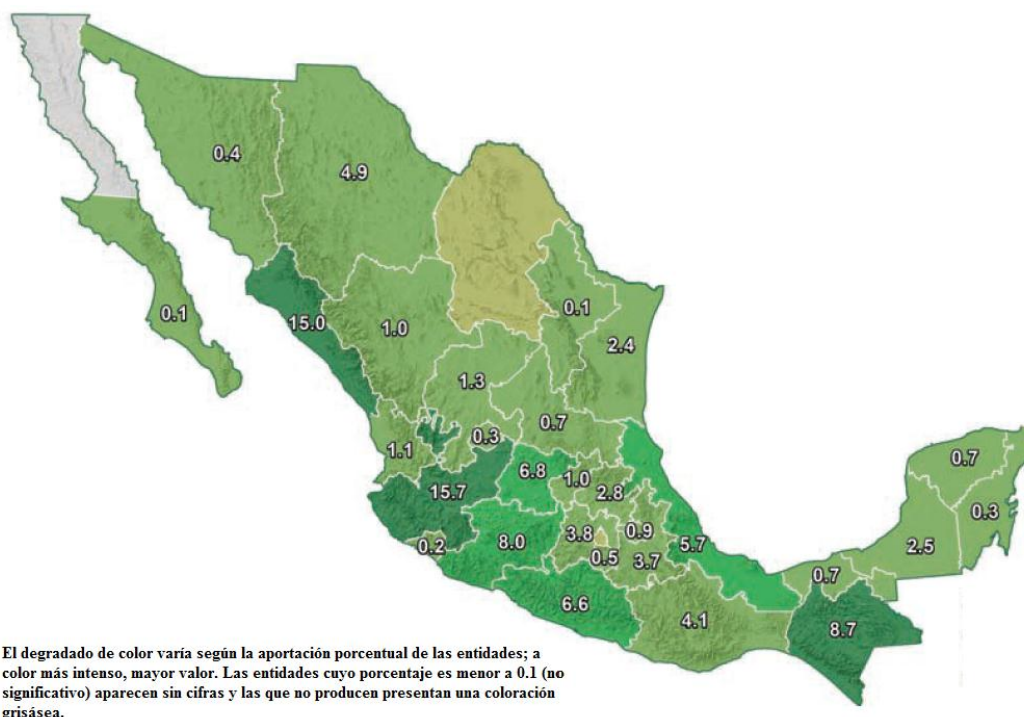


Figura1. Distribución porcentual del valor de la producción de maíz por entidad federativa. Fuente: SIAP (2012).

La superficie sembrada en el país en el 2011 fue de 7 750 301 hectáreas de las cuales 1 681 210 fueron siniestradas y 6 069 092 hectáreas fueron cosechadas, con una producción de 17 635 416 toneladas, el rendimiento promedio fue de 2.9 toneladas/

hectárea. Jalisco y Sinaloa abastecen una de cada tres toneladas del cereal (SIAP, 2012).

Desde el 2006 el maíz grano registró una producción promedio de 21.8 millones de toneladas. Una de cada tres hectáreas cultivadas correspondió a maíz grano en 2011 y 86% de la producción correspondió a la variedad blanco (SIAP, 2012).

Después del maíz, el trigo también es muy importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano. Con él se elaboran varios productos de consumo masivo, como panes, tortillas, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles. Es cultivado principalmente en los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Zacatecas, Tlaxcala, Chihuahua y Michoacán los cuales aportan aproximadamente el 80% de la superficie cosechada de dicho grano (SAGARPA, 2011). La Figura 2 muestra la distribución de la producción de trigo por entidad federativa.



Figura 2. Distribución porcentual del valor de la producción de trigo por entidad federativa. Fuente: SIAP (2012).

La superficie sembrada en el país en el 2011 fue de 714 864 hectáreas de las cuales 52 643 fueron siniestradas y 662 221 hectáreas fueron cosechadas, con una

producción de 3 627 511 toneladas, el rendimiento promedio fue de 5.5 toneladas/hectárea (SIAP, 2012).

En nuestro país existen básicamente dos estrategias de producción:

**a) La Agricultura de autoconsumo.** Relacionada con el minifundio, basado en el uso intensivo de mano de obra familiar de origen rural, y que tiene como principal prioridad garantizar el abastecimiento de maíz para el consumo familiar durante todo el año, por lo que sólo los excedentes son vendidos, pero no necesariamente después de la cosecha. Los estados donde prevalece este tipo de sistema son Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Edo. de México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz y Yucatán. Los agricultores que trabajan bajo este sistema, más que buscar altos rendimientos buscan maíz que les permita obtener tortilla de buena calidad, o que respondan a sus hábitos culturales y alimenticios.

**b) Producción comercial.** Orientada al mercado grande, la característica principal es el uso intensivo del capital, tecnología escala de producción, integración a los mercados y uso de semilla mejorada. Las entidades que destacan por este tipo de sistema son Sinaloa, Sonora, Jalisco, Tamaulipas y la región del Bajío.

## 1.2 Agricultura de conservación

La Agricultura de Conservación (AC) se basa en el concepto fundamental del manejo integrado del suelo, del agua y de todos los recursos agrícolas. Su característica principal es que bajo formas específicas y continuadas de cultivo, la regeneración del suelo es más rápida que su degradación de modo que la intensificación de la producción agrícola es económica, ecológica y socialmente sostenible (Hernández, 2011).

La agricultura de conservación gira en torno a tres principios básicos: perturbación mínima del suelo, manejo de residuos de cosecha y la rotación de cultivos (FAO, 2012), lo cual genera una mejor infiltración del agua, mayor retención de la humedad del suelo y reducción de la erosión, ahorros en mano de obra, agua y uso de

maquinaria, aumento de la materia orgánica del suelo, reducción de las emisiones de gas CO<sub>2</sub> por el uso de tractores y de bombas de riego.

En la AC, se promueve evitar el barbecho durante la preparación del terreno para la siembra, debido a que esta práctica disemina la materia orgánica que se acumula en la superficie del suelo, afecta desfavorablemente su estructura, reduce la capacidad de infiltración del agua y aumenta el riesgo de erosión (Martínez, 2005).

Cuando el barbecho y el rastreo se realizan antes del inicio de las lluvias, la superficie del suelo queda expuesta a la energía cinética de las gotas de agua, generando problemas de erosión. En la agricultura de conservación, las partículas de suelo no están desmenuzadas y la superficie del suelo está protegida total o parcialmente con rastrojo o paja de cultivos anteriores.

Para la labor de siembra en la agricultura de conservación se utiliza la técnica denominada siembra directa que consiste en la plantación sin labranza. En la AC se utilizan equipos o herramientas que colocan la semilla en el suelo a través del mantillo o la cobertura de residuos. Sin embargo, el término siembra directa también se puede referir a los implementos que se usan en la agricultura convencional que combinan labranza primaria y secundaria y siembra en una sola operación mecanizada (FAO, 2013).

La investigación sobre ensayos de sostenibilidad a largo plazo muestra a la Agricultura de Conservación como una posibilidad promisorio para México, ya que la combinación de labranza reducida con retención de los residuos de los cultivos resulta en un rendimiento alto y estable como lo muestra la Figura 3.

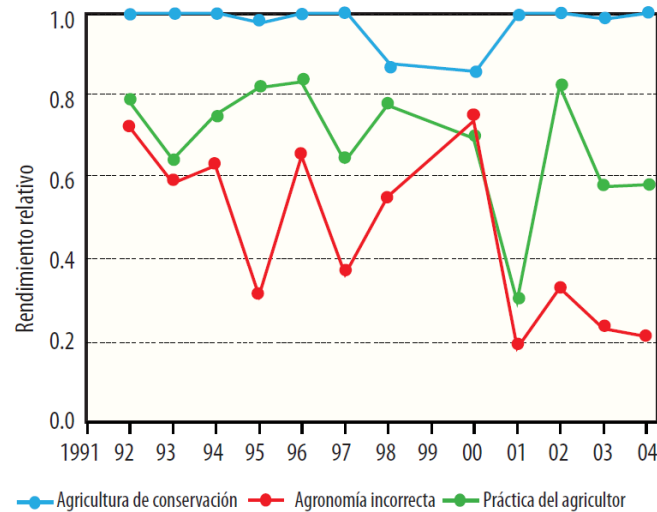


Figura 3. Rendimiento relativo de maíz en el experimento a largo plazo del CIMMYT. Agricultura de conservación: rendimientos altos y estables. Fuente: Govaerts (2005).

### 1.3 Siembra en camas permanentes

En 1991, el Dr. Ken D. Sayre del CIMMYT mostró interés en desarrollar nuevas tecnologías de producción en camas, basándose en los principios de la agricultura de conservación. Por su interés, en 1992, fue iniciado un experimento a largo plazo en el Valle del Yaqui a fin de comparar las prácticas del agricultor con el sistema de camas permanentes. Estas camas son formadas inicialmente durante un último ciclo de labranza; a partir de ahí, son reutilizadas para sembrar el cultivo siguiente, con sólo re-formarlas superficialmente. Las camas permanentes se combinan con distintas opciones de manejo de los residuos de cosecha (Aquino et al, 2012).

Aunque el rendimiento con un manejo adecuado en camas permanentes no es marcadamente mayor que el de las camas con labranza convencional donde se incorporan los residuos, los costos de producción al trabajar en camas permanentes son marcadamente más bajos (Figura 4), ya que se reduce el uso de la maquinaria agrícola y por lo tanto hay un ahorro en combustible y labor.

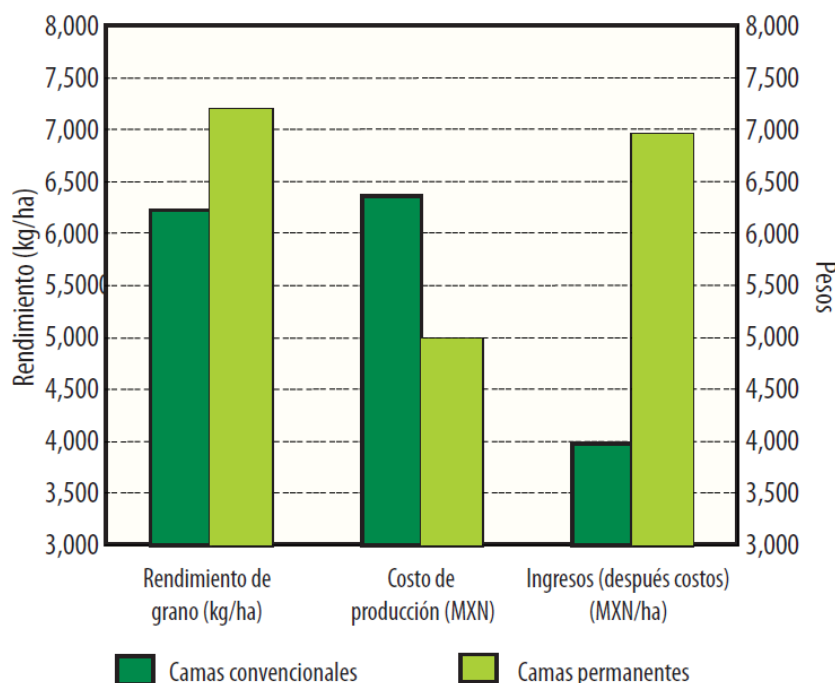


Figura 4. Comparación en rendimientos y costos de producción en camas convencionales y camas permanentes, durante varios años del Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste en Cd. Obregón. Fuente: CIMMYT (2010).

Con el objetivo de desarrollar capacidades en los productores mexicanos para la adaptación y adopción de prácticas agrícolas sustentables que les permitan tener rendimientos altos y estables, generar un menor impacto en el medio ambiente y tener mayores ingresos, el gobierno mexicano junto con el CIMMYT encabeza el programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro).

El área de extensión del programa supera ya las 22 mil hectáreas. Además, a la estructura existente de nodos de innovación o hubs se integró el nodo Chiapas y se comenzaron las actividades para desarrollo de otros tres hubs en 2013. (MasAgro, 2013). La Figura 5 muestra las áreas de influencia del programa MasAgro.



Fuente: CIMMYT (2012).

En las distintas áreas marcadas se llevan a cabo prácticas de agricultura de conservación lo que hace necesario la disponibilidad de maquinaria adecuada atendiendo criterios de superficie de producción y tipo de cultivos.

#### 1.4 El tractor de dos ruedas y la mecanización de la pequeña extensión

A través de la historia de la agricultura y de la humanidad, el hombre ha fabricado una diversidad de utensilios y herramientas manuales. Algunas de ellas acopladas a animales, de las cuales se ha valido para facilitar las labores agrícolas, buscando economía energética, eficiencia y productividad. Sin embargo, esta tecnología va siendo desplazada por máquinas y equipos de mayor potencia y capacidad de operación.

La mecanización es un proceso de desarrollo que hay que determinar, movilizar, asignar y apoyar de acuerdo a las condiciones técnicas, económicas, sociales y políticas en estrecha relación con los objetivos nacionales de desarrollo (Cortés, 2009).

Según Bolaños (2000), en la mayoría de los casos la implementación de la mecanización agrícola ha tenido como meta principal la producción de productos de exportación y de la gran empresa dejando a un lado la participación activa de sectores pequeños. La Figura 6 muestra las unidades de producción según el tamaño de las fincas en el país.

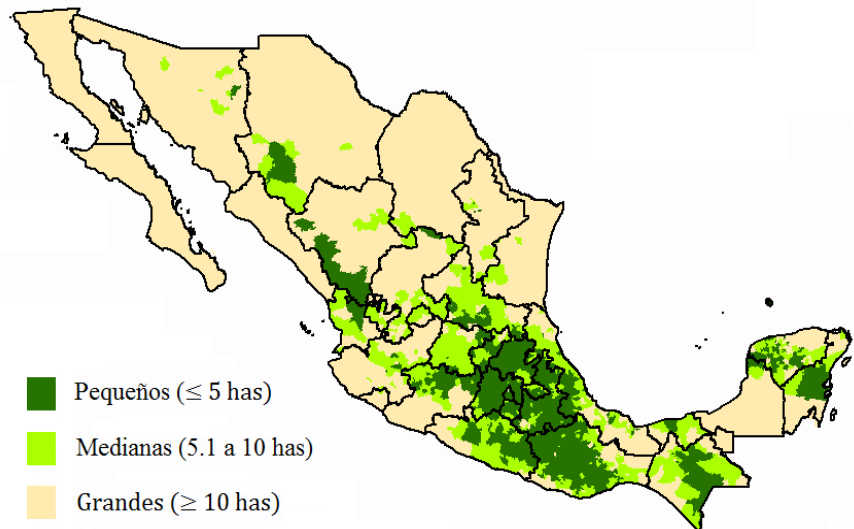


Figura 6. Unidades de producción por tamaño de finca. Fuente: CIMMYT (2013).

La introducción del tractor de dos ruedas (Figura 7) se considera un avance importante para la mecanización de pequeñas extensiones, ya que reduce el trabajo requerido para las distintas labores como la preparación del suelo, la siembra de granos y demás labores del cultivo. Esta máquina se considera dentro de un subgrupo de los tractores agrícolas con la diferencia de que solo posee un eje y es manejado por mancillas, pero puede accionar varios aperos para las distintas operaciones agrícolas.

La capacidad real de dichas máquinas en el campo es 0,20 ha/h para la aplicación de fertilizantes y siembra simultánea de las semillas. El costo de siembra en el caso del trigo y el maíz se reduce en cerca del 50 por ciento, en comparación con los métodos convencionales de labranza (Ribeiro, et al, 2008).



Figura 7. Tractor de dos ruedas o motocultor. Fuente: Donfeng (2013).

### 1.5 Sembradoras para tractor de dos ruedas

Se puede definir una sembradora como una máquina que coloque en el terreno de cultivo las semillas en forma regular en toda la superficie o en líneas equidistantes a una profundidad requerida para su desarrollo (Ortiz, 2003).

La mayoría de los tractores de dos ruedas son capaces de arrastrar sembradoras de hasta cuatro surcos para labranza cero. Los diseñadores simplemente han adaptado los diseños de las sembradoras para labranza cero de los tractores de cuatro ruedas a un número más reducido de surcos, usan abresurcos grandes en T invertida y los mismos cinces, pero reducen a la mitad las tolvas para fertilizantes y semillas. (Ribeiro, et al, 2008).

A pesar de las diferencias del requerimiento de potencia, los modelos de la mayoría de las máquinas pequeñas satisfacen la necesidad de poder manejar los residuos, abrir una ranura adecuada, dosificar las semillas y tal vez el fertilizante, distribuirlos a los abresurcos, colocarlos en el suelo en forma aceptable, cubrir, comprimir las semillas y el fertilizante (Ribeiro, et al, 2008).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en colaboración con el Instituto de Investigación Agrícola de Bangladesh (BARI) realizaron pruebas en el año 1996 a la sembradora 2BG-6A (Figura 8) fabricada en China con la cual obtuvieron grandes beneficios como: sembrar trigo, lentejas y otros cultivos de invierno en suelos muy húmedos (hasta un 30 por ciento de humedad)

inmediatamente después de la cosecha del arroz, lo que evita así las siembras tardías, la colocación de semillas a una profundidad uniforme y la reducción de los problemas de malezas asociados con el cultivo anterior de arroz (Justice *et al*; 2004).



Figura 8. Sembradora 2BG-6A. Fuente: Donfeng (2013).

Debido a que esta sembradora cuenta con un sistema de labranza mediante cuchillas giratorias (rotocultor) y a la cantidad de suelo que este remueve no son consideradas realmente para la agricultura de conservación.

Basadas en la sembradora anterior se experimentó con las cuchillas enderezadas (Figura 9) para cortar los residuos y reducir la cantidad de movimiento del suelo, el área disturbada fue ajustada entre 15 cm y apenas 2-3 cm. Dos ruedas para el control de profundidad fueron colocadas sobre los surcos en lugar del rodillo. Los abresurcos se extienden en profundidad a 7 cm. Justice *et al.* (2004) comparó bajo siembras con residuos de arroz en octubre- noviembre la sembradora con rotocultor completo contra la modificación en las cuchillas realizando labranza únicamente en la línea de siembra obteniendo una reducción del 20% en el consumo de combustible y reducción del 8% en costos de la operación de siembra.

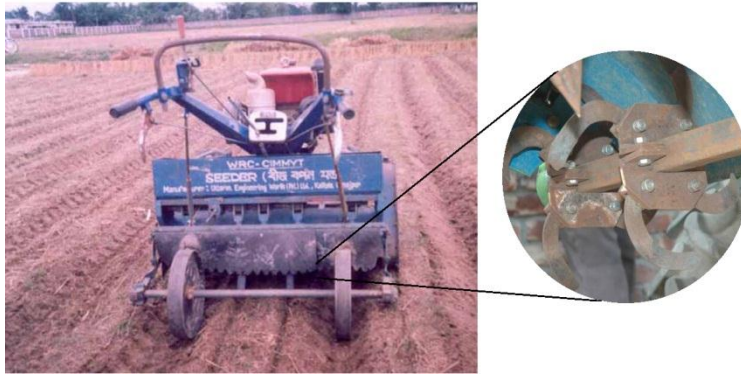


Figura 9. Detalle de las cuchillas enderezadas. Fuente: Ribeiro, et al. (2008).

El Centro Internacional de Investigación Agrícola de Australia (ACIAR) desarrolló una sembradora (Figura 10) capaz de realizar la siembra en dos hileras ajustables, sus dosificadores de semillas son rodillos acanalados similares a las de la sembradora 2BG-6A, con abresurcos en forma de cincel y en la parte trasera se colocó un soporte con el fin de que el operador genere mayor peso al momento de montarse en él.



Figura 10. Sembradora desarrollada por ACIAR. Fuente: Esdaile (2011).

La empresa brasileña Knapik produce sembradoras-fertilizadoras para tractores de dos ruedas (Figura 11) con dos depósitos de semilla y dos depósitos para el fertilizante. Su sistema de dosificación es de plato horizontal, para el fertilizante usa un dosificador en estrella. Las desventajas que presenta esta máquina es que no se puede modificar la distancia entre hileras de siembra, además de no poder aplicar una reja para la reformación de camas.



Figura 11. Sembradora-fertilizadora brasileña. Fuente: Knapik (2013).

En la Figura 12 se muestra una sembradora china para la siembra de granos pequeños y fertilización, sin embargo estas máquinas son para agricultura convencional.



Figura 12. Sembradora-fertilizadora fabricada en China.

En general existe poco desarrollo en el mundo acerca de estas máquinas enfocadas a la agricultura de conservación, países como India y Bangladesh son los que han presentado el mayor avance debido a que el tractor de dos ruedas es ampliamente usado no solo en operaciones agrícolas sino también para el bombeo de agua y transporte de carga.

### **Problemática en el proceso de siembra**

El principal factor que ha limitado la extensión y la adopción del sistema en camas permanentes en los agricultores de pequeña y mediana escala en países en vías de

desarrollo, ha sido la falta de implementos apropiados, sobre todo equipos de siembra.

El sistema en camas permanentes es, en esencia, la más relevante de las tecnologías de la Agricultura de Conservación. Por lo que la tendencia es el desarrollo de implementos multi-cultivo/multiusos que puedan ser reconfigurados de forma sencilla para realizar una serie de actividades como son: la formación de las camas, la aplicación basal en banda o fertilización pos-emergencia del cultivo o, bien, sembrar semilla grande o pequeña.

Algunos de los aspectos a tomar en cuenta en el desarrollo de maquinaria enfocada al sistema de agricultura de conservación son los siguientes:

- a) Dosificación variable: La mayoría de las sembradoras comerciales están diseñada para cierto tipo de cultivos, aunque se pueden diferenciar dos tipos: las sembradoras de grano pequeño (trigo, cebada, avena, etc.) y las de grano grueso (maíz, frijol, habas etc.). Aplicar el principio de rotación de cultivos que establece la agricultura de conservación requeriría de una máquina por cultivo lo que aumentarían los costos de producción.
- b) Manejo de residuos: Es necesario un buen manejo de los residuos de las cosechas anteriores para que la siembra se lleve a cabo de manera precisa. Las máquinas actuales incluyen un disco de corte en la parte frontal de los cuerpos de siembra que soluciona el problema del manejo de residuos.
- c) Control de profundidad: La cantidad de rastrojo que se deja en el suelo como cobertura juega un papel importante dentro de este sistema de producción, sin embargo hace un tanto difícil la colocación de la semilla a la profundidad deseada, un buen control de profundidad dará a la semilla mejores condiciones para su germinación.
- d) Siembra en camas angostas: Actualmente no existe en el mercado máquinas diseñadas para realizar la siembra en camas, en particular el uso del tractor de dos ruedas en este sistema queda limitado por la distancia entre sus dos

ruedas, por lo que solamente puede trabajar bajo camas angostas de 70 a 80 cm.

### **1.6 Descripción general de las máquinas sembradoras**

Para poder obtener buenos rendimientos es necesario realizar una siembra adecuada y obtener las densidades de plantas por unidad de superficie. Adaptar o modificar máquinas sembradoras de cultivos para los cuales no fueron diseñados requiere de hacer pruebas y evaluaciones que permita mejorar los requerimientos a los cuales será sometida.

Las sembradoras tienen como objetivo depositar una por una las semillas a distancias exactas y predeterminadas entre ellas, según el cultivo de que se trate (Alvarado, 2004).

Alvarado (2004) menciona que para realizar una siembra con este tipo de máquina, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Usar semillas calibradas
- Las perforaciones y muescas de los platos dosificadores deben ajustarse al tamaño de la semilla.
- La velocidad periférica del plato dosificador debe permitir que las semillas se alojen en las cavidades sin ninguna dificultad.
- Contar con un dispositivo que obligue a las semillas a caer por el tubo de salida, hasta el fondo del surco.
- Cada semilla debe caer hasta el fondo del surco sin arrastrarse.
- Mantener la profundidad adecuada a la que se depositan las semillas y evitar el rebote.

### **1.7 Sembradoras monograno**

Las sembradoras monograno están diseñadas para sembrar grandes cantidades de diferentes cultivos en muchas condiciones del suelo. Sin embargo, estas sembradoras tendrán componentes que no son similares. Algunos componentes son opcionales y se usan varios diseños para situaciones de siembra especiales (John Deere, 1975).

Normalmente están formadas por cuerpos independientes, cada uno de los cuales dispone de su propia tolva, dosificador discontinuo (a golpes), elementos surcadores y para el tapado de la semilla.

### **1.7.1 Armazones**

Es el elemento sobre el cual se sostienen las tolvas para semilla y fertilizante los abresurcos, generalmente contruidos de barras cuadradas con placas en la parte frontal para su enganche al tractor los cuales se dividen en armazones de sembradoras de tracción, armazones de sembradoras integrales y sembradoras con barra porta-herramientas.

#### *Armazón de sembradora de tracción*

La sembradora de tracción o arrastre tiene sus propias ruedas transportadoras las que están en contacto con el suelo cuando la sembradora está en la posición elevada (transporte) o descendida (siembra). Las unidades sembradoras están montadas en el armazón principal que está acoplado al tractor mediante el pértigo de la sembradora.

La sembradora se eleva y desciende mediante un cilindro hidráulico remoto acoplado al sistema hidráulico del tractor. Las ruedas transportadoras también se usan como impulsores de los mecanismos de medición de semilla así como también aditamentos de sembradora tales como aplicadores granulares.

#### *Armazón de sembradora integral*

El armazón de la sembradora integral puede acoplarse al enganche de tres puntos del tractor o al armazón del tractor.

Las ruedas reguladoras o las ruedas prensadoras impulsan el mecanismo de siembra de la misma forma que la sembradora de tracción.

#### *Sembradora de Barra Portaherramientas*

La sembradora de barra portaherramientas tiene sembradoras tipo unitarias teniendo cada una su propio armazón e impulsor. Cada una de estas unidades es una unidad de

siembra completa y podría usarse sola. Estas unidades pueden acoplarse a una barra portaherramientas de implemento y montadas en el enganche de tres puntos del tractor. También pueden montarse en los armazones integrales o de tracción de otros implementos tales como cultivadores de campo o arados cincel.

### 1.7.2 Tolvas para semilla y fertilizante

La función de este componente es contener las semillas y fertilizante que posteriormente serán distribuidas por la sembradora. Pueden ser tolvas individuales o colectivas (Figura 13). Una característica importante es la capacidad de la tolva ya que esta determina la autonomía de la máquina.



Figura 13. Tipos de tolvas para semilla y fertilizantes, A-para cada línea de siembra; B-única para todas las líneas de siembra.

Para el caso del tractor de dos ruedas es conveniente el uso de una tolva única pero con divisiones internas para el caso de los dosificadores.

### 1.7.3 Dosificador de semilla

Cualquier sembradora debe tener un conjunto de elementos que permitan la dosificación de la semilla, además de la tolva que contiene la semilla que se debe sembrar.

Se denomina dosificador al elemento de la máquina que tiene encomendada la misión de sacar los granos de la tolva de manera continua e independientemente del grado de llenado de la misma (Márquez, 1999).

La elección de un dosificador debe hacerse en función del tipo de cultivo o cultivos que se van a sembrar. Las dimensiones y la homogeneidad de semilla afecta especialmente a los dosificadores monograno de tipo mecánico.

#### 1.7.4 Dosificadores de platos con alvéolos

El plato consta de un número variable de escotaduras u orificios (alvéolos), situados todos a igual distancia del centro y uniformemente distribuidos en la circunferencia como se muestra en la Figura 14. Estos platos llamados placas de siembra pueden ser de material plástico o metálicos, es importante que sean de buena calidad sobre todo los plásticos; las rayaduras y desgastes provocan incorrecto llenado y como consecuencias fallos (cuando falta una semilla) o dobles (cuando hay más de una en un mismo lugar) (Márquez, 1999). El plato puede estar colocado en tres posiciones diferentes: horizontal, inclinado y vertical. La elección de la posición dependerá del peso de la semilla y la distancia que se desea sembrar (Márquez, 1999).

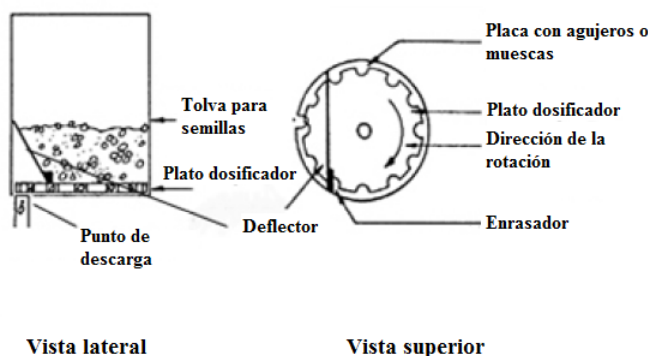


Figura 14. Dosificador de plato horizontal.

La semilla entra por gravedad en los orificios, encima del orificio de salida existen dos pequeñas piezas o gatillos con muelles. El primer gatillo sirve para enrasar y barre cualquier semilla mal colocada en el orificio, con el objeto de que no se parta o deteriore. El segundo gatillo empuja a las semillas a caer por el tubo.

Los componentes encargados de realizar la transmisión de movimiento se encuentran en la parte inferior de la tolva por lo que obliga a esta última a elevar el dosificador

con respecto al plano del suelo, lo que a su vez aumenta la altura de caída y reduce la precisión de la siembra.

Progresivamente la oferta comercial abandona el plato horizontal, para pasar a un plato inclinado (Figura 15), o al plato vertical (Figura 16), debido al inconveniente de daño mecánico, especialmente cuando las semillas no mantienen uniformidad en sus dimensiones. En el dosificador de plato vertical, los alvéolos se suelen situar en el borde del plato que tiene un espesor similar a las dimensiones de la semilla.

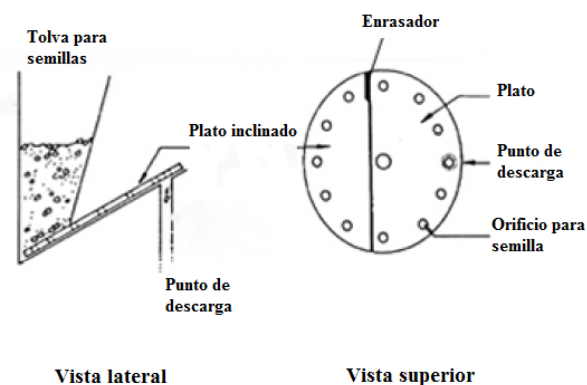


Figura 15. Dosificador de plato inclinado.

Los dosificadores mecánicos de plato vertical siguen siendo la mejor opción para una sembradora que utilice semilla con tamaño muy homogéneo, pero no es la mejor solución para los usuarios que tiene que sembrar varias especies vegetales (maíz, frijol, remolacha, etc.) con la misma máquina (Márquez, 2011).

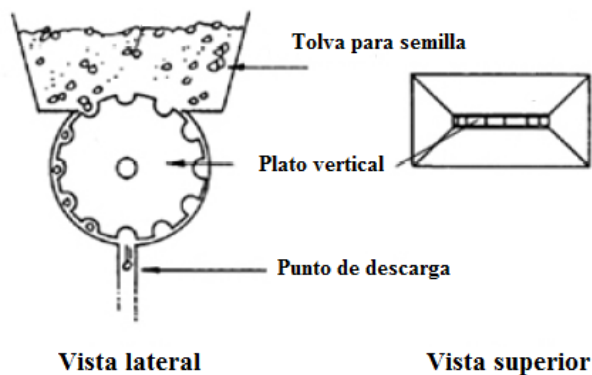


Figura 16. Dosificador de plato vertical.

La oferta de dosificadores mecánicos de plato inclinado, se mantiene para cultivos con semillas uniformes y relativamente gruesas, que se tiene que colocar sobre la línea de siembra con un espaciamiento mínimo, como es el caso de la soja (Márquez, 2011).

Shein (1998) realizó experimentos enfocados a determinar la eficiencia de los distintos dosificadores mecánicos para siembra multicultivo como son: sorgo, trigo, frijol mungo y maíz. Los resultados ubicaron al plato inclinado en primer lugar como dispositivo dosificador de las semillas mencionadas anteriormente con una precisión de 96 a 99 % sin daño mecánico. El segundo lugar lo ocupa el dosificador de placa horizontal con 95 a 99% sin embargo se presentan daños mecánicos. Este factor es importante a considerar para su elección en etapas posteriores.

#### **1.7.5 Dosificador de fertilizante**

Los dosificadores de fertilizante se encargan de separar de forma continua la masa de abono contenido en la tolva, depositan la cantidad justa al terreno. Su movimiento está sincronizado con el avance de la máquina de forma que la cantidad de fertilizante sobre la que actúan y la superficie de terreno determinada por el desplazamiento de la abonadora mantienen una relación constante. Los principales dosificadores de fertilizante utilizados en la siembra en línea son: el dosificador tipo chevrón, el dosificador de plato con estrella, el gusano sinfín (Alvarado, 2004).

#### **1.7.6 Dosificador tipo chevrón**

El más común y de buena precisión bajo condiciones de trabajo donde el fertilizante no se presente húmedo. Como la rueda dentada está parcialmente expuesta al exterior de la caja que la contiene (Figura 17), en ambientes muy húmedos, con neblinas, etc. se originan adherencias del producto sobre la citada rueda. Algunos diseños han incorporado una especie de tapa de cobertura que mejora la situación. Cualquiera sea el tipo de dosificador, siempre se debe cuidar su correcta limpieza y mantenimiento permanente.

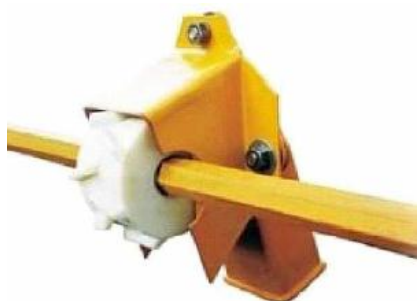


Figura 17. Dosificador de fertilizante tipo chevrón.

### 1.7.7 Dosificador de plato con estrella

En este tipo de dosificador los dientes de la estrella son los encargados de arrastrar el fertilizante hacia una compuerta con abertura regulable que comunica con el tubo de descarga (Figura 18). La velocidad de giro de la estrella define la cantidad de fertilizante a dosificar por lo que esta puede ser en algunos casos modificada mediante el cambio de las catarinas en la transmisión. Es comúnmente usado en sembradoras a chorrillo y requiere de buen mantenimiento.

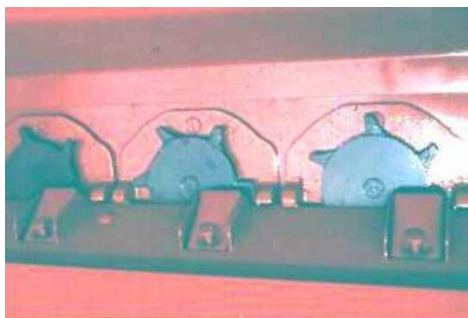


Figura 18. Dosificador de fertilizante tipo estrella.

La dosificación no se realiza de manera uniforme, además de presentar caída de producto aun cuando la máquina no se encuentra en operación.

### 1.7.8 Dosificador de gusano sinfín

Compuesto por un eje transversal en forma de tornillo sinfín, se encuentra ubicado en el fondo de la tolva, arrastra material hasta unas aberturas localizadas bajo el mismo sinfín (Figura 19), la cantidad de fertilizante a depositar varía de acuerdo al tamaño sinfín (Figura 19), la cantidad de fertilizante a depositar varía de acuerdo al tamaño de la abertura del orificio así como de la velocidad de rotación del sinfín.

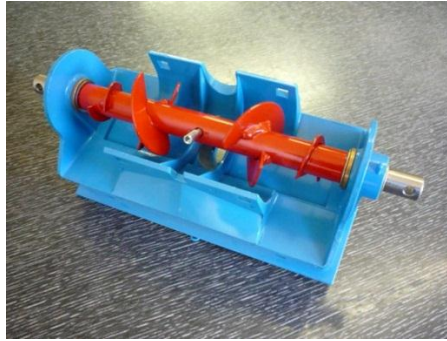


Figura 19. Dosificador de fertilizante tipo sinfín.

### 1.7.9 Dosificador de rodillo acanalado

Presenta un diseño muy similar al dosificador de sembradoras a chorrillo, consta de un rodillo con canales los cuales arrastran el fertilizante del interior de la tolva hacia afuera pasando por un pequeño depósito llamado buchaca en el cual puede regularse la salida abriendo o cerrando una compuerta como se muestra en la Figura 20.

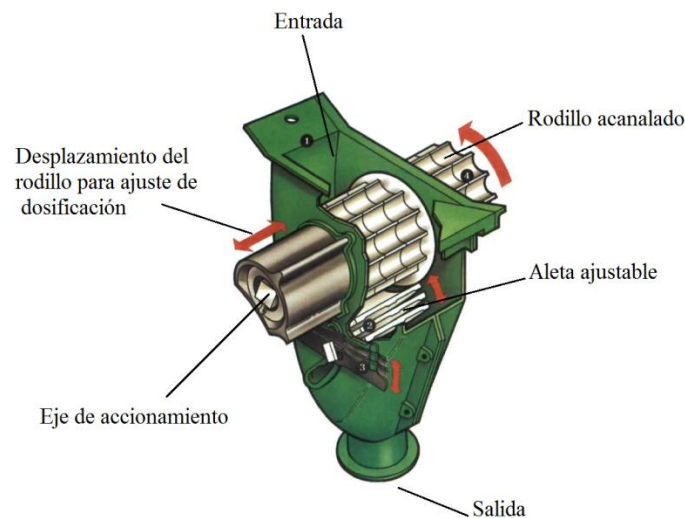


Figura 20. Dosificador de rodillo acanalado.

Los dosificadores mencionados anteriormente generalmente se encuentran en el mercado y su uso llega a satisfacer los requerimientos de dosificación. Sin embargo, el dosificador de sinfín en comparación con los demás tiene la ventaja que genera una dosificación constante y remueve el fertilizante almacenado en la tolva evitando formaciones de terrones o apelmazamiento.

## 1.8 Corte de residuos

Para evitar que los cuerpos de siembra queden envueltos en paja y no realicen su trabajo de manera adecuada es necesario realizar un corte de residuos, además que esto facilita el proceso de descomposición y la incorporación al suelo.

Para sembrar sobre residuos de maíz con los abresurcos de cincel, se recomienda que el largo de los cortes no sea mayor que el espacio entre los cinceles de los abresurcos.

La forma más obvia de manejar los residuos superficiales largos en el lugar es cortar un pasaje a través de los mismos con alguna herramienta afilada. Por lo general, los discos son la herramienta más usada. Al margen del diseño del disco, ningún disco será capaz de cortar todos los residuos en una sola pasada (Baker et al., 2008).

El corte en el suelo que realiza el disco reduce sustancialmente el desplazamiento lateral del suelo debido a la fractura controlada (Murray, 2006).

Existen en el mercado muchos diseños de discos cortadores de paja algunos diseñados para forzar el disco en el suelo, otros para asegurar su rotación cuando existen residuos gruesos o reducir el área de contacto sobre la tierra y ayudar a la penetración. En la Figura 21 se muestran los distintos diseños de discos cortadores de paja más comunes.



Figura 21. Tipos de discos cortadores de paja. Fuente: Murray (2006)

Comparativamente, el disco liso realiza el corte del rastrojo sin movimiento de las partes seccionadas mientras que el disco ondulado simultáneamente al corte, son desplazadas ambas secciones del material cortado dejando un espacio libre hacia el

suelo entre 10 y 30 mm dependiendo de la prolongación de las ondulaciones del disco (García et al., 2012). Además los discos lisos suelen ser más baratos que los discos con ondulaciones o estriados.

### 1.9 Abresurcos

La principal función de los abresurcos es abrir un surco bien definido en el suelo donde se pueda colocar la semilla a una profundidad apropiada. La ranura o surco no debe ser más ancha que lo necesario. Todo esto debe hacerse perturbando la tierra lo menos posible. Los abresurcos se dividen principalmente en dos clases, los abresurcos de discos (Figura 22) y los abresurcos de azada o cincel (Figura 23), dentro de los abresurcos de disco se encuentran los de disco simple, disco doble y disco triple, mientras que en los abresurcos del tipo cincel se encuentran los de azada, patín, T invertida, pala reversible y zapata.

- **Abresurcos de disco**

*Disco simple.* Trabaja bien en condiciones de mucho rastrojo, se usa una bota sembradora de entrega cerrada para guiar la semilla y fertilizante al suelo detrás del disco que corta el suelo y el rastrojo.

*Doble disco.* Coloca la semilla a una profundidad uniforme en condiciones de mucho rastrojo. Consta de dos discos planos colocados juntos al frente y separados atrás. La tierra cae inmediatamente detrás del abresurco y cubre la semilla.

*Triple disco.* Igual que el anterior, pero se le agrega un tercer disco en la parte delantera para cortar el rastrojo.



Figura 22. Abresurcos de disco.

- Abresurcos tipo cincel

Los abresurcos de discos más típicos manejan los residuos bien pero también tienden a clavar la paja en la ranura, lo cual no es deseable. Los abresurcos con componentes más rígidos de azada o de cincel (Figura 23) manejan pobremente los residuos, en lo que respecta al bloqueo pero no los clavan.

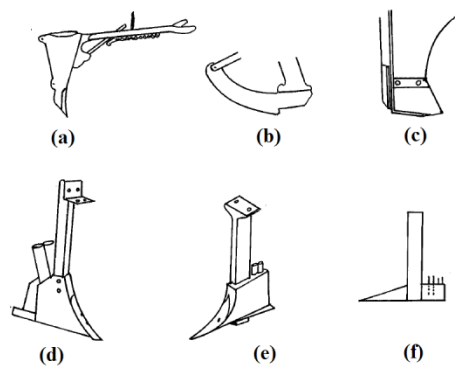


Figura 23. Abresurcos tipo cincel (a) azada; (b) patín; (c) T invertida; (d) pala reversible; (e) cincel; (f) zapata. Fuente: Chaudhuri (2001).

Los abridores de disco suelen ser satisfactorios para la labranza convencional, ya que requieren de menor tracción en comparación con los abresurcos de tipo cincel, realizan menor perturbación en el suelo y profundidad uniforme, sin embargo se tienen problemas si se trabaja en suelos con humedad residual (Chaudhuri, 2001).

Los abresurcos de tipo cincel y T invertida resultan ser más eficientes en condiciones de siembra con rastrojo (Chaudhuri, 2001).

### 1.10 Control de profundidad y compactación de la semilla

Para alcanzar una buena población es necesario alcanzar una buena germinación y brote de la planta, esto se logra si las semillas se siembran casi a la misma profundidad. Debido a que el suelo nunca es perfectamente plano y los suelos varían respecto a su firmeza, se requiere de algún regulador de profundidad.

El mecanismo regulador usado con mayor frecuencia es en el que la rueda compactadora realiza una función doble, aprieta el suelo alrededor de la semilla y también controla la profundidad de siembra (Figura 24).



Figura 24. Control de profundidad de semilla y rueda compactadora.

Las ruedas reguladoras pueden ubicarse a un costado o detrás del abresurco dependiendo de los requisitos específicos. Las bandas de profundidad, montadas en un abresurco de disco doble, regulan la profundidad de siembra en el punto que pasa la semilla al suelo (Figura 25).



Figura 25. Ruedas de control de profundidad (a) en abresurco de cincel; (b) en abresurco de disco.

## **CAPÍTULO 2**

### **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SEMILLA Y EL FERTILIZANTE**

## **2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MATERIAL DE PRUEBA**

El estudio de las propiedades físico-mecánicas del material de prueba (maíz y fertilizante) es uno de los primeros pasos que se debe de ejecutar antes de empezar con el diseño de cualquier máquina, con la finalidad de conocer y evaluar primeramente el material y posteriormente elegir o proponer los elementos de trabajo o mecanismos de la máquina. Esto es esencial para mejorar eficientemente el diseño y construcción de equipos para la siembra.

El conocimiento de las características físicas de los granos y semillas constituye una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento y montar sistemas adecuados para el transporte. Además es un parámetro fundamental para el diseño de empaques, en el análisis de calidad y en el control de procesos (Ospina, 2001).

### **2.1 Variables a determinar**

Las propiedades mecánicas pueden definirse como aquellas que se relacionan con el comportamiento de los productos agrícolas cuando se le aplican a éstos fuerzas o cargas dentro de las cuales se pueden citar: coeficiente de fricción para diferentes superficies, energía de corte, etc. Mientras que las propiedades físicas se refieren al tamaño, forma, peso, volumen, etc.

El material usado en estas pruebas fue semilla de maíz certificada de la variedad ocelote, semilla de trigo Irena Babax-Pastor, así como fertilizantes sulfato de amonio y superfosfato de calcio triple.

#### **2.1.1 Forma y tamaño**

La forma y el tamaño son parámetros mutuamente asociados que permiten describir a la semilla de maíz. Los criterios de redondez, esfericidad y semejanza a determinadas formas geométricas se utilizan para determinar la forma y tamaño de una semilla, se basan en las tres principales dimensiones ortogonales: longitudinal (eje mayor), ancho (eje medio) y espesor (eje menor) como se muestra en la Figura 26.

Para la medición se utilizó un vernier marca Truper® y una muestra de 100 semillas tamizadas y seleccionadas al azar.

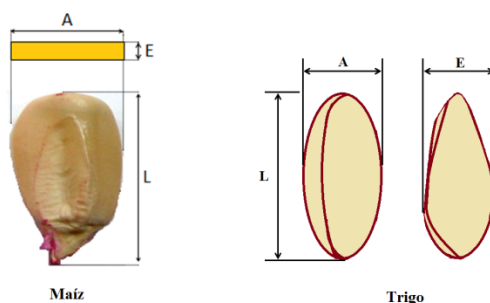


Figura 26. Dimensiones de la semillas.

Los resultados en la semilla de maíz fueron 11.8 mm en la longitud, 7.9 mm de ancho y 5.7 mm de espesor, para la semilla de trigo fue de 3.5 mm, 3mm y 6.7mm en ancho, grueso y longitud respectivamente (ver anexo B para estadígrafos).

### Distribución del tamaño del fertilizante

La granulometría y la densidad aparente del fertilizante que se va a distribuir son las características más importantes en el buen funcionamiento de las fertilizadoras, las características mencionadas influyen principalmente sobre la uniformidad de distribución del fertilizante en el campo y en la cantidad del material que sale desde la tolva de almacenamiento.

La granulometría se refiere al tamaño de las partículas o gránulos del fertilizante y su proporción en el volumen total del mismo. El tamaño de los gránulos es importante en las mezclas, pues las partículas de diferente tamaño tienden a separarse durante su manejo, transporte y aplicación.

Se tomaron tres muestras de 250 gramos de la mezcla de fertilizante previamente preparada, se hicieron pasar sobre los tamices Mont-Inox 6, 8, 10, 12 y 14 con abertura de los orificios 3.36, 2.38, 2, 1.68 mm y 1.41 respectivamente (Figura 27), sometidos a vibración durante 30 segundos. Se obtuvo la masa del fertilizante

retenido en cada tamiz y se calculó su porcentaje respecto a la masa total. La Figura 28 muestra la distribución de las partículas en cada tamiz.



Figura 27. Torre de tamices para determinar la distribución de tamaño del fertilizante.

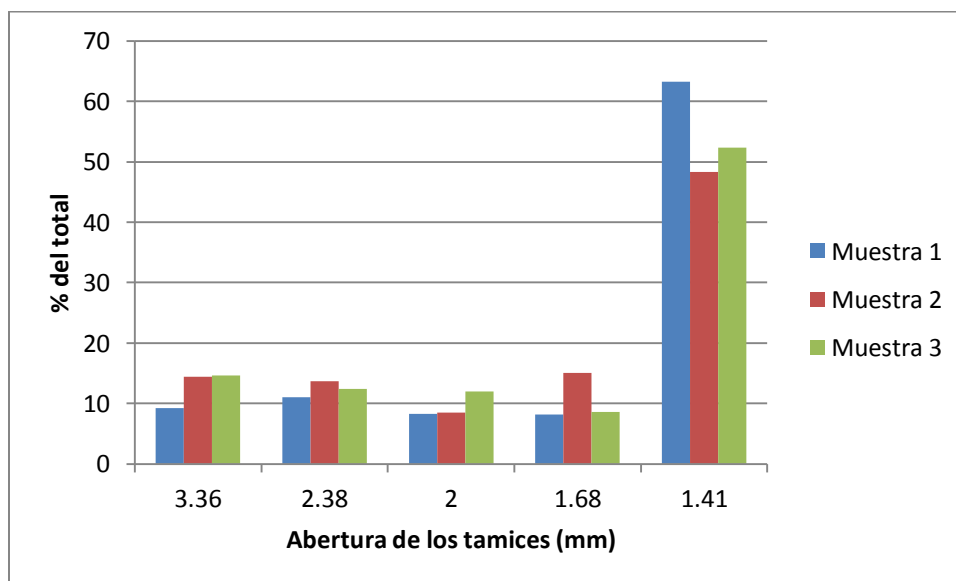


Figura 28. Distribución de las partículas de fertilizante en la mezcla.

La distribución del fertilizante se localiza en su mayoría en dimensiones mayores a 1.41 mm y menores a 1.68 mm.

### 2.1.2 Contenido de humedad

La cantidad de agua contenida en granos, cereales y semillas, que se conoce como contenido de humedad, es importante en estos materiales ya que de sus valores

depende su calidad. El manejo de los granos comprende etapas que van desde la cosecha hasta su procesamiento.

En fertilizantes la humedad favorece la formación de terrones, con efectos negativos en la uniformidad de aplicación ya que pueden afectar el funcionamiento de algunos mecanismos de la fertilizadora.

Se tomaron 30 muestras de 100 gramos de grano aproximadamente que fueron colocadas individualmente en los contenedores (Figura 29), se pesaron sin incluir la masa del contenedor y enseguida se metieron a la estufa secadora marca TPS modelo CE228 a una temperatura de 103 °C, durante 72 horas (ASAE S352.2, 1999). Después, se obtuvo la masa final (peso del grano seco) restando la tara de cada contenedor utilizado.



Figura 29. Muestras para obtener el contenido de humedad A) maíz, B) trigo.

Finalmente, se calcula el contenido de humedad, mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

$H$ - Contenido de humedad, %

$m_h$ - Masa de la muestra húmeda, g

$m_s$ - Masa de la muestra seca, g

Para el fertilizante se tomaron 30 muestras de una mezcla de los dos fertilizantes en proporción 65 % sulfato de amonio y 35 % de superfosfato de calcio triple aproximadamente de 100 g. y se metieron a la secadora a una temperatura de 110 °C, durante 24 horas. Pasado el tiempo de secado, se obtuvo la masa final, el contenido de humedad del fertilizante se obtiene con la fórmula 2.1, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados obtenidos en la determinación del contenido de humedad.

| Material     | Promedio | Valor<br>mínimo | Valor<br>máximo | Desviación<br>estándar | Coeficiente de<br>variación |
|--------------|----------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|
| Maíz         | 12.24    | 11.92           | 12.35           | 0.11                   | 0.97                        |
| Trigo        | 10.77    | 10.51           | 10.93           | 0.12                   | 1.16                        |
| Fertilizante | 1.4      | 1.43            | 1.44            | 0.005                  | 0.39                        |

### 2.1.3 Densidad

La densidad se define como la relación entre la masa del producto y el volumen del mismo. Para determinar la densidad se utiliza un recipiente de volumen conocido, en el cual se deposita la masa de grano hasta completar totalmente su volumen, luego se pesa ésta cantidad de granos y mediante la siguiente relación se calcula la densidad:

$$\rho_a = \frac{W}{V} \quad (2.2)$$

Donde:

$\rho_a$ - Densidad, g·cm<sup>-3</sup>

$W$ - Masa del producto, g

$V$ - Volumen ocupado, cm<sup>3</sup>

Para esta prueba se usaron 30 muestras de semilla de maíz y 30 de semilla de trigo, dos probetas con capacidad de 1 litro (Figura 30), se obtuvo la masa de la primera, después se vació lentamente la muestra de semilla en la segunda probeta hasta alcanzar medio litro, se

obtuvo la masa del conjunto semilla-probeta. La segunda probeta se llenó con agua (hasta la marca de un litro) y en seguida se vació a la que contenía la semilla hasta alcanzar el límite de un litro. Finalmente se midió la cantidad de agua que quedó en la segunda probeta a la cual se le restó un litro para obtener el volumen de agua que se le agregó a la probeta con las semillas, los resultados se muestran en la tabla 2.2.



Figura 30. Obtención de la densidad de grano de maíz.

Tabla 2.2. Resultados obtenidos en la determinación de la densidad de la semilla de maíz y trigo.

|       | Promedio | Valor mínimo | Valor máximo | Desv est. | Coef. De<br>variación |
|-------|----------|--------------|--------------|-----------|-----------------------|
| Maíz  | 0.5      | 0.49         | 0.5          | 0.004     | 0.87                  |
| Trigo | 0.58     | 0.56         | 0.59         | 0.01      | 1.96                  |

La densidad del fertilizante es importante para calcular la inclinación de las paredes de las tolvas, el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o en vehículos de transporte, así como para la calibración de dosificadores volumétricos de abono, Guerrero (2012) menciona que la densidad del sulfato de amonio se encuentra entre los 1.01-1.06 gcm<sup>-3</sup> mientras que el superfosfato de calcio triple entre los 1.04-1.20 gcm<sup>-3</sup>.

#### 2.1.4. Porcentaje de germinación de las semillas

Se desinfectaron 100 semillas (mediante la solución de hipoclorito de sodio y agua destilada, en proporción 1:10), después las semillas se remojaron durante 30 minutos y posteriormente se enjuagaron. Las semillas fueron colocadas, sobre un recipiente de plástico cuya superficie interior se cubrió con un papel filtro impregnado de agua destilada (Figura 31), después se colocó 10 semillas en cada plato y se cubrió con otro papel filtro igualmente mojado con agua destilada. Se observó diariamente, se registraron las semillas que germinaron y las semillas que se enmohecieron. El porcentaje de germinación está dado por la ecuación siguiente:

$$G = \frac{N_g}{100 - N_e} * 100 \quad (2.3)$$

Donde:

$G$ - Porcentaje de germinación, %

$N_g$ - Número de semillas germinadas, adimensional

$N_e$ - Número de semillas eliminadas, adimensional



Figura 31. Prueba de germinación en semillas de maíz.

La germinación en semilla de maíz fue de 90.8 %, mientras que en el trigo se presentó un 86%.

### 2.1.5. Ángulo de reposo

Cuando una cantidad de semillas es vaciada sobre una superficie horizontal plana el producto forma un montículo similar a un cono invertido. El ángulo formado por la horizontal y el talud es definido como el ángulo de reposo y está influenciado por el tamaño, forma volumen, densidad, superficie del grano, contenido de humedad y orientación de las partículas que conforman el grano (Ospina, 2001).

Existen dos tipos de ángulos de reposo:

Ángulo de reposo estático. Es el ángulo que forma el material granular cuando se desliza sobre sí mismo.

Ángulo de reposo dinámico. Es el más importante y se presenta en todos los casos en que la masa granular se encuentra en movimiento, como lo es cuando se realiza la dosificación, las semillas de maíz se encuentra en movimiento dentro de la tolva y al momento de ser desplazadas por el plato dosificador hasta su caída por los tubos de conducción.

Factores que disminuyen el ángulo de reposo

- Mayor tamaño de la partícula.
- Menor rugosidad de la superficie de la partícula.
- Mayor esfericidad de la partícula.
- Menor humedad de la pila.
- Mayor homogeneidad de la pila

Para determinar el ángulo de reposo estático se tomaron 30 muestras de 4 kg de la mezcla de fertilizante mencionado anteriormente, se colocó el medidor de ángulo de reposo nivelado horizontalmente (Figura 32), posteriormente se llenó del embudo asegurándose que la salida estuviera cerrada. Se abrió la tapa después de haber llenado el embudo, se marcaron varios puntos alrededor de la base del montón sin tomar en cuenta los granos que se encontraban muy retirados.



Figura 32. Ángulo de reposo estático para la mezcla de fertilizante.

Después, se retiró la muestra y se midió el diámetro en cuatro posiciones, se obtuvo el promedio y se sustituyó en la ecuación siguiente:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{2h}{d - 25} \right) \quad (2.4)$$

Donde:

$\alpha$ - Ángulo de reposo, grados

$h$ - Altura del cono, mm

$d$ - Diámetro promedio, mm

El ángulo estático promedio para el fertilizante fue de 63.9 °. Para el caso del ángulo de reposo dinámico se colocaron 30 muestras de semillas y fertilizante de aproximadamente 150 g en la superficie y se fue aumentando el ángulo de inclinación hasta que estas se deslizaran y cayeran (Figura 33). Los datos registrados se muestran en la tabla 2.3.



Figura 33. Ángulo de reposo dinámico, A) maíz, B) Trigo.

Tabla 2.3. Resultados obtenidos en la determinación del ángulo de reposo de la semilla de maíz y la mezcla de fertilizante.

|                           | Promedio | Valor<br>mínimo | Valor máximo | Desviación<br>estándar | Coefficiente de<br>variación,% |
|---------------------------|----------|-----------------|--------------|------------------------|--------------------------------|
| Semilla de maíz           | 28.5     | 27              | 30           | 0.97                   | 3.4                            |
| Semilla de trigo          | 24.2     | 23              | 25           | 0.82                   | 3.4                            |
| Mezcla de<br>fertilizante | 29.6     | 31              | 28           | 1.07                   | 3.63                           |

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

#### 3.1 Generalidades del diseño conceptual

El diseño es el proceso general mediante el cual el diseñador aplica sus conocimientos, aptitudes y puntos de vista a la creación de dispositivos, estructuras y procesos.

Al diseño conceptual corresponde el desarrollo de las ideas fundamentales del objeto; es decir, en esta fase se decide sobre que principios físicos se basará la solución del problema, la disposición constructiva o arquitectura del objeto y la idea general de la apariencia que tendrá el producto terminado.

La fase conceptual es probablemente la que requiere mayor creatividad dentro del proceso de diseño. La originalidad de un producto depende de las decisiones tomadas en esta fase. Pero el diseño conceptual es importante no sólo por la originalidad de la solución adoptada, también tiene un impacto significativo en el costo de la producción. No sólo es importante considerar el efecto que el proceso de diseño tiene sobre el costo de fabricación de un producto. Es también importante conocer la manera en que cada etapa del proceso de diseño impacta sobre estos porcentajes, en algunos casos alcanza hasta el 80% del costo de fabricación (Ramos, 1996).

El grado en que un producto satisface los requerimientos de un cliente depende en gran medida del concepto a partir del cual está desarrollado. Un buen concepto puede tener un desarrollo deficiente a nivel de diseño de detalle y dar como resultado un producto de mala calidad, un mal concepto rara vez se convierte en un producto exitoso.

La Figura 34 muestra las etapas del diseño conceptual consideradas por Pahl y Beitz (1984). A partir de las especificaciones, su análisis mediante diferentes pasos en la abstracción, revelará los aspectos generales y factores esenciales en la tarea a resolver:

- Eliminar preferencias personales
- Omitir requerimientos que no tengan relación directa con la función y las restricciones esenciales.

- Transformar los datos cuantitativos en cualitativos y generalizar.
- Formular el problema (definición del objetivo)

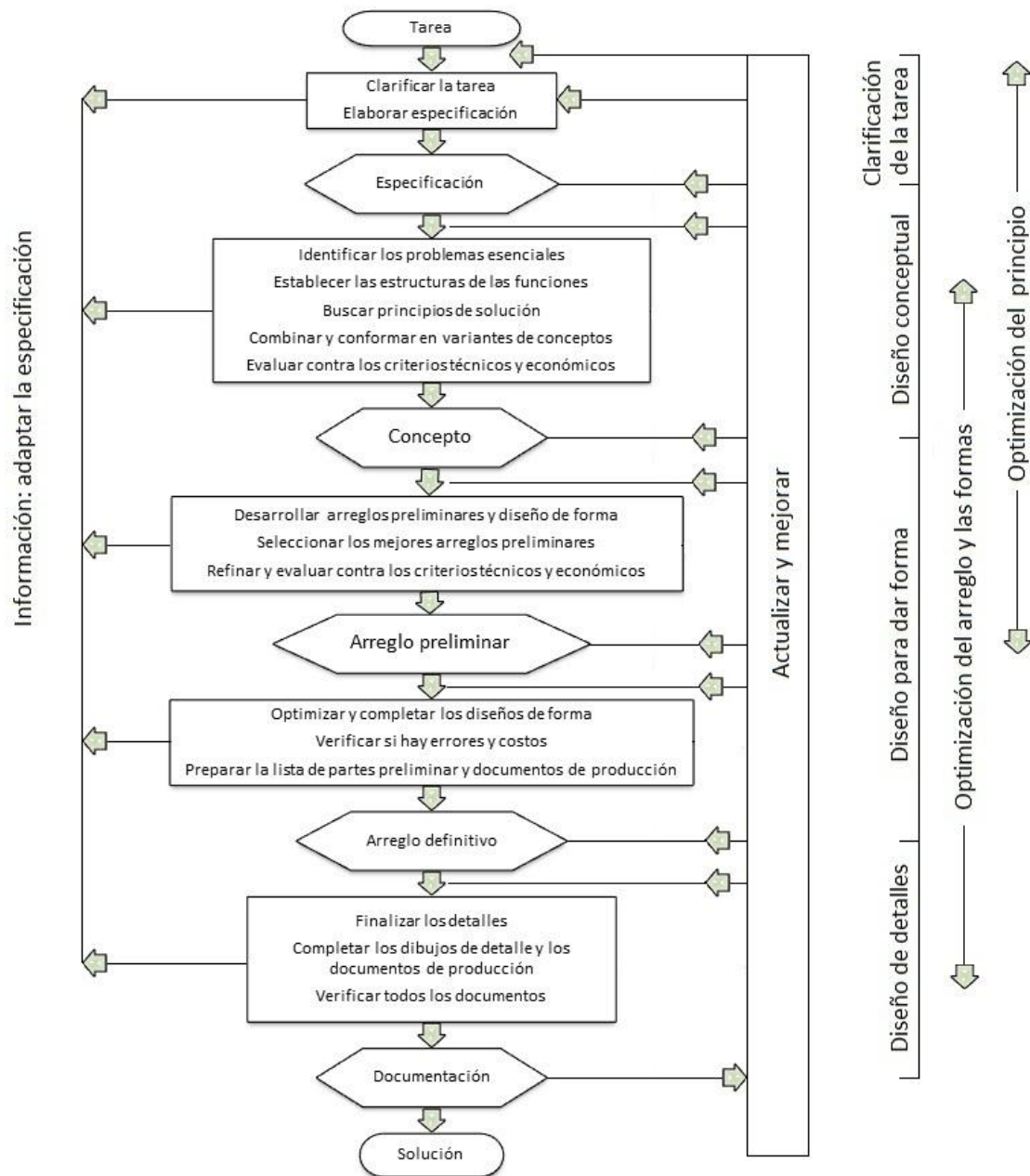


Figura 34. Etapas del diseño conceptual.

### **3.1 Identificación de la necesidad**

En la actualidad no existe comercialmente dentro del país un implemento accionado por un tractor de dos ruedas que ofrezca una alternativa a la mecanización de los pequeños agricultores que se encuentran en proceso o de desarrollo de la agricultura de conservación por lo que es necesario una máquina que sea capaz de realizar los procesos de formación o reformación de camas angostas, siembra y fertilización del cultivo esenciales dentro de los lineamientos de la agricultura de conservación.

### **3.2 Definición del problema**

Es el de diseñar una máquina tirada por un tractor de dos ruedas que realice la siembra en camas angostas con cobertura de algún cultivo anterior, fertilice y forme o reforme dichas camas, se debe aclarar que no todas las operaciones se realizan de manera simultánea.

### **3.3 Generación de alternativas de solución**

En este apartado lo que se busca es la mayor cantidad de ideas, para tratar de resolver el problema que se plantea. La principal estrategia en este apartado, es la generación de conceptos en la mayoría de los casos utilizando técnicas como la “Tormenta de ideas” o la sinéctica.

### **3.4 Establecimiento de la estructura de funciones**

El diseño de todo sistema mecánico obedece a la satisfacción de una necesidad, por lo cual una vez diseñado y fabricado tendrá un uso principal. Es decir, servirá para algo y se caracterizará por una función de uso o función global.

La función global de la máquina accionada por tractor de dos ruedas es la de sembrar maíz sobre camas angostas en agricultura de conservación garantizando la flexibilidad de incorporar elementos fertilizadores y/o reformadores con costos competitivos al mercado actual. En la Figura 35 se describen tanto las entradas que son energía (E), material (M) y señales (S), parámetros que involucran el funcionamiento de la máquina, así como los resultados finales o salidas.

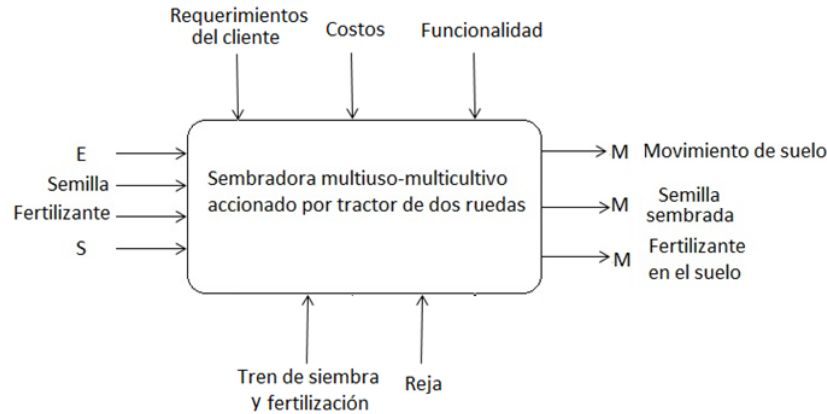


Figura 35. Función global de la sembradora accionada por tractor de dos ruedas.

### Sub-funciones

Como un sistema técnico puede ser dividido en subsistemas y elementos, así una función global o compleja puede ser descompuesta en sub-funciones de menor complejidad. La combinación de sub-funciones individuales resultantes en una estructura de función representa la función global (Figura 36).

La máquina deberá realizar las siguientes sub-funciones.

- Almacenar semillas y fertilizante en tolvas diferentes
- Abrir un surco de siembra
- Dosificar la semilla
- Dosificar el fertilizante
- Conducir la semilla al suelo
- Tapar y compactar la semilla una vez en el suelo
- Formar camas o reformar.

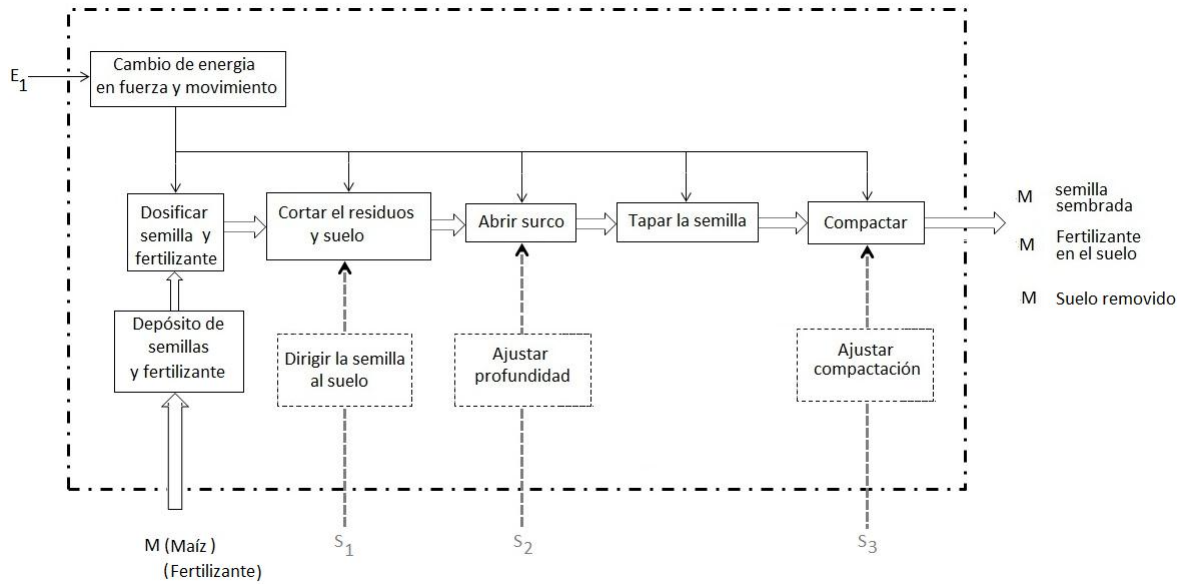


Figura 36. Diagrama de bloques de las sub-funciones del prototipo.

### 3.5 Principios de solución para satisfacer las sub-funciones.

El principio de solución es el primer paso concreto en la implementación de la solución, debe estar dirigida a plantear diversas variantes de soluciones. Una sub-función particular puede ser satisfecha por más de un efecto físico y por otro lado, el mismo efecto físico puede emplearse para satisfacer más de una sub-función.

Anteriormente se hizo una revisión de los distintos componentes de las sembradoras, por lo cual, en base a esos datos se formaron dos combinaciones de tal manera que mediante una evaluación se optará por la que mejor cumpla con las sub-funciones antes mencionadas.

En la Tabla 3.1 se muestran los principios de solución para satisfacer las sub-funciones principales.

Tabla 3.1. Principios de solución para satisfacer las sub-funciones.

| Sub-función                      | Solución                           |                                              |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                  | 1                                  | 2                                            |
| Almacenamiento de semilla        | Tolva individual cilíndrica        | Tolva única con paredes inclinadas           |
| Almacenamiento de fertilizante   | Tolva individual cilíndrica        | Tolva única para todo los cuerpos de siembra |
| Dosificación semilla             | Plato horizontal                   | Plato inclinado                              |
| Dosificación fertilizante        | Eje sinfín                         | Estrella                                     |
| Corte de residuos                | Disco liso                         | Disco ondulado                               |
| Abridor de surco                 | T invertida                        | Doble disco                                  |
| Control de profundidad           | Rueda al lado del abridor de surco | Rueda detrás del abridor de surco            |
| Tapador-compactador              | Rueda de goma                      | Cadena                                       |
| Formación o reformación de camas | Reja de ala angosta                | Discos cóncavos                              |

 **Variante 1**  
 **Variante 2**

*Variante 1:* Tolva individual cilíndrica para semilla → Tolva de fertilizante única → dosificación de semilla mediante plato horizontal → tornillo sinfín → disco ondulado → doble disco → rueda detrás del abridor de surco → cadena → discos cóncavos.

*Variante 2:* Tolva única con paredes inclinadas para semilla → tolva de fertilizante única → dosificación mediante plato inclinado → tornillo sinfín → disco liso → T invertida → rueda detrás del abridor de surco → rueda de goma → reja de ala angosta.

### **3.6 Evaluación y selección de la mejor alternativa**

Una vez formadas las variantes se procede a una evaluación para la selección de la mejor alternativa. Se tomarán en cuenta aspectos relevantes para cada componente a fin de cumplir con las diferentes sub-funciones que deberá realizar la máquina.

#### **3.6.1 Identificación de los criterios de evaluación**

Los criterios más importantes que se emplean para evaluar un diseño conceptual en una máquina son:

1. Grado de cumplimiento de la función principal
  - Incremento de la productividad
  - Costo de inversión
  - Costo de explotación
2. Principio de trabajo
  - Simplicidad de funcionamiento
  - Requisitos tecnológicos (siembra adecuada, fertilización, formación o reformación de camas).
3. Materialización
  - Poco número de componentes
  - Baja complejidad de componentes
  - Poco requerimiento de espacio
  - Poca complejidad en el diseño
4. Operación
  - Operación simple

- Larga vida de servicio
- 5. Ergonomía y seguridad
  - Relación hombre - máquina satisfactoria
- 6. Producción
  - Métodos de producción establecidos
  - No costosos
  - Sencillez en la construcción
- 7. Mantenimiento
  - Simple
  - Fácil reparación

### **3.6.2 Construcción del árbol de objetivos**

Una vez especificados los criterios de evaluación se procede a jerarquizarlos para su análisis sistemático en un “árbol de objetivos” y evaluar los sub-objetivos que conforman un objetivo de mayor categoría como se muestra en la Figura 37.

Cada criterio de evaluación contribuye de forma relativa al valor global de la solución, esto nos permite detectar criterios de relativa importancia que puedan ser eliminados, antes de comenzar el proceso de evaluación.

La importancia de la contribución relativa a la solución global se cuantifica a través de un factor de ponderación el cual puede ser de 0 a 1 o bien de 0 a 100 de tal manera que la suma de la totalidad de las ponderaciones sea 1 o 100, respectivamente.

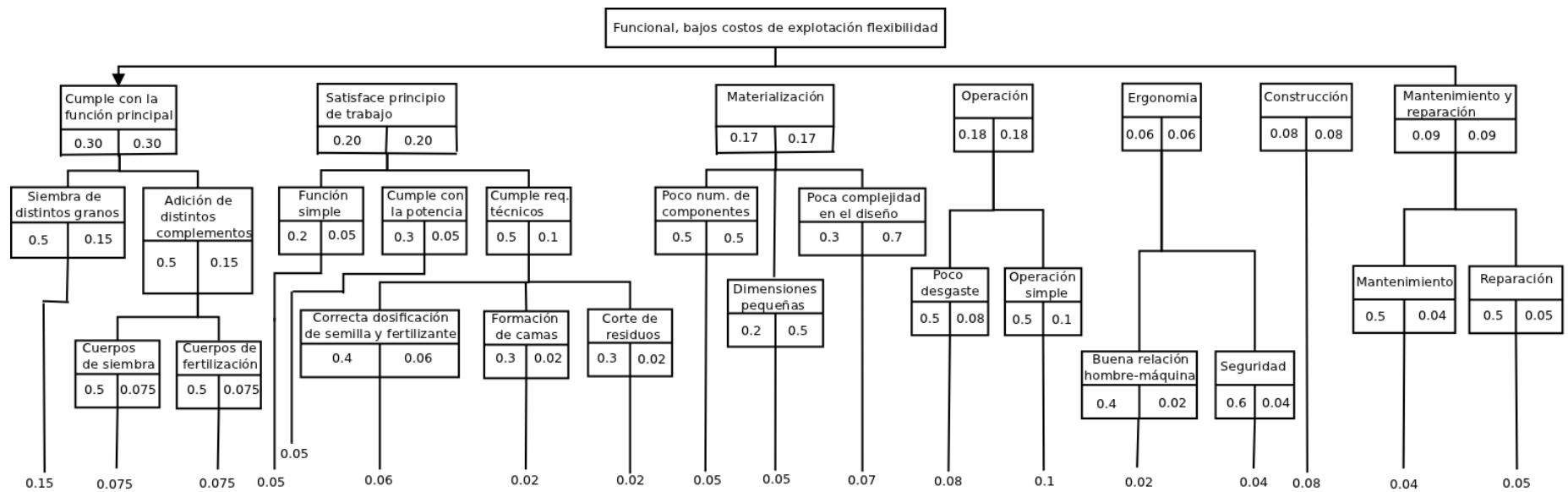


Figura 37. Estructura del árbol de objetivos.

### 3.6.3 Carta de evaluación

La selección de los criterios de evaluación y su ponderación van seguidas de la asignación a dichos criterios de valores a partir de parámetros conocidos o calculados analíticamente. Estos valores se plasman en una carta de evaluación donde pueden correlacionarse los criterios de evaluación con los parámetros como lo muestra la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Escala para la asignación de valores.

| Valor | Significado                            |
|-------|----------------------------------------|
| 0     | Solución absolutamente ineficaz        |
| 1     | Solución muy inadecuada                |
| 2     | Solución poco convincente              |
| 3     | Solución aceptable                     |
| 4     | Solución adecuada                      |
| 5     | Solución satisfactoria                 |
| 6     | Solución buena con algunas excepciones |
| 7     | Solución buena                         |
| 8     | Solución muy buena                     |
| 9     | Solución que excede los requerimientos |
| 10    | Solución ideal                         |

Determinación del valor total

El valor total sin ponderación de cada variante  $j$  ( $V_j$ ) está dado por:

$$V_j = \sum_{i=1}^n V_{ij} \quad (3.1)$$

Donde:

$V_{ij}$  - Valor de cada uno de los criterios de la variante, adimensional

Valor total ponderado ( $WV_j$ )

$$WV_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V_{ij} \quad (3.2)$$

Donde:

$W_i$  - Factor de ponderación para cada uno de los criterios, adimensional

Calculo del rating ( $R_j$ )

$$R_j = \frac{V_j}{V_{máx} \cdot n} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}}{V_{máx} \cdot n} \quad (3.3)$$

Donde:

$V_{máx}$  - Calificación máxima posible, adimensional

$n$  - Número de criterios de calificación, adimensional

Sustituyendo valores en la ecuación anterior para la primera variante

$$R_j = \frac{95}{10 \cdot 17} = 0.55$$

Para la segunda variante

$$R_j = \frac{117}{10 \cdot 17} = 0.69$$

Calculo del rating con ponderación

$$wR_j = \frac{wV_j}{V_{máx} \cdot \sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n w_j \cdot V_{ij}}{V_{máx} \cdot 1} \quad (3.4)$$

Sustituyendo valores en (3.4) para la variante 1

$$wR_1 = \frac{5.58}{17 \cdot 1} = 0.33$$

Sustituyendo valores en (3.4) para la variante 2

$$wR_2 = \frac{6.78}{17 * 1} = 0.4$$

En la Tabla 3.3 se muestra la evaluación independiente de las dos alternativas de diseño en la cual la variante 2 resulta ser la mejor y en base a los criterios de la Tabla 3.2, es una solución muy buena, por lo que se concluye que la variante de diseño conceptual de la máquina propuesta cumple con los principales criterios.

### 3.7 Diseño preliminar

En este apartado se describe de manera general la alternativa que satisface los requisitos de funcionalidad y a la que se llegó mediante el diseño conceptual.

La máquina la forman los siguientes elementos:

*Enganche al tractor.* Consiste en una placa que sujetará la barra porta herramientas y mediante pernos se conecta a la parte trasera del tractor de dos ruedas.

*Barra porta-herramientas.* Se dispondrá de dos barras dispuestas en forma paralela al movimiento del tractor, tres barras transversales dispuestas en forma de diamante y sujetadas a las dos primeras mediante grapas.

*Tolva de semillas.* Unitarias con la posibilidad de poder modificar su ángulo de acuerdo a los requerimientos de la semilla que se siembre.

*Dosificador de semillas.* Plato inclinado con orificios en su periferia.

*Tolva de fertilizantes.* Única con dos salidas.

*Dosificador de fertilizante.* Sinfín con salidas en el fondo de la tolva, se colocara una pequeña placa a fin de poder regular la salida de fertilizante.

*Sistema de transmisión de movimiento (tren cinemático).* La rueda motriz del tractor funcionará como rueda motriz transmitiendo el movimiento mediante catarinas y cadena de rodillos hasta los ejes de los dosificadores (semilla y fertilizante) como lo muestra la Figura 38:

*Disco cortador de paja.* Disco liso

*Cuerpo de siembra.* Abresurco rígido en forma de cincel con rueda compactadora en la parte de atrás.

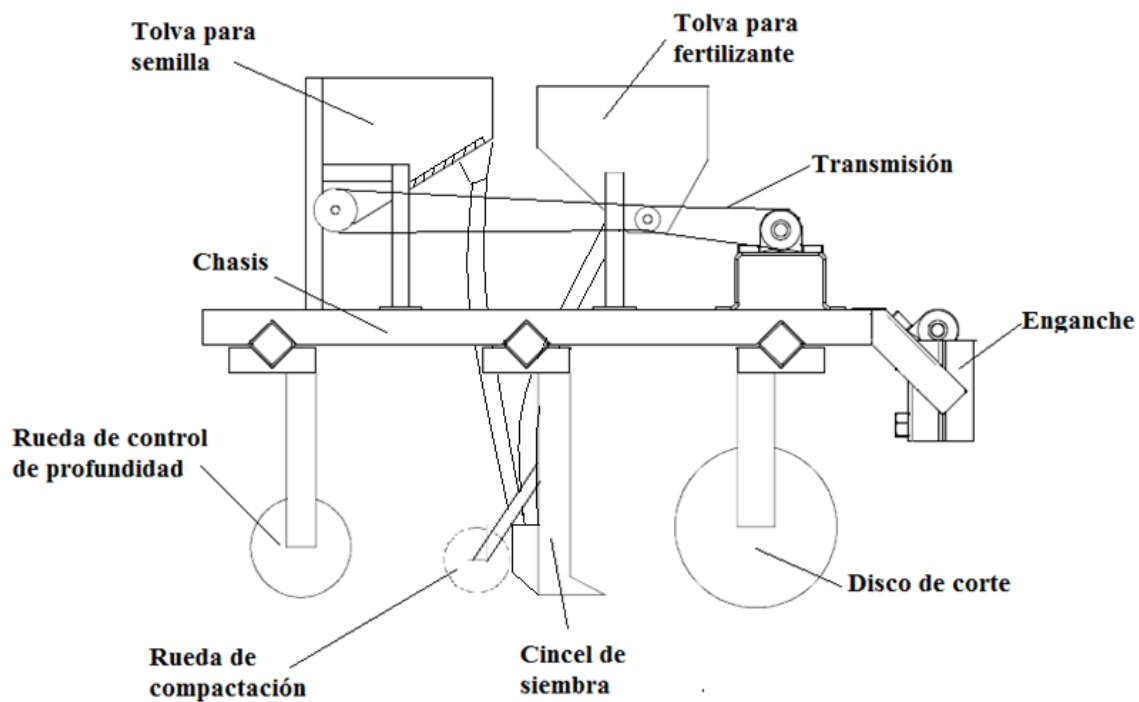


Figura 38. Boceto preliminar del prototipo.

Tabla 3.3. Carta de evaluación

| Criterio de evaluación |                                                    |       | Parámetros             |                | Variante 1  |      | Variante 2  |       |
|------------------------|----------------------------------------------------|-------|------------------------|----------------|-------------|------|-------------|-------|
| No                     | Denominación                                       | W     | Denominación           | Unidad         | Puntos (Vj) | W.Vj | Puntos (Vj) | W.Vj  |
| 1                      | Posibilidad de Siembra de semillas de maíz y trigo | 0.15  | Multicultivo           |                | 5           | 0.75 | 7           | 1.05  |
| 2                      | Adaptación cuerpos de siembra                      | 0.075 | Funcionamiento         |                | 6           | 0.45 | 8           | 0.6   |
| 3                      | Adaptación cuerpos de fertilización                | 0.075 | Funcionamiento         |                | 6           | 0.45 | 7           | 0.525 |
| 4                      | Función simple                                     | 0.05  | Funcionamiento         |                | 6           | 0.3  | 7           | 0.35  |
| 5                      | Requerimientos de potencia                         | 0.05  | Potencia               | KW             | 7           | 0.35 | 7           | 0.35  |
| 6                      | Dosificación                                       | 0.06  | Precisión              | %              | 6           | 0.36 | 6           | 0.36  |
| 7                      | Formación de camas                                 | 0.02  | Funcionamiento         |                | 5           | 0.1  | 7           | 0.16  |
| 8                      | Buen corte de residuos                             | 0.02  | Long. De corte de paja | m              | 5           | 0.1  | 8           | 0.16  |
| 9                      | Poco núm. de componentes                           | 0.05  | Núm. De componentes    | Pieza          | 7           | 0.35 | 7           | 0.35  |
| 10                     | Dimensiones pequeñas                               | 0.05  | Espacio                | m <sup>2</sup> | 5           | 0.25 | 7           | 0.35  |
| 11                     | Poco complejo                                      | 0.07  | Diseño                 |                | 5           | 0.35 | 7           | 0.49  |
| 12                     | Poco desgaste                                      | 0.08  | Desgaste               |                | 6           | 0.48 | 6           | 0.48  |
| 13                     | Operación simple                                   | 0.1   | Funcionamiento         |                | 5           | 0.5  | 6           | 0.6   |
| 14                     | Relación Hombre-máquina                            | 0.02  | Ergonomía              |                | 5           | 0.1  | 7           | 0.14  |
| 15                     | Seguridad                                          | 0.04  | Seguridad              |                | 7           | 0.28 | 7           | 0.28  |
| 16                     | Fácil mantenimiento                                | 0.04  | Mantenimiento          |                | 4           | 0.16 | 6           | 0.24  |
| 17                     | Fácil reparación                                   | 0.05  | Reparación             |                | 5           | 0.25 | 6           | 0.3   |
| Σ                      |                                                    | 1     |                        |                | 95          | 5.58 | 117         | 6.785 |

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE DETALLE**

## 4. DISEÑO DE DETALLE

Una vez finalizada la etapa de conceptualización se procede a los cálculos detallados para los distintos componentes de la sembradora.

### 4.1 Enganche al tractor y chasis

Regularmente los tractores de dos ruedas enganchan los implementos mediante una placa de 13/16 pulg con tornillos (Figura 39), en este caso se coloca la placa a la parte trasera del tractor y mediante grapas se asegura la barra de PTR de 2 x 2 pulg.

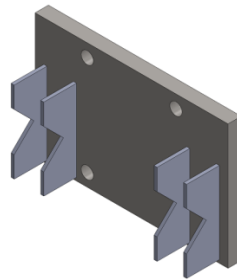


Figura 39. Enganche de la sembradora al tractor.

El chasis se compone básicamente de barras comerciales PTR de 2x2 calibre 3/16, formado por dos laterales y cuatro barras transversales. La primera se usa para colocar la placa de enganche, la segunda, tercera y cuarta para colocar discos de corte, cuerpos de siembra y sistema de control de profundidad respectivamente como se muestra la Figura 40.

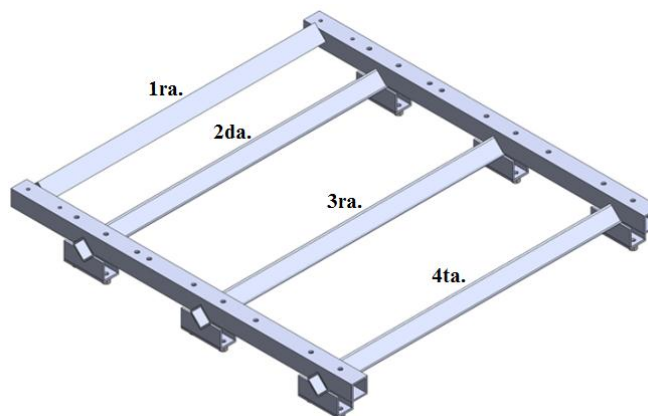


Figura 40. Chasis de la sembradora.

## 4.2 Tolva para semilla

La tolva de semillas desempeña un papel importante no solamente en cuanto a volumen para el material que se va a sembrar, sino también para crear un flujo determinado de semillas que está condicionado al carácter del derrame de las semillas desde el agujero en el fondo o pared de la tolva y a la introducción de las semillas en la cavidad de los aparatos sembradores (Silveira. 1990).

El ángulo de inclinación de las paredes laterales de las tolvas debe ser mucho mayor que el ángulo de fricción o talud natural de las semillas y fertilizante sobre el material de la tolva.

Se realizaron pruebas para determinar el ángulo de inclinación adecuado para semillas de maíz y trigo (Figura 41), se debe aclarar que influye mucho el diseño del plato dosificador, especialmente en las cavidades donde la semilla queda atrapada y es deslizada hasta la salida.



Figura 41. Banco de pruebas para dosificador de plato inclinado.

Los mejores resultados se presentaron con un ángulo de  $45^\circ$  en la inclinación del plato dosificador con semilla de maíz a velocidad de 30 rpm (ver Anexo B), en el caso de la semilla de trigo el posible usar esta misma inclinación, sin embargo, la velocidad de rotación hace que la semilla se arrastre hasta el conducto de salida.

Se eligió construir en material de lámina de acero calibre 14 con inclinación de  $45^\circ$  en la cara donde se colocará los soportes para los platos inclinados con la finalidad de que el material fluya sin problemas (Figura 42), el dato se determinó en el capítulo de propiedades físico-mecánicas de la semilla y en las pruebas de dosificación.

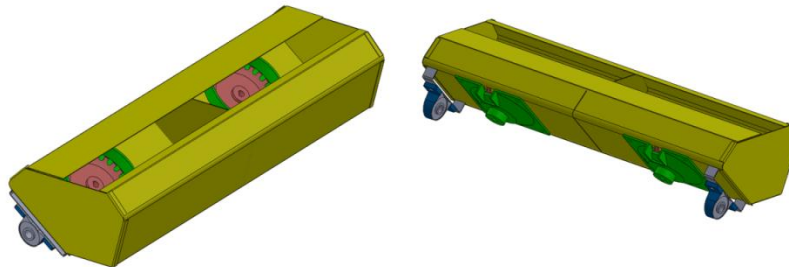


Figura 42. Vistas de la tolva para semillas con dosificador de plato inclinado.

#### 4.3 Sistema de dosificación de semilla

Estará compuesto por una base y un plato dosificador comercial, la base permanecerá sujeta mediante tornillos a la pared frontal de la tolva (Figura 43). El material del que están compuestos los platos son hierro y aluminio fundido con diámetros de 17.5 cm y grosor de 1.2 cm.

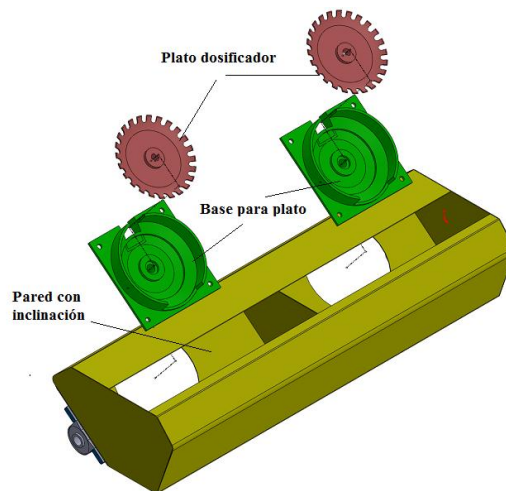


Figura 43. Acomodo de los componentes del sistema de dosificación de semillas.

En la Figura 44 se muestran los platos usados en esta investigación, el plato A con 40 orificios es usado para la dosificación de semilla pequeña, en nuestro caso para el

trigo, el plato B contiene 24 orificios y es usado para la dosificación de semilla de maíz, por último el plato C es usado para semilla pequeña como lo es el sorgo, sin embargo se usará para la dosificación de trigo.

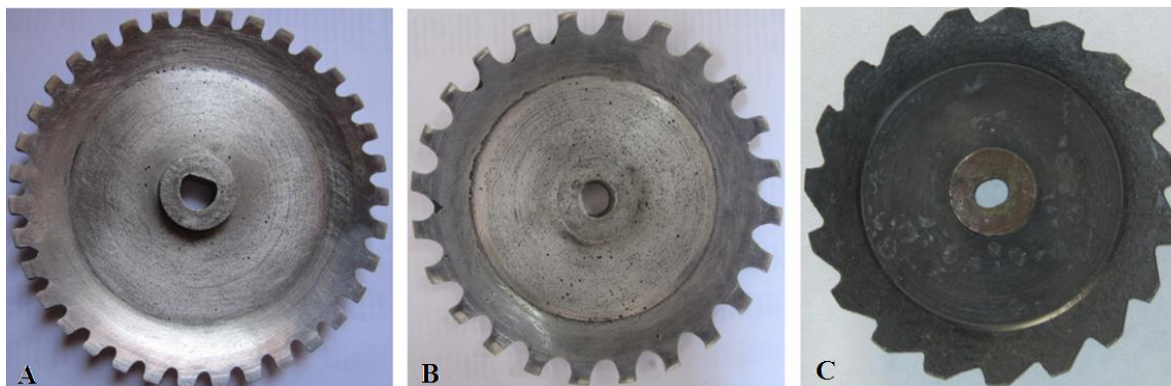


Figura 44. Platos dosificadores.

La velocidad de rotación del plato dosificador dependerá del tipo de semilla que se esté utilizando en la labor de siembra así como del número de sus orificios. Para el caso de la siembra de maíz se usará el plato de 24 orificios con velocidad de giro desde 3.3 hasta 11.8 rpm.

Los platos dosificadores serán asegurados mediante una tuerca de 0.5 pulgadas de diámetro, esto permitirá el desmontaje de manera rápida en caso de requerirlo. En la parte superior de cada plato dosificador se colocará una tapa o cubierta con abertura en el fondo para controlar el flujo de semilla y poder llenar la tolva (Figura 45).



Figura 45. Cubierta para el plato dosificador.

#### 4.4 Tolva para fertilizante

De igual manera que en la anterior se decida aplicar a las paredes de la tolva un ángulo que supere el valor del ángulo de reposo obtenido anteriormente ( $29.6^\circ$ ) y correspondiendo a las dimensiones del tractor de dos ruedas. En la Figura 46 se muestra un boceto de la tolva para fertilizante.

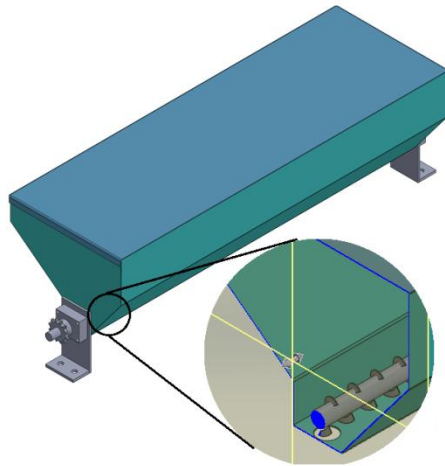


Figura 46. Tolva para fertilizante.

Un eje sinfín atraviesa la tolva por la parte inferior, este tornillo impulsa el fertilizante contenido en la tolva, hacia las salidas de los tubos de aplicación de fertilizante. Cuando el eje dosificador de fertilizante gira a una velocidad de 17.7 rpm, sale más fertilizante por los tubos que caen a los surcos de fertilización.

#### 4.5 Sistema de dosificación de fertilizante

##### a) Diámetro del tornillo ( $D, m$ )

El diámetro del tornillo debe ser como mínimo 12 veces mayor que el tamaño de los pedazos a transportar. En este caso se toma como referencia el tamaño de las partículas de fertilizante (0.85 a 3.35 mm).

$$D = 12 * d_{max} \quad (4.1)$$

$$D = 12 * 3.35 \text{ mm} = 40.2 \text{ mm} = 0.04$$

$d_{max}$ - Dimensión característica de las partículas, mm

b) Área de relleno del canalón del transportador ( $S, m^2$ ) se determina con la formula siguiente:

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.2)$$

Donde:

$\lambda$ - Coeficiente de relleno de la sección del canalón tomado menor que la unidad, para evitar el amontonamiento del material cerca de los cojinetes, adimensional

Tabla 4.1. Valores de  $\lambda$  para distintos tipos de carga.

| Tipo de carga          | $\lambda$ |
|------------------------|-----------|
| Pesadas y abrasivas    | 0.125     |
| Pesadas poco abrasivas | 0.25      |
| Ligeras poco abrasivas | 0.32      |
| Ligeras no abrasivas   | 0.4       |

Fuente: Miravete (2009).

Sustituyendo valores en la ecuación (4.2):

$$S = 0.32 \frac{\pi(0.04 m)^2}{4} = 0.00040 m^2$$

c) Velocidad de desplazamiento del transportador ( $v, m \cdot s^{-1}$ )

$$v = \frac{tn}{60} \quad (4.2)$$

$$t = (0.5 \div 1) * D \quad (4.3)$$

Donde:

$t$  - Paso del transportador, m

$n$ - Velocidad de rotación del eje del transportador, rpm

Sustituyendo valores en 4.2 y 4.3:

$$t = (0.5 \div 1) * 0.04 = 0.02$$

$$v = \frac{(0.02 * 30)}{60} = 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

d) Capacidad de transporte ( $Q, \text{ton} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$$Q = 3600 * S * v * \lambda * k \quad (4.4)$$

Donde:

$\lambda$  - Densidad del material transportado,  $\text{ton} \cdot \text{m}^{-3}$

$k$  - Factor por inclinación del transportador, adimensional

$$Q = 3600 * (0.00040 \text{ m}^2) * (0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) * (0.8 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}) * (1) = 0.0115 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

e) Potencia para mover el material horizontalmente ( $P, \text{kW}$ )

$$P = C_0 * \frac{Q * L}{367} \quad (4.5)$$

Donde:

$C_0$ - Coeficiente de resistencia del material a transportar, adimensional

$L$  - Longitud del montaje, m

Tabla 4.2. Coeficiente de resistencia de distintos materiales.

| Material                                                    | $C_0$ |
|-------------------------------------------------------------|-------|
| Harina, serrín de madera, productos granulosos              | 1.2   |
| Turba, sosa, polvo de carbón, creta en polvo                | 1.6   |
| Antracita, carbón lignitoso, sal de roca                    | 2.5   |
| Yeso, arcilla seca en pedazos, cemento, ceniza, cal, arena. | 4     |

Fuente: Miravete (2009).

Sustituyendo valores en 4.5:

$$P = 1.2 * \frac{0.0115 \text{ ton} \cdot h^{-1} * 0.85m}{367} = 0.00003196 \text{ kW} = 0.031 \text{ W}$$

#### 4.6 Sistema de transmisión de movimiento

Este será el encargado de transmitir el movimiento desde el eje de las ruedas del tractor hasta el eje de dosificación de semillas. Se eligió como medio de transmisión la cadena de rodillos y catarinas para ofrecer al usuario la flexibilidad y facilidad en la modificación de alguna relación de transmisión.

El sistema se compone de 3 cadenas de rodillos, 6 catarinas, 2 pares de engranes cónicos y 3 ejes sin contar el eje del tractor y el eje del plato dosificador, ya que estos vienen incluidos de fábrica. La Figura 47 muestra el arreglo elegido para la transmisión de potencia a los dosificadores de semilla y fertilizante, así como la colocación de un embrague para bloquear el movimiento en el caso de transporte o viraje.

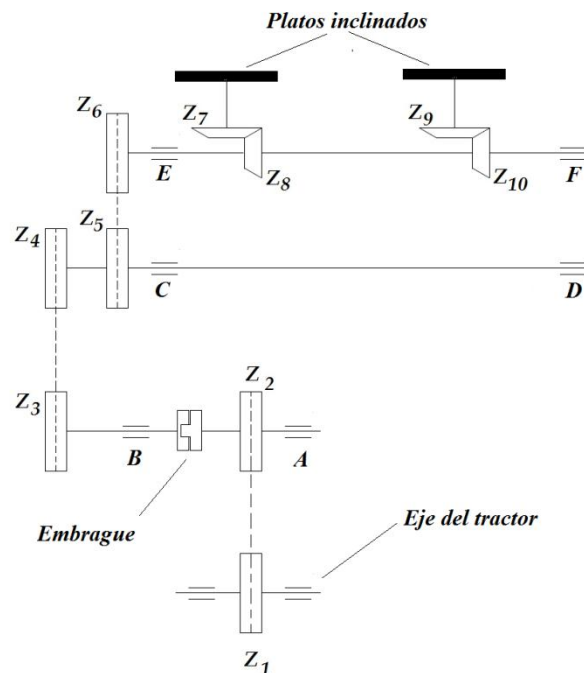


Figura 47. Configuración de la transmisión de movimiento,  $Z_i$ ; Catarinas, A-F; Chumaceras.

#### 4.6.1 Cálculo de las relaciones de transmisión

Una vez establecido el arreglo del sistema de transmisión se procede al cálculo de las relaciones de transmisión entre los distintos ejes.

$$i = \frac{n_m}{n_p} \quad (4.6)$$

Donde:

$i$ - Relación de transmisión entre el eje del tractor y el plato dosificador, adimensional

$n_m$ - Número de vueltas de la rueda accionadora, adimensional

$n_p$ - Número de vueltas del plato dosificador, adimensional

La distancia teórica de siembra será:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot i}{k} \quad (4.7)$$

Donde:

$d$ - Distancia teórica entre semillas, m

$R$ - Radio de la rueda motriz, m

$k$ - Número de agujeros en el plato dosificador

Tabla 4.3. Datos de inicio para el cálculo de la transmisión.

| Parámetro                                              | Valor |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Velocidad angular del eje motriz, rpm                  | 12.5  |
| Distancia teórica entre semillas, m                    | 0.2   |
| Número de agujeros del plato dosificador, adimensional | 24    |
| Diámetro de la rueda motriz, m                         | 0.6   |

Sustituyendo valores en (4.6) y (4.7)

$$i = \frac{k \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

$$i = \frac{(24)(0.2)}{(2)(\pi)(0.3)} = 2.54$$

En el caso del sistema de dosificación de fertilizante se determinó experimentalmente que a 17.7 rpm se llega a dosificar 175 kg·ha<sup>-1</sup> de urea, por lo que la relación de transmisión entre el eje motriz y el eje sinfín deberá cumplir con este requisito.

La velocidad angular de los ejes se obtiene con la ecuación:

$$\omega_i = \frac{n_{con}}{i} \quad (4.8)$$

Donde:

$\omega_i$ - Velocidad angular de los ejes en el dosificador de semilla y fertilizante, rpm

$n_{con}$ - Velocidad angular del eje conductor, rpm

En la Tabla 4.4 se muestran los valores obtenidos en las relaciones de transmisión, así como las velocidades angulares de los distintos ejes.

Tabla 4.4. Relaciones de transmisión y velocidades angulares en los distintos ejes.

| Relación de transmisión | Valor | Velocidad angular | Valor (rpm) |
|-------------------------|-------|-------------------|-------------|
| Eje motriz – eje 1      | 0.46  | Eje motriz        | 12.5        |
| Eje 1- eje 2            | 1.5   | Eje 1             | 26.6        |
| Eje 2 –eje 3            | 1     | Eje 2             | 17.7        |
| Eje 3 – eje 4           | 2.5   | Eje 3             | 17.7        |
|                         |       | Eje 4             | 11.8        |

#### 4.6.2 Selección de los engranes cónicos

Mendieta (2009) determinó el torque y potencia necesarios para hacer girar un dosificador de platos es de 10.3 N·m a 60 rpm con una potencia necesaria de 87.9 W (0.117 hp) en fertilización y 67.11 W (0.089 hp) en la dosificación de semilla.

Para la selección de estos elementos se usó el catalogo Martin (2012) en donde se selecciona de acuerdo a la potencia a transmitir, la Tabla 4.5 muestra información técnica de los engranes.

Tabla 4.5. Engranes seleccionados del manual Martin Sprocket & Gear.

| Núm. dientes | Núm. de catalogo | Diámetro |      | Cara (pulg) | Tamaño de agujero (pulg.) |          | Peso (libras) Aprox. |
|--------------|------------------|----------|------|-------------|---------------------------|----------|----------------------|
|              |                  | Paso     | ext  |             | Diámetro                  | Longitud |                      |
| 15           | HMK1215B         | 1.25     | 1.37 | 0.27        | 1/2                       | 55/64    | 0.14                 |
| 18           | HMK1218A         | 1.5      | 1.62 | .32         | 5/8                       | 1 1/64   | 0.25                 |

Una vez obtenido el par de engranes es necesario el cálculo de las fuerzas actuantes en cada uno de ellos, en las Figuras 48 y 49 se muestran los diagramas de cuerpo libre del piñón y engrane, respectivamente.

Cálculo de las fuerzas en el par de engranes

Según la metodología propuesta por Mott (2006) se parte del dato de torque en el eje del dosificador, el ancho de la cara del diente y el diámetro del piñón datos proporcionados en la tabla 4.5.

Los engranajes cónicos tienen tres fuerzas componentes de la principal actuante. En las Figuras 48 y 49, se representa un engranaje cónico con sus componentes: radial, tangencial y axial.

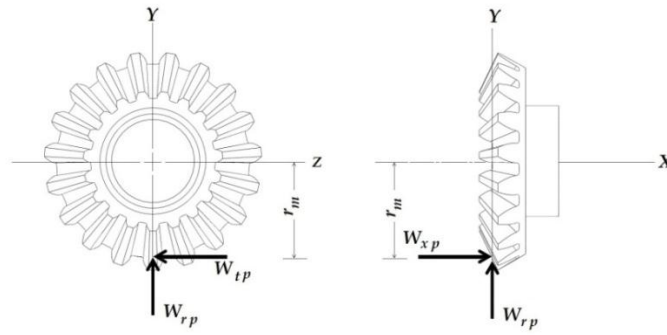


Figura 48. Diagrama de cuerpo libre del piñón.

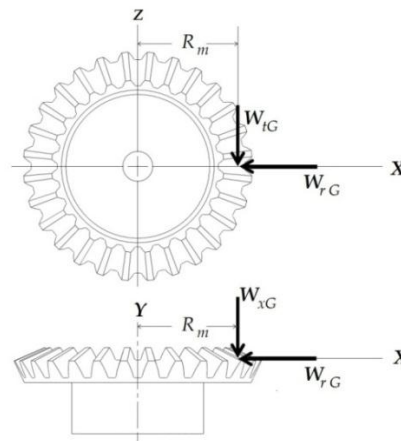


Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del engrane.

Donde:

$r_m, R_m$ - Radio medio del piñón y del engrane, pulg

$W_{tp}, W_{tG}$ - Fuerza tangencial del engrane y de la corona, lb

$W_{xp}, W_{xG}$ - Fuerza axial del piñón y del engrane, lb

$W_{rp}, W_{rG}$ - Fuerza radial del piñón y del engrane, lb

$$r_m = \frac{d}{2} - \left(\frac{F}{2}\right) \text{sen } \gamma \quad (4.9)$$

$$W_{tp} = \frac{T_p}{r_m} \quad (4.10)$$

$$W_{rp} = W_{tp} \tan \phi \cos \gamma \quad (4.11)$$

$$W_{xp} = W_{tp} \tan \phi \sin \gamma \quad (4.12)$$

$$\gamma = \frac{N_p}{N_g} \quad (4.13)$$

Donde:

$F$  - Ancho de cara, pulg

$d$  - Diámetro de paso del piñón, pulg

$\gamma$  - Ángulo del cono de paso del piñón, grados

$N_p, N_g$  - Número de dientes en el piñón y engrane, adimensional

Aplicando las ecuaciones 4.9 a 4.13 se obtienen los resultados en la Tabla 4.16.

Tabla 4.6. Resultados obtenidos en el cálculo de las fuerzas piñón- engrane

| Piñón    | Valor obtenido | Engrane  | Valor obtenido |
|----------|----------------|----------|----------------|
| $T_p$    | 122.85 lb·pulg | $T_p$    | 184.27 lb·pulg |
| $r_m$    | 0.341 pulg     | $R_m$    | 0.512 pulg     |
| $W_{tp}$ | 359.43 lb      | $W_{tg}$ | 359.43 lb      |
| $W_{rp}$ | 108.85 lb      | $W_{rg}$ | 72.56 lb       |
| $W_{xp}$ | 72.56 lb       | $W_{xg}$ | 108.85 lb      |

## Fuerzas sobre la catarina

Además del par de engranes cónicos en el eje de dosificación de semillas, este tendrá en el extremo una catarina por lo que es necesario determinar las fuerzas que en ella actúan usando las formulas siguientes:

$$F_c = \frac{T_c}{\left(\frac{D_p}{2}\right)} \quad (4.14)$$

$$F_{cx} = F_c * \sin(\theta) \quad (4.15)$$

$$F_{cy} = F_c * \cos(\theta) \quad (4.16)$$

Donde:

$F_c$ - Fuerza total actuante, lb

$F_{cx}, F_{cy}$  – Componentes de la fuerza en la catarina, lb

$T_c$ - Par torsional en la catarina, lb·pulg

$D_p$  – Diámetro de paso de la catarina, pulg

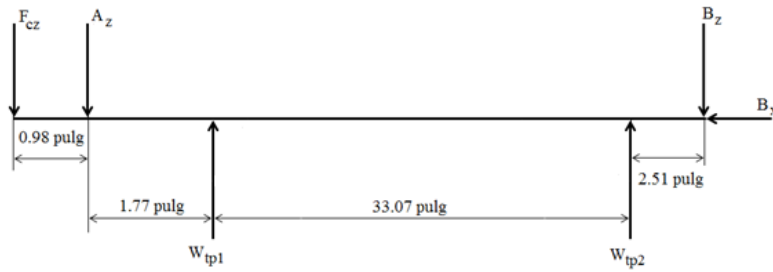
$\theta$  – Ángulo de inclinación del lado tenso de la cadena con respecto a la dirección x, grados.

La fuerza total actuante ( $F_c$ ) fue de 63.38 lb, mientras que las componente  $F_{cx}$  y  $F_{cy}$  fueron de 58.64 y 69.9 lb respectivamente.

### 4.6.3 Cálculo de las fuerzas de reacción en los apoyos del eje

Una vez obtenido los valores de las fuerzas que actúan en los engranes cónicos, se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del sistema en los planos horizontal y vertical (Figura 50). Mediante la aplicación de las ecuaciones de equilibrio de la estática se obtienen las reacciones provocadas por dichas fuerzas en los engranes en los dos planos.

### Plano horizontal



### Plano vertical

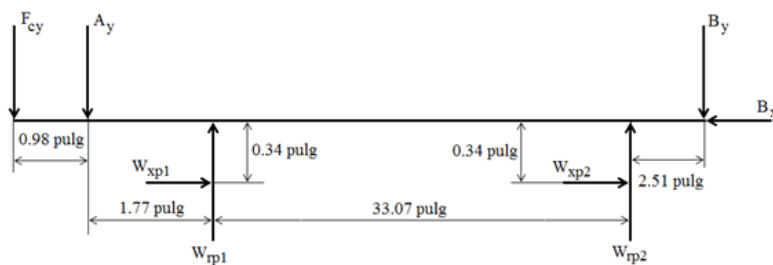


Figura 50. Configuración del árbol plano horizontal y vertical de la tolva para semillas.

Cálculo de las reacciones en  $A_z$  y  $B_z$

Momento con respecto a A

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = (F_{CZ} * 0.98) - (W_{tp1} * 1.77) - (W_{tp2} * 34.84) + (B_z * 37.35)$$

Momento respecto a B

$$\sum M_B = 0$$

$$0 = (F_{CZ} * 38.33) - (A_z * 37.35) + (W_{tp1} * 35.58) + (W_{tp2} * 2.51)$$

De manera similar se obtienen los valores para las reacciones  $A_y$  y  $B_y$ . Los resultados se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Resultados obtenidos en el cálculo de las reacciones de los soportes.

| Plano horizontal |           | Plano vertical |          |
|------------------|-----------|----------------|----------|
| $A_Z$            | 294.82 lb | $A_Y$          | 52.14 lb |
| $B_Z$            | 354.4 lb  | $B_Y$          | 108.5 lb |

Obtenidas las fuerzas a lo largo del eje en los dos planos se usó el software MDsolids 3.5® para generar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flexionante (Figura 51).

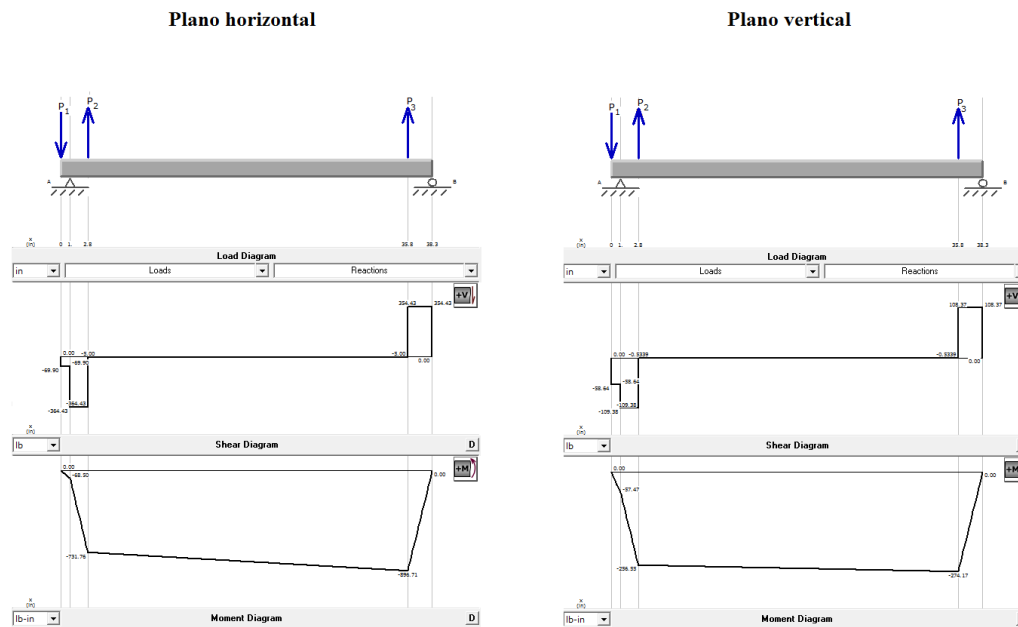


Figura 51. Resultados obtenidos con el software MDsolids.

Con los datos obtenidos se calcula el Momento flexionante máximo usando la formula siguiente:

$$M_{Max} = \sqrt{(M_Z)^2 + (M_Y)^2} \quad (4.17)$$

Sustituyendo valores en (4.17)

$$M_{Max} = \sqrt{(896.71)^2 + (274.17)^2} = 937.68 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

#### 4.6.4 Cálculo del diámetro mínimo del eje

Consiste básicamente en la determinación del diámetro correcto del eje para asegurar rigidez y resistencia satisfactoria cuando el eje transmite potencia en diferentes condiciones de carga y operación (Hall et al., 1971).

En este caso el eje sostiene los engranes cónicos y catarinas para realizar la transmisión de potencia a una velocidad de rotación. El eje queda sometido a fuerzas en dirección transversal que causan momentos flexionantes dentro del eje, por lo que requieren un análisis de esfuerzos combinados. Para determinar el diámetro mínimo se usa la fórmula siguiente.

$$d = \left[ \frac{32 (F.S)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{S'_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{1/3} \quad (4.18)$$

Donde:

$d$ - Diámetro del árbol, pulg

$F.S$ - Factor de seguridad, adimensional

$S_y$ - Esfuerzo de fluencia del sistema, psi

$S'_e$  - Resistencia a la fatiga, psi

$M$ - Momento resultante, lb·pulg

$T$ - Torque, lb·pulg

Tomando al factor de seguridad 2, el torque de 91.23 lb·pulg y el esfuerzo de fluencia del acero es de 83 000 psi con resistencia a la fatiga de 25 515 psi. Se sustituye en (4.18) obteniendo  $d=0.57$  pulg, por lo que se decide usar una barra circular de 0.75 pulg.

#### 4.6.5 Selección de los rodamientos

El siguiente paso es la determinación de las características que deberán soportar los rodamientos, con ayuda del manual SKF (1989) se selecciona el más adecuado.

La carga radial resultante en A se determina con la siguiente formula:

$$R_A = \sqrt{R_{Ay}^2 + R_{Az}^2} \quad (4.19)$$

Sustituyendo datos en (4.19)

$$R_A = \sqrt{(50.74)^2 + (294.54)^2} = 298.87 \text{ lb}$$

La carga radial resultante en B

$$R_B = \sqrt{(108.37)^2 + (354.4)^2} = 370.59 \text{ lb}$$

Carga equivalente:

$$P_1 = X_1 \cdot V \cdot F_R \quad (4.20)$$

$$P_2 = X_2 \cdot V \cdot F_R \quad (4.21)$$

Donde:

$P_1$  y  $P_2$ -Carga equivalente, lb

$V$ - Factor por rotación, se seleccionó 1, lo que gira es la pista interior del rodamiento, adimensional

$F_R$ - Carga radial aplicada, lb

$X_1$  y  $X_2$ - Factor radial, adimensional

$Y_1$  y  $Y_2$ - Factor de empuje, adimensional

En las tablas localizadas en el Anexo C se obtiene los coeficientes equivalentes para cojinetes:

$$X_1 = 1 \quad X_2 = 0.5$$

$$Y_1 = 0 \quad Y_2 = 1.4$$

Sustituyendo valores en (4.20) y (4.21):

$$P_1 = 1 \cdot 1 \cdot 370.59 = 370.59 \text{ lb}$$

$$P_1 = 0.5 \cdot 1 \cdot 370.59 = 298.87 \text{ lb}$$

Como  $P_1 > P_2$  se elige  $P_1$  por ser mayor

Cálculo de la duración del diseño y capacidad de carga básica requerida

$$C = P \cdot \left( \frac{60 \cdot L_h \cdot n}{10^6} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (4.23)$$

Donde:

$C$ - Carga básica, N

$L_h$ - Vida útil, h, se asume 3000 h para máquinas agrícolas (ver Anexo 3)

$n$ - Velocidad de rotación, rpm, se asume 12.5 rpm

$P$ - Carga equivalente, N

$\alpha$ - Coeficiente para rodamiento de bolas=3, adimensional

Sustituyendo valores en (4.22) y (4.23):

$$C = (370.59) \cdot \left( \frac{(60)(3000)12.5}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 833.82 \text{ N}$$

Se seleccionó del catálogo SKF (1989) una chumacera de 3/4 pulg (19.05 mm), cuya capacidad de carga dinámica es 9 800 N.

#### 4.7 Selección de la cadena de rodillo y catarinas

##### a) Datos iniciales de cálculo

Se toma como referencia la potencia requerida para el accionamiento del sistema dosificador de semilla determinado por Mendieta (2009), 0.117 hp para la selección de la cadena de rodillos.

La velocidad de giro en el eje del sinfín dosificador de fertilizante es de 17.7 rpm. La frecuencia de rotación en el eje motriz del tractor es de 12.5 rpm con la posición de la palanca de velocidades en segunda baja.

b) Factor de servicio

En la tabla 3 del Anexo C se selecciona un factor de servicio de 1.2 para cargas de impacto moderado.

c) Potencia de diseño

Se tomará como 175.8 W (0.235 hp) la potencia real y se multiplicará por el factor de servicio.

$$P_d = P \cdot f_s \quad (4.24)$$

Donde:

$P_d$ - Potencia de diseño, hp

$P$  – Potencia para mover los dosificadores, hp

$f_s$ - Factor de servicio, adimensional

Sustituyendo valores en (4.24)

$$P_d = (0.235) \cdot (1.2) = 0.282 \text{ h}$$

d) Selección tentativa de la cadena

Determinada la potencia de diseño y la frecuencia de rotación del eje motriz del tractor se procede a la selección de la cadena de rodillos número 40 con resistencia mínima a la tensión de 3 130 lbf (13 920 N) y capacidad nominal de potencia de 0.37 hp (Budynas, 2008).

e) Dimensionamiento de piñón y corona

Debido a que el tractor trae consigo el accesorio de catarina especial para su acople en el eje motriz se procede a ocupar este como piñón, sin embargo debe de realizarse la

configuración de la transmisión para cumplir con las revoluciones necesarias en el eje de dosificación de fertilizante.

f) Longitud tentativa de la cadena

Determinar la longitud de la cadena según la distancia entre centros, su número de dientes y el paso de la cadena. Se toma como distancia entre centros 40 pasos.

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad (4.25)$$

Donde:

$L$ - Longitud tentativa de la cadena, pasos

$C$ - Distancia entre centros, pasos

$N_1$  y  $N_2$ - Número de dientes de las catarinas, adimensional

Como datos conocidos se tiene que el número de dientes en la catarina localizada en el eje motriz del tractor es de 32 dientes y la catarina a usar en el eje del embrague es de 15 dientes por lo que sustituyendo valores en (4.25) tenemos:

$$L = 2(40) + \frac{15 + 32}{2} + \frac{(15 - 32)^2}{4\pi^2(40)} = 103.6 \text{ pasos}$$

Usamos un número par de pasos = 104 pasos

g) Distancia máxima entre centros

Conocida la longitud de las cadenas, se procede al cálculo real entre centros.

$$C = \frac{1}{4} \left[ L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left( L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \quad (4.26)$$

Sustituyendo valores en (4.26)

$$C = \frac{1}{4} \left[ 104 - \frac{15 + 32}{2} + \sqrt{\left( 104 - \frac{15 + 32}{2} \right)^2 - \frac{8(15 - 32)^2}{4\pi^2}} \right] = 35.15 \text{ pasos}$$

De pasos a pulgadas se tiene

$$35.15 \cdot (0.5) = 17.5 \text{ pulgadas}$$

h) Cálculo de la tensión máxima en la cadena

En función de la potencia de diseño, la velocidad de giro del piñón y su número de dientes se calculó la tensión máxima en la cadena.

$$P_d = T_1 \cdot \omega_1 \quad (4.27)$$

$$T_1 = \frac{F_1 \cdot d_{p1}}{2} \quad (4.28)$$

$$F_1 = \frac{60000 \cdot P_d}{\pi \cdot d_{p1} \cdot n_1} \quad (4.29)$$

Donde:

$P_d$ - Potencia de diseño, W

$d_{p1}$ - Diámetro primitivo del piñón, mm

$n_1$ - Velocidad de giro del piñón, rpm

El diámetro primitivo del piñón se calculó como:

$$D_{p1} = \frac{p}{\text{Sen}\left(\frac{180}{Z_1}\right)} \quad (4.30)$$

Sustituyendo valores en (4.29) y (4.30):

$$F_1 = \frac{(60000) \cdot (210.2)}{\pi \cdot (129.54) \cdot (21.26)} = 8652 \text{ N}$$

$$d_{p1} = \frac{0.5}{\text{Sen}\left(\frac{180}{32}\right)} = 5.1 \text{ pulg} = 129.54 \text{ mm}$$

Las especificaciones de las tres cadenas para transmitir el movimiento a los ejes dosificadores se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Distancias y longitudes para las distintas cadenas.

| Parámetro                                | Cadena 1 | Cadena 2 | Cadena 3 |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Distancia tentativa entre centros, pasos | 40       | 40       | 40       |
| Longitud necesaria en pasos              | 103.68   | 95.02    | 101.72   |
| Distancia teórica entre centros, pulg    | 17.57    | 18.74    | 17.81    |

#### 4.8 Selección de los componentes del abresurco

Los cuerpos se encuentran suspendidos en la barra porta-herramientas y constituyen el soporte de los elementos de trabajo. La forma de los cuerpos influye en los requerimientos de potencia y en la versatilidad del equipo.

Las partes que conforman el cuerpo de siembra se muestran en la Figura 52, se tomaron como referencia investigaciones enfocadas a determinar el ángulo de ataque que requiera menor fuerza de tracción (Figura 53) (Fraser, 2008; Troger et al. 2012). En nuestro caso se eligió una cuchilla comercial con ángulo de ataque de 50°.



Figura 52. Cuerpo del abresurco y rueda de compactación.

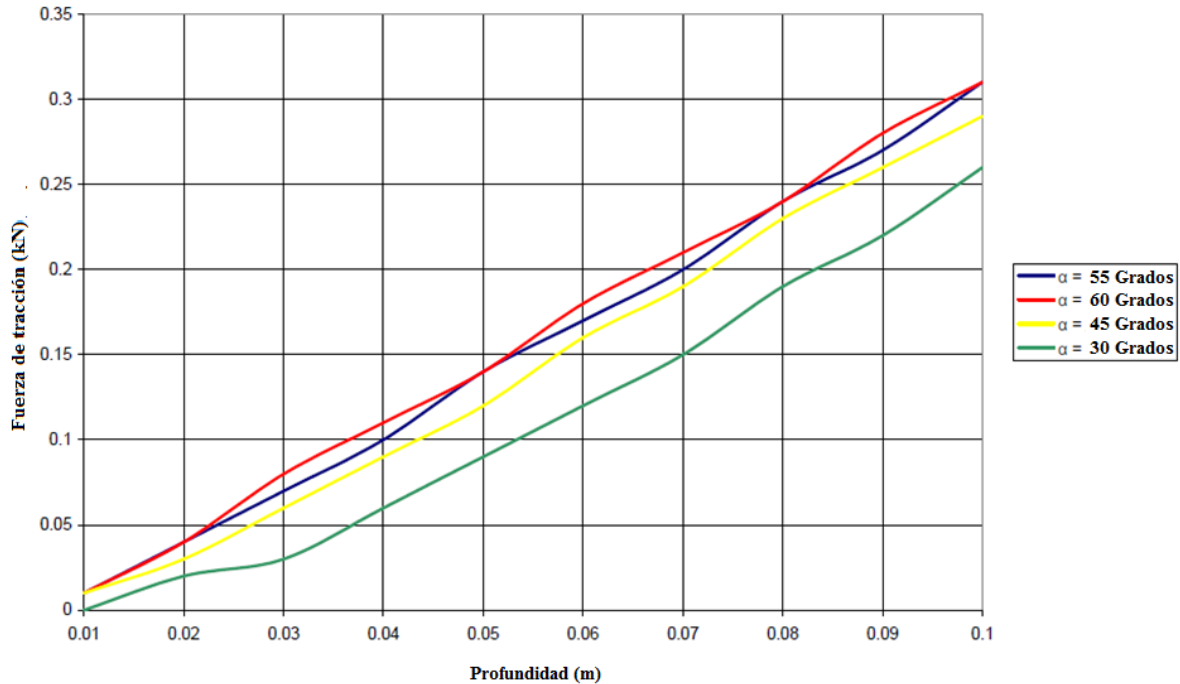


Figura 53. Efecto del ángulo de ataque en la fuerza de tracción a distintas profundidades. Fuente: Fraser, 2008.

Para la determinación de las dimensiones del timón se tomó en cuenta la altura disponible entre el suelo y el chasis del prototipo, se analizó como una viga en voladizo de sección rectangular con carga concentrada en el extremo libre, ya que en otro extremo se encontrara sujeta por una grapa al chasis.

$$b = \frac{6 \cdot P \cdot X}{S \cdot d^2} \quad (4.31)$$

Donde:

*d*- Altura de la sección transversal del timón, se considera 2.54 cm por ser una medida comercial

*b*- Ancho de la sección transversal del timón, cm

*P*- Carga concentrada en el extremo libre, kg

*S*- Esfuerzo de trabajo,  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , se toma  $2\,120 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$  para aceros estructurales

*X*- Distancia del extremo libre de la viga a cada de la misma, m

Se debe tener en cuenta las sobrecargas que se pudieran presentar debido a las exigentes condiciones de los terrenos habituales en la agricultura del país. Troger, et al. (2012) registraron fuerzas horizontales de 943 a 1850 N en pruebas de tracción de abresurco de tipo cincel, sustituyendo el valor mayor en (4.31)

$$b = \frac{6 \cdot (188.5 \text{ kg}) \cdot (40 \text{ cm})}{(2 \text{ 120 kgcm}^{-2}) \cdot (2.54 \text{ cm})^2} = 3.3 \text{ cm}$$

Por lo que la sección transversal del timón se elige de 2.54 X 5.08 cm (1 X 2pulg).

Para la compactación del suelo se eligió un resorte helicoidal de compresión con la posibilidad de aumentar la fuerza ejercida a la rueda. Se seleccionó una rueda de hule macizo con diámetro de 5 5/8 pulg.

#### Control de profundidad

El mecanismo para variar la altura de los cuerpos de corte de rastreo y siembra consta de un tornillo que al accionarlo desplaza una extensión de PTR (Figura 54). Las ruedas seleccionadas son de hule macizo de 7 pulg.

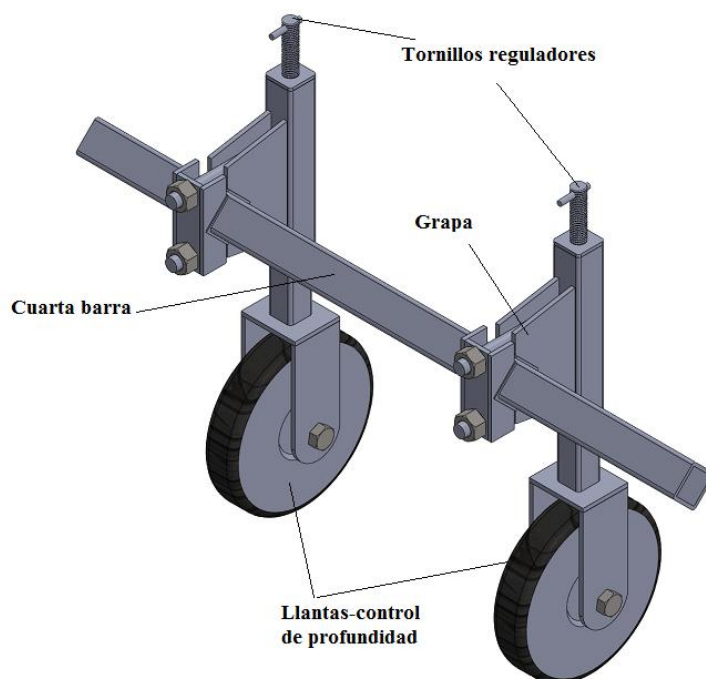


Figura 54. Control de profundidad de la máquina.

En el Anexo A se pueden observar los planos de construcción, sub-ensamblajes y ensamblajes generales de la máquina prototipo.

#### 4.9 Construcción del prototipo

Una vez finalizada la parte del diseño de detalle, se procede a la construcción del prototipo, la cual mediante planos de las piezas, sub-ensamblajes y ensamblajes de manufacturan en un taller. Para facilitar los procesos de manufactura es importante llevar a cabo la construcción de las diferentes piezas en el orden adecuado.

Se procedió primeramente con la construcción del chasis, para lo cual se usaron herramientas como cortadoras y soldadura por arco eléctrico, en la construcción de las tolvas se usaron además, de las máquinas herramientas anteriores, dobladoras, tornos, taladro de banco, se usaron elementos comerciales como tornillos, chumaceras, catarinas y cadenas.

La Figura 55 muestra los procesos de construcción de platos dosificadores basados en platos comerciales.



Figura 55. Construcción de platos dosificadores.

Una vez terminadas las piezas y adquiridos los elementos comerciales, se procede a su ensamblaje como a continuación se menciona:

- Chasis
- Tolva de semilla y tolva de fertilizante
- Sistema de control de profundidad

- Embrague
- Disco de corte
- Abresurco

La Figura 56 muestra las distintas partes construidas para formar el prototipo de máquina.



Figura 56. Construcción del prototipo. A) Tolva para semillas, B) Chasis, C) ensamblaje del embrague.

Las dimensiones de la máquina son: 1 m de ancho, 1.1 de largo y 0.9 m de altura, esto permite una buena colocación de la tolva de semillas debajo de las palancas de mando, además de ofrecer al operador visibilidad en el porcentaje de llenado de la tolva.

## **CAPÍTULO 5**

### **EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO**

## 5. PRUEBA Y EVALUACIÓN

El término “prueba” se refiere al análisis del comportamiento de una máquina comparándola con normas o valores definidos bajo condiciones ideales, con el propósito de obtener información confiable y repetible de la misma (Iglesias et al., 1999).

El término “evaluación” involucra el análisis del comportamiento de una máquina bajo condiciones agrícolas reales. El propósito es obtener información de la misma bajo las condiciones del medio para el cual fue diseñada y que varía continuamente. De acuerdo a este análisis se concluye que la prueba y la evaluación son dos aspectos no excluyentes, sino complementarios y que ambos posibilitan obtener un criterio integral sobre el medio que se analiza para determinadas condiciones de trabajo (Iglesias et al., 1999).

Finalmente se debe de agregar que, independientemente de las diferencias que existan entre ambas definiciones, es una práctica habitual utilizar el término “prueba” para referirse a ambas.

La prueba funcional valora el diseño, construcción y funcionamiento de una máquina, fuente de potencia u otro equipo desde un punto de vista ingenieril. Las pruebas preliminares se hacen para confirmar que las características físicas concuerdan con las especificaciones del fabricante, incluyendo dimensiones, peso, volúmenes de estanques y depósitos, presión de sistemas hidráulicos, etc. La calidad del diseño y construcción, incluyendo materiales y componentes como rodamientos, poleas y engranajes, también puede valorarse (Inns, 1995).

La evaluación permite determinar si una máquina es capaz de realizar la función para la cual fue diseñada, debe ser actualmente operada en el campo o lugar de trabajo para saber el grado en el que su capacidad es logable en la práctica.

### 5.1 Pruebas con la máquina estática

Para evaluar la dosificación de semilla y fertilizante se procedió a levantar la máquina con ayuda de un gato hidráulico y se puso en marcha proporcionando movimiento en los dosificadores de semilla y fertilizante.

Se realizaron pruebas con fertilizante (urea), semillas de maíz y trigo. Se usaron las formulas presentadas en la NMX-O-168-SCFI-2002 (Secretaria de Economía, 2002).

Dosificación de semilla por cada metro y por cada cuerpo

$$G_m = \frac{gh}{60v} \quad (5.1)$$

- Velocidad de desplazamiento

$$v = 0.0167 N \cdot \pi \cdot D \quad (5.2)$$

Donde:

$G_m$ - Dosificación de semilla por metro, g

$v$ - Velocidad de desplazamiento,  $\text{ms}^{-1}$

$gh$ - Promedio de la dosificación de una salida, g

$N$ - Velocidad angular de la rueda motriz, rpm

$D$ - Diámetro de la rueda motriz, m

- Dosificación de fertilizante por unidad de longitud

$$F_m = \frac{0.033 f_h}{v} \quad (5.3)$$

Donde:

$F_m$ - Dosificación de fertilizante por metro, g

$f_h$ - Promedio de la dosificación por cada metro y por cada cuerpo, g

La dosificación se realizó con semilla de maíz variedad ocelote y semilla de trigo Irena Babax Pastor. La dosificación promedio fue de 82 622 semillas·ha<sup>-1</sup> en el caso de maíz con plato de 24 orificios mientras que en trigo se llegó a dosificar 152 kg·ha<sup>-1</sup> con el primer plato y 55 kg·ha<sup>-1</sup> con el plato de 40 agujeros. La dosificación de fertilizante fue de 159 kg·ha<sup>-1</sup>, presentando una dosificación por metro de 11.94 g, en el Anexo B se muestran las estadísticas obtenidas de estas pruebas.

## 5.2 Evaluación de la dosificación distribución espacial de las semillas

El objetivo de esta prueba es la de determinar el espaciamiento entre semillas así como las fallas y la dosificación doble en condiciones reales de campo, para lo cual es necesario pasar la sembradora por una pista nivelada de 25 m de longitud usando el plato dosificador de 24 agujeros.

Se desacopló el chuzo de siembra dejando solamente el tubo de descarga, la cama de siembra se cubrió con plástico y grasa para evitar que las semillas rebotaran (Figura 57). Se realizaron tres trayectos con diferente velocidad de operación, al término de cada trayecto se registraron las distancias entre semillas.



Figura 57. Espaciamiento entre semillas.

La distancia entre semillas promedio y la desviación estándar obtenida fueron para la primera velocidad de 207.15 mm y 44.68, para la segunda velocidad de 208.6 mm y 51.64 y para la tercera velocidad de 217.7 mm y 73.97 respectivamente. Las gráficas

de distribución de las semillas en la línea de siembra puede observarse en el Anexo B donde se muestran los resultados de las tres velocidades de operación.

### **5.3 Evaluación en campo**

La prueba máquina-individual envuelve probar una máquina sola de acuerdo con un procedimiento especificado y en condiciones definidas. Los procedimientos y condiciones son generalmente establecidos en un código de prueba que pretende asegurar que los resultados de la prueba son comparables para máquinas del mismo tipo aun cuando fuesen probados en oportunidades diferentes (Inns, 1995).

Antes de realizar la prueba se deben verificar los siguientes aspectos:

- 1) Verificar que todos los elementos de sujeción, tales como tornillos, opresores, etc. estén apretados correctamente.
- 2) Verificar que las chumaceras estén bien sujetadas al chasis y debidamente engrasadas.
- 3) Checar que las catarinas de los mecanismos en movimiento estén bien alineadas.
- 4) Comprobar que la tensión de las cadenas de transmisión sean las adecuadas.
- 5) Cerciorarse de que no existan objetos extraños que pudieran dañar las partes en movimiento y/o provocar un accidente.

Los resultados de la prueba y evaluación del equipo permiten mejorar la calidad de fabricación, y con ello la productividad de las máquinas. Por medio de las pruebas se puede asegurar que solamente maquinaria técnicamente probada y evaluada bajo condiciones locales, regionales, nacionales e internacionales se pongan al alcance de los agricultores.

#### **5.3.1 Condiciones de la parcela**

La parcela se localiza dentro de las instalaciones del Centro de Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, el Batán, Texcoco, Estado de México. Se realizaron dos experimentos a fin de comparar el efecto en la germinación de plantas usando dos chuzos de siembra diferentes, las dimensiones de los terrenos fueron de 6 m de ancho

(8 camas de 0.75) por 45 m de largo, la tabla 5.3 muestra los arreglos realizados a la máquina antes de empezar la prueba.

Tabla 5.3. Ajustes realizados en la máquina para la siembra.

| Parámetro                                | Asignación                     |
|------------------------------------------|--------------------------------|
| Semilla                                  | Maíz                           |
| Densidad de siembra teórica              | 60000 plantas·ha <sup>-1</sup> |
| Número de agujeros del plato dosificador | 24                             |
| Abresurco                                | 1                              |
| Cobertura                                | Paja de trigo                  |
| Disco cortador                           | Liso                           |
| Tractor                                  | Donfeng 15 hp, diesel          |
| Posición de la palanca de velocidades    | 2da. baja                      |

Se tomaron 5 muestras distribuidas en la parcela de prueba a profundidades de 0-15 y 15-30 cm para determinar su porcentaje de humedad (Figura 58). Los recipientes usados fueron botes de aluminio de volumen conocido por lo que una vez seca la muestra se procedió a determinar su densidad aparente.



Figura 58. Obtención de muestras de suelo en la parcela de pruebas.

#### 5.4 Resultados obtenidos durante la siembra

La prueba se realizó a las 15:30 horas sobre camas angostas de 0.75 m de ancho (Figura 59), se registró una temperatura ambiente de 25.3 ° C, con 40% de humedad relativa. La densidad aparente del suelo fue de 1.21 g·cm<sup>-3</sup> en un rango de profundidad de 0-15 cm y 1.49 g·cm<sup>-3</sup> a una profundidad de 15-30 cm con un porcentaje de humedad de 19.81 y 19.88 % respectivamente.



Figura 59. Siembra en camas angostas con rastrojo de trigo.

La segunda prueba se realizó a las 17:00 horas y se registró una temperatura ambiente de 23.9 ° C, con 40% de humedad relativa. La densidad aparente y el porcentaje de humedad fueron los mismos que en la primera prueba, para este caso se usó el abresurco que se muestra en la Figura 60 B.

En las tablas 5.4 y 5.5 se puede observar los datos obtenidos sin presentar marcada diferencia entre el uso de los chuzos, se presenta un bajo rendimiento real debido a que la parcela en donde se realizaron las siembras es reducida con mucha pérdida de tiempo en virajes.

Tabla 5.4. Resultados obtenidos en la siembra con el chuzo 1.

| Parámetro-Implemento                           | Resultado        |
|------------------------------------------------|------------------|
| Tiempo efectivo de trabajo, s                  | 839              |
| Tiempo operativo de trabajo, s                 | 1130             |
| Tiempo total de trabajo, s                     | 1130             |
| Ancho de trabajo teórico, m                    | 0.75             |
| Ancho total de trabajo, m                      | 6                |
| Ancho efectivo de trabajo, m                   | 0.75             |
| Profundidad de siembra, m                      | 0.045            |
| Longitud de viraje, m                          | 3.8              |
| Longitud total de trabajo, m                   | 52.6             |
| Longitud trabajada después de los 45 m         | 1.2              |
| Longitud real de trabajo, m                    | 47.4             |
| Superficie total de trabajo, m <sup>2</sup>    | 315.6            |
| Superficie efectiva de trabajo, m <sup>2</sup> | 284.4            |
| Rendimiento teórico, ha·h <sup>-1</sup>        | 0.18             |
| Rendimiento efectivo, ha·h <sup>-1</sup>       | 0.13             |
| Rendimiento operativo, ha·h <sup>-1</sup>      | 0.10             |
| Rendimiento real, ha·h <sup>-1</sup>           | 0.10             |
| Eficiencia efectiva de trabajo, adim.          | 0.71             |
| Eficiencia operativa de trabajo, adim.         | 0.53             |
| Eficiencia real de trabajo, adim.              | 0.53             |
| <b>Parámetro-Tractor</b>                       | <b>Resultado</b> |
| Velocidad de operación, km·h <sup>-1</sup>     | 1.54             |
| Patinaje en las ruedas del tractor, %          | 3.45             |
| Consumo de combustible, l·ha <sup>-1</sup>     | 0.86             |
| <b>Parámetro-Parcela</b>                       | <b>Resultado</b> |
| Tipo de suelo                                  | Phaeozem Háplico |
| Humedad, %                                     | 19.8             |
| Densidad aparente, g·cm <sup>3</sup>           | 1.214            |
| Cobertura                                      | Paja de trigo    |

Tabla 5.5. Resultados obtenidos en la siembra con el chuzo 2.

| Parámetros-Implemento                          | Resultado        |
|------------------------------------------------|------------------|
| Tiempo efectivo de trabajo, s                  | 836              |
| Tiempo operativo de trabajo, s                 | 1096             |
| Tiempo total de trabajo, s                     | 1096             |
| Ancho de trabajo teórico, m                    | 0.75             |
| Ancho total de trabajo, m                      | 6                |
| Ancho efectivo de trabajo, m                   | 0.75             |
| Profundidad de siembra, m                      | 0.053            |
| Longitud de viraje, m                          | 3.8              |
| Longitud total de trabajo, m                   | 52.6             |
| Longitud trabajada después de los 45 m         | 1.2              |
| Longitud real de trabajo, m                    | 47.4             |
| Superficie total de trabajo, m <sup>2</sup>    | 315.6            |
| Superficie efectiva de trabajo, m <sup>2</sup> | 284.4            |
| Rendimiento teórico, ha·h <sup>-1</sup>        | 0.18             |
| Rendimiento efectivo, ha·h <sup>-1</sup>       | 0.14             |
| Rendimiento operativo, ha·h <sup>-1</sup>      | 0.10             |
| Rendimiento real, ha·h <sup>-1</sup>           | 0.10             |
| Eficiencia efectiva de trabajo, adim.          | 0.73             |
| Eficiencia operativa de trabajo, adim.         | 0.56             |
| Eficiencia real de trabajo, adim.              | 0.56             |
| <b>Parámetros-Tractor</b>                      | <b>Resultado</b> |
| Velocidad de operación, km·h <sup>-1</sup>     | 1.54             |
| Patinaje en las ruedas del tractor, %          | 3.45             |
| Consumo de combustible, l·ha <sup>-1</sup>     | 0.88             |
| <b>Parámetros- Parcela</b>                     | <b>Resultado</b> |
| Tipo de suelo                                  | Phaeozem Háplico |
| Humedad, %                                     | 19.8             |
| Densidad aparente, g·cm <sup>3</sup>           | 1.214            |
| Cobertura                                      | Paja de trigo    |

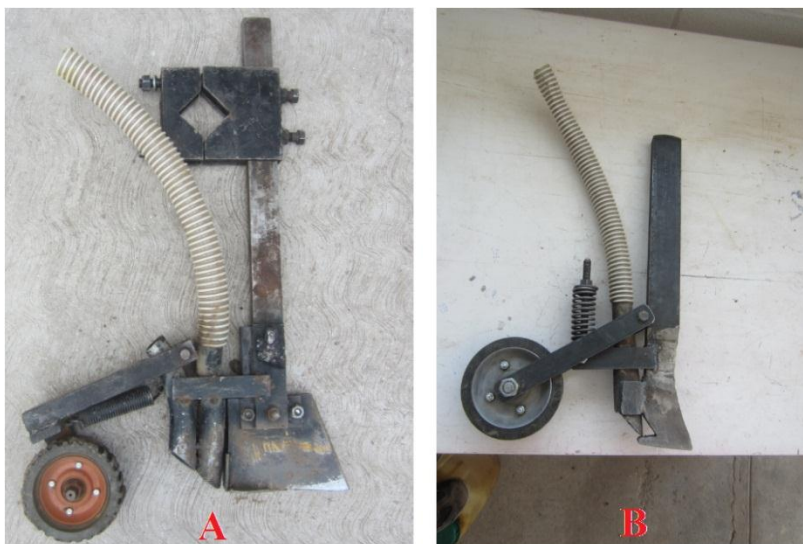


Figura 60. Tipos de abresurco usados en la siembra.

### Evaluación de la eficiencia de corte

Esta evaluación se realizó sobre residuos de cultivo de maíz como se muestra en la Figura 61, el cual fue doblado para obtener las condiciones reales, se usó un disco liso de 12 pulg de diámetro, la posición de la palanca de velocidades se ubicó en 2da baja, con velocidad de avance real de  $1.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , la eficiencia de corte fue de 88.8 % y el contenido de humedad en la paja de 23.4 %.



Figura 61. Corte de rastrojo de maíz.

## 5.5 Formación de camas

Se realizaron pruebas para determinar la funcionalidad de la máquina para la formación de camas angostas de 0.75 m de ancho. La prueba se realizó en un terreno de 6.75 m de ancho por 25 m de largo.

Se usaron dos tipos de implementos para esta operación, la primera fue una reja angosta también conocida como pata de mula, esta herramienta es muy usada en las operaciones de reformación de camas. La segunda herramienta fue un surcador como se muestra en la Figura 62 B.



Figura 62. Tipos herramientas usadas en la formación de camas.

El terreno fue preparado con dos pasos de rastra para dejar suelto el suelo, se agregó una barra circular entre las dos rejas con la finalidad de romper las crestas que se forman al levantar el suelo (Figura 63).

Los mejores resultados se obtuvieron con la segunda herramienta, ya que esta permite un mejor levantamiento en los canteros, los promedios obtenidos fueron, 0.73 m en el ancho de la base de la cama, 0.41 m en la superficie y 0.17 m en la altura.



Figura 63. Formación de camas angostas (0.75 m).

## 5.6 Niveles de ruido y vibración

### *Vibración*

Los efectos de la exposición a la vibración varían de acuerdo a su frecuencia, aceleración y duración de la exposición. Varían desde náusea a baja frecuencia hasta desórdenes en los huesos por exposiciones largas a frecuencias altas (Smith, 1994).

La prueba se realizó en campo con la máquina en funcionamiento sobre un tramo recto de 20 m, el sensor marca RION modelo VM-52A fue colocado en las mancillas del tractor como lo muestra la Figura 64, obteniéndose un resultado promedio de 3.21, 2.14, 4.16  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  en los componentes X, Y y Z respectivamente.

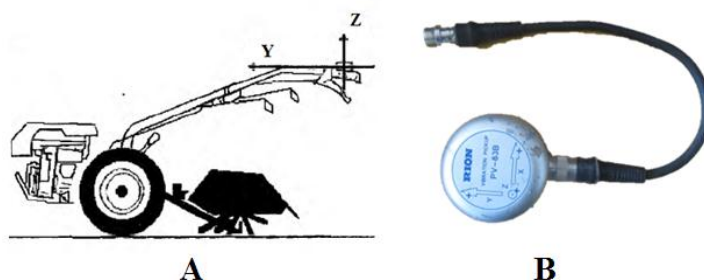


Figura 64. Medición de la vibración, A- Colocación en la máquina, B- Sensor.

De acuerdo a la NOM-024-STPS-2001 el tiempo total de exposición diaria a las vibraciones con los valores obtenidos deberán ser de hasta 4 horas.

### ***Ruido***

La investigación ha establecido que la exposición a un nivel de ruido promedio sobre 80 dBA por un día de trabajo de 8 horas puede causar daño a la audición (Smith, 1994). Por lo que se recomienda que todo equipo sea diseñado para tener niveles de ruido inferiores a 80 dBA. Si no se puede reducir el ruido será necesario que el operador use protección en los oídos.

La medición se realizó con un sonómetro marca ONO SOKKI modelo LA-1210 a la altura del oído del operador como lo muestra la Figura 65, sobre un tramo recto de 20 m, el valor promedio registrado fue de 87.5 dBA el cual rebasa lo estipulado por Smith (1994) y la NOM-011-STPS-2001 que es de 85 dBA, debido a lo anterior se debe proporcionar equipo de protección auditiva e informar a los trabajadores y a la comisión de seguridad e higiene del centro de trabajo y orientarlos sobre la forma de evitarlas o atenuarlas.



Figura 65. Medición del ruido.

### **5.7 Prueba de potencia necesaria**

Los parámetros que se miden durante la prueba de potencia, son parámetros solo de referencia para asegurar que la potencia que se mide en ese momento, es la que corresponde a la que se emplea al trabajar con el implemento a la profundidad y

ancho de trabajo adecuada, a la velocidad recomendada por el fabricante teniendo un patinaje dentro de lo permitido.

La potencia de tracción necesaria se obtiene con las ecuaciones 5.4 y 5.5:

$$P_a = 0.001 * v * P_t \quad (5.4)$$

$$P_t = P * 9.81 \quad (5.5)$$

Donde:

$P_a$ - Potencia necesaria para la tracción del implemento, kW;

$v$  - Velocidad de desplazamiento, m·s<sup>-1</sup>;

$P_t$ - Resistencia a la tracción, N;

$P$ - Fuerza resultante de la resistencia de tracción tomada directamente del instrumento de medición, kg.

En la prueba de tracción en motocultores se usa un remolque especial acoplando entre estos un dinamómetro y la prueba se realiza sobre asfalto. En nuestro caso lo que se desea obtener es la potencia necesaria para la tracción del implemento por lo que el método a usar consiste en conectar dos tractores mediante cadenas colocando una celda de carga, el primer tractor arrastrara a un segundo tractor con el implemento enganchado (Figura 66).

Las celdas de carga se usan para determinar la magnitud del jalón en la barra de tracción de las unidades de potencia o para comprobar la demanda de tracción por parte de los implementos agrícolas.

En esta prueba se usó una celda de carga marca LUF-H modelo LUH-500KF con capacidad de 5 kN, junto a un multímetro digital marca ADVANTEST modelo R6441B.

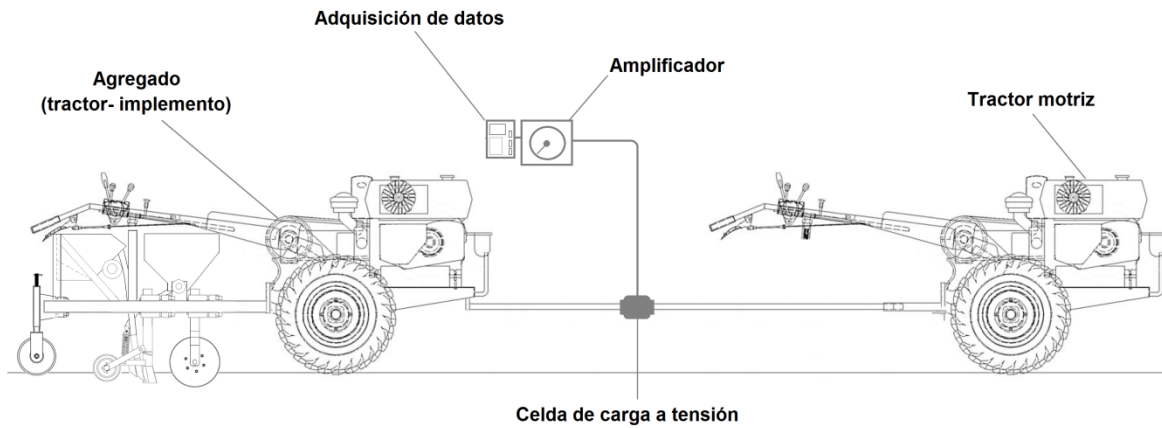


Figura 66. Medición de la potencia de tracción con dos tractores.

La prueba se realizó bajo condiciones de campo reales (Figura 67), se realizaron trayectos sobre camas angostas de 0.75 m de ancho con rastrojo de maíz, primero solamente con la máquina enganchada sin ningún cuerpo de trabajo, después con un par de surcadores trabajando a una profundidad de 15 cm, por último se hicieron trayectos con un cuerpo de siembra (disco cortador y abresurco) a una profundidad de 8 cm. La humedad del suelo fue de 22 %, con densidad de  $1.4 \text{ g.cm}^{-3}$ . La posición de la palanca de velocidad se ubicó en 2da. baja.



Figura 67. Determinación de potencia para la tracción del implemento.

Los resultados obtenidos muestran una resistencia a la tracción del implemento de 1335.47 N con un consumo de potencia máximo de 0.6 hp como valores máximos trabajando con surcadores, ancho de trabajo de 0.75 m a una profundidad de trabajo de 15 cm y velocidad de operación de 1.46 km·h<sup>-1</sup>. Al trabajar con un cuerpo de siembra los valores máximos obtenidos fueron 1277.82 N y 0.34 hp de potencia a una velocidad de operación 1.7 km·h<sup>-1</sup> y patinaje en las ruedas del tractor de 14.72 %.

# **CAPÍTULO 6**

## **ANÁLISIS DE COSTOS**

## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MÁQUINA PROTOTIPO

Una de las etapas del diseño de máquinas, es el análisis económico en el que se determina la factibilidad económica de la propuesta de solución comparando los ingresos con respecto a los egresos. En el caso de que la propuesta técnica no sea factible económicamente debe de buscarse otra propuesta de solución que garantice dicho criterio.

Se analizan a continuación los costos de construcción, costos horarios y costos de la materia prima (Figura 68), en el caso de los costos de operación debe entenderse como el costo de un servicio dentro del proceso productivo, es decir, que con el costo operativo se intenta determinar el costo de una operación en lugar del costo de producción del cultivo.

Los costos de operación son usados para evaluar alternativas, seleccionar equipos y proceder a su adquisición o arrendamiento, dependiendo de la consideración económica más viable.

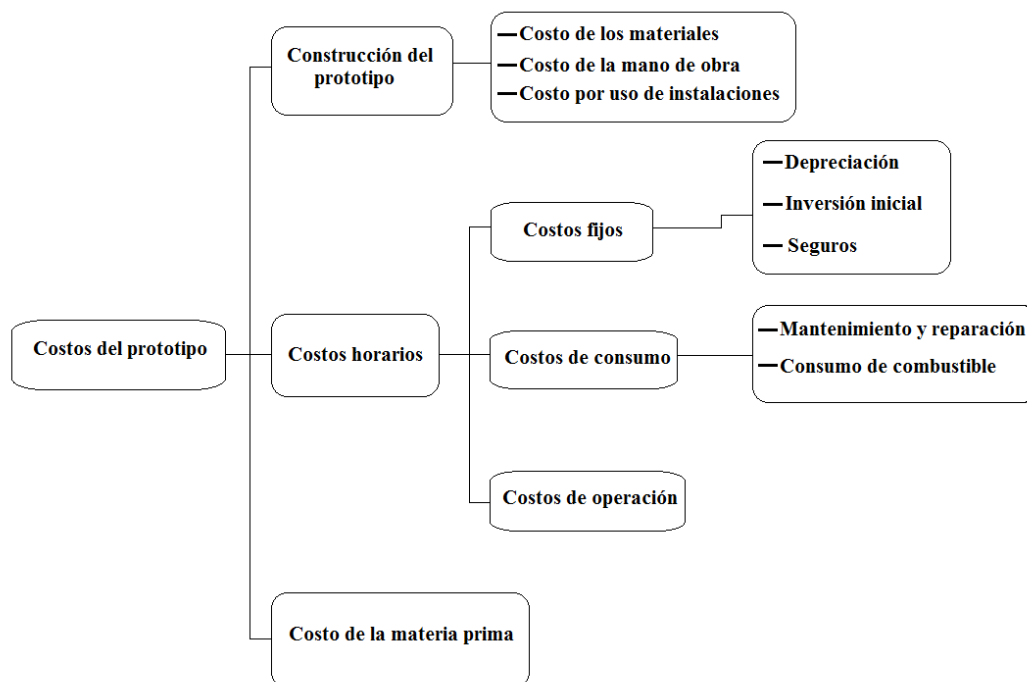


Figura 68. Apartados que considera el análisis de costos del prototipo.

## **6.1 Costos para la construcción del prototipo**

El costo del prototipo depende de las inversiones o gastos que se generan en cuanto al consumo de materia prima, uso de máquinas herramientas, mano de obra y otros gastos generales.

### **6.1.1 Materiales**

Incluye los costos de los distintos materiales usados en la construcción del prototipo como se muestra en la Tabla 6.1.

El costo total de adquisición de materiales para la construcción del prototipo es de:

Costo de materiales: \$ 17 218

Más el 16% de IVA: \$ 2755

La suma total de materiales para la construcción es de: \$19 973

### **6.1.2 Mano de obra**

El costo de la mano de obra requerida se calcula, considerando el 100% del costo total de los materiales es decir, \$ 19 973.

### **6.1.3 Costos por uso de instalaciones**

Para la determinación del costo por el uso de instalaciones se utilizará un 20 % del costo de materiales, es decir \$ 3 994.6

### **6.1.4 Costos por consumo de energía eléctrica**

Considerando el uso de las máquinas herramientas en un 100 % se estima que el consumo de energía sea de \$ 30.00 diario. Asumiendo que se trabajan 30 días se tiene un costo de \$900.00

El costo total de fabricación del prototipo es de \$ 44 840

Tabla 6.1. Materiales utilizados en la construcción del prototipo.

| Material                            | Precio unitario | Cantidad | Costo  |
|-------------------------------------|-----------------|----------|--------|
| PTR cuadrado 2 pulg. Cal. 3/16 pulg | 570             | 2        | 1140   |
| PTR cuadrado 1 ½ pulg cal. 3/16     | 429             | 1        | 429    |
| Lámina galvanizada cal. 14.         | 596             | 1        | 596    |
| Solera ¼ X 1 pulgada                | 128             | 2        | 256    |
| Solera ¼ X 2 pulgadas               | 244             | 1        | 244    |
| Ángulo 3/16 X 1 ½ pulgadas          | 264             | 1        | 264    |
| Barra redonda ¾ pulgada             | 203             | 1        | 203    |
| Barra redonda ½ pulgada             | 92              | 1        | 92     |
| Esparrago diámetro ¾ pulgada        | 18              | 1        | 18     |
| Llantas de hule                     | 150             | 2        | 300    |
| Chumacera de piso diámetro 3/4      | 71              | 6        | 426    |
| Rodamiento diámetro 3/4             | 24              | 2        | 48     |
| Engrane cónico 10 dientes           | 750             | 2        | 1500   |
| Engrane cónico 15 dientes           | 800             | 2        | 1600   |
| Catarina 31 dientes paso 40         | 150             | 1        | 150    |
| Catarina 18 dientes paso 40         | 127             | 1        | 127    |
| Catarina 12 dientes paso 40         | 90              | 2        | 180    |
| Cadena de rodillos paso 40          | 140             | 2        | 280    |
| Candado de cadena paso 40           | 15              | 3        | 45     |
| Rondanas ¾ pulgadas diámetro        | 0.5             | 20       | 10     |
| Tuercas                             | 1               | 20       | 20     |
| Tornillos ½ X 5 pulgadas            | 19              | 10       | 190    |
| Tornillos ½ X 2 ½ pulgadas          | 15              | 10       | 150    |
| Sistema de dosificación-semilla     | 2500            | 2        | 5000   |
| Grapas para ptr de 2x2 pulgadas     | 500             | 4        | 2000   |
| Tubos de conducción de semilla      | 100             | 1        | 100    |
| Disco ondulado de 11 ½ pulgadas     | 800             | 2        | 1600   |
| Embrague de dientes                 | 250             | 1        | 250    |
| Total                               |                 |          | 17 218 |

## 6.2 Costos horarios totales del prototipo

Son aquellos que se generan por el uso de la máquina, en estos se encuentran los siguientes:

### 6.2.1 Costos fijos

Son los costos generados desde la adquisición del equipo sin importar si este haya sido usado con anterioridad o no. Estos costos se consideran para proteger la inversión en la compra de un equipo.

#### a) Depreciación

Constituye una pérdida de valor del equipo debido a su edad, al uso o al desgaste y a la obsolescencia del mismo en caso de que esta se diera (Murillo, 1987).

Existen muchas formas para valorar este concepto, pero la más comúnmente empleada en México es la depreciación lineal. Se representa por la siguiente expresión:

$$D = \frac{V_a - V_r}{n * H_a} \quad (6.1)$$

Donde:

$D$ - Depreciación, \$ · h<sup>-1</sup>

$V_a$ - Valor de adquisición, pesos

$V_r$ - Valor de rescate, pesos, se considera entre (0.1 a 0.2) \*  $V_a$

$H_a$ - Horas anuales de uso, h·año<sup>-1</sup>

$n$ - Años de vida útil, años

**Vida útil.** Consiste en el tiempo u horas de trabajo que se estima que una máquina puede operar en condiciones adecuadas. En la Tabla 6.2 se indican valores de este tipo para diferentes máquinas en distintas operaciones agrícolas.

Tabla 6.2. Vida útil para distintas máquinas.

| Equipo agrícola                 | Vida útil<br>(Horas) | Uso anual<br>estimado<br>(Horas) | Costo total de reparación<br>durante la vida útil (% del costo<br>de adquisición ) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Tractor sencillo                | 10 000               | 2 000                            | 120                                                                                |
| Tractor de doble<br>tracción    | 10 000               | 2 000                            | 100                                                                                |
| Tractor de orugas               | 10 000               | 2 000                            | 100                                                                                |
| Cosechadora<br>(autopropulsada) | 2 000                | 2 000                            | 60                                                                                 |
| Chapeadora                      | 2 000                | 500                              | 60                                                                                 |
| Segadora                        | 2 500                | 500                              | 120                                                                                |
| Abonadora                       | 1 200                | 200                              | 120                                                                                |
| Sembradora                      | 2 500                | 500                              | 120                                                                                |
| Arados                          | 2 500                | 500                              | 120                                                                                |
| Rastras                         | 2 500                | 500                              | 120                                                                                |
| Cultivadoras                    | 2 500                | 500                              | 120                                                                                |

Fuente: Murillo (1987).

**Valor de rescate.** Es el valor que tiene la maquina al final de su vida útil. Se estima generalmente en un 20% del costo de adquisición.

**Valor de adquisición.** Es el valor de la máquina nueva.

**Uso anual.** Es el número de horas que se usa el equipo al año

Para el valor de adquisición asumimos el costo total de fabricación del prototipo, en el caso de las horas de uso se tiene que la máquina estará en funcionamiento 7 horas diarias, trabajando 6 días a la semana con 45 semanas al año.

La depreciación se calculara para un periodo de 10 años de vida útil.

Sustituyendo valores en (6.1)

$$D = \frac{44840 - 6726}{10 * 700} = 5.44 \$ \cdot h^{-1}$$

### **Inversión**

Es el cargo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en maquinaria. Está representado por la ecuación:

$$I = \frac{(V_a + V_r)i}{2 * H_a} \quad (6.2)$$

Donde:

$I$ -Inversión,  $\$h^{-1}$

$i$ - Tasa de interés anual, se asumirá 20%.

Sustituyendo valores en 6.2

$$I = \frac{(44840 + 6726) * 0.2}{2 * 700} = 7.36 \$ \cdot h^{-1}$$

### **b) Seguros**

Se calculan para cubrir los riesgos a que está sometida la maquinaria durante su vida y por los accidentes que sufra.

$$S = \frac{(V_a + V_r) * s}{2 * H_a} \quad (6.3)$$

Donde:

$S$ - Seguros,  $\$h^{-1}$

$s$ - Prima anual promedio de seguros, se considera del 1 a 2 % anual.

$$S = \frac{(44840 + 6726) * 0.15}{2 * 700} = 5.52 \$ \cdot h^{-1}$$

### c) Intereses

Consiste en las ganancias que el capital invertido en el equipo producirá o hubiera producido de haber sido invertido en bonos, depósitos a plazo, etc.

### d) Inflación

Se debe estimar como un costo fijo en el cálculo total de costo de operación con el propósito de que al final de la vida útil de la maquina se recupere el capital suficiente para adquirir una maquina nueva.

### e) Almacenaje

En caso de que para guardar el equipo se invierta dinero en un espacio, el costo de este se debe estimar como costo fijo de operación. Este parámetro depende de las dimensiones de la máquina y de las condiciones de protección que requiera, se representa por la siguiente ecuación:

$$A = k * D \quad (6.4)$$

Donde:

$A$ - Almacenaje,  $\$h^{-1}$

$k$ - Factor de almacenaje, adimensional. Habitualmente se considera de 0.01.

$$A = 0.01 * 5.44 = 0.054 \$ \cdot h^{-1}$$

Por tanto el costo fijo es:

$$CF = D + I + S + A \quad (6.5)$$
$$C.F = 5.44 + 7.36 + 5.52 + 0.054 = 18.37 \$ \cdot h^{-1}$$

## 6.2.2 Costos variables

### A) Combustible

Para obtener el consumo de combustible únicamente se determina el consumo por hora y se multiplica por el precio del mismo. En caso de no conocer el consumo de combustible se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$C_c = C_d * D_p \quad (6.6)$$

$$C_c = 0.9 * 11.67 = 10.5 \$ \cdot h^{-1}$$

$$C_d = (0.165) * (P_{tr}) \quad (6.7)$$

Donde:

$C_c$ - Costo por consumo de combustible,  $\$ \cdot h^{-1}$

$C_d$ - Consumo diesel,  $l \cdot h^{-1}$

$P_{tr}$ - Potencia nominal del motor, hp

$D_p$ - Precio del diesel,  $\$ \cdot L^{-1}$  (11.67\$/L, julio de 2013)

## 6.2.3 Mantenimiento y reparación

Son gastos originados para que el equipo funcione adecuadamente y se mantenga en buenas condiciones.

$$M = Q * D \quad (6.8)$$

Donde:

$M$ - Costo por mantenimiento y reparación,  $\$ \cdot h^{-1}$

$Q$ - Factor de mantenimiento, adim. Se considera de 0.4-1.0.

$D$ - Depreciación de la máquina,  $\$ \cdot h^{-1}$

$$M = 0.4 * 5.44 = 2.17 \$ \cdot h^{-1}$$

El costo de consumo es

$$C.C = C_c + M \quad (6.9)$$

$$C.C = 10.5 + 2.17 = 12.67 \$ \cdot h^{-1}$$

### 6.3 Costos de operación

La máquina deberá ser atendida por un operario, por lo que es necesario sumar a los costos fijos y variables del equipo, el costo de su operación. Este costo se calcula en base al salario del operario (incluyendo cargas sociales) y las horas efectivas de trabajo

Está representado por el valor total de los jornales insumidos en un proceso donde la operación de máquinas requiere de la asistencia de la mano de obra para la ejecución de tareas tales como la conducción de la unidad de potencia o la realización de una labor en particular (ejemplo: los operarios que realizan la aplicación de plaguicidas con equipos de alto volumen, estibadores en cosecha, etc.).

$$O = \sum_{i=1}^n \frac{S_B * F_{SR}}{H} \quad (6.10)$$

Donde:

$O$ - Costo de operación,  $\$ \cdot h^{-1}$

$S_B$ - Salario base,  $\$$

$F_{SR}$ - Factor de salario real, adimensional

$H$ - Horas efectivas de trabajo

En este caso solamente se ocupa a una persona para operar la máquina con un salario base de \$100 00 con prestaciones de acuerdo a la ley federal del trabajo, considerando un factor de salario real de 1.2. Sustituyendo valores en 6.10 se obtiene:

$$O = \frac{100 * 1.2}{7.5} = 16 \$ \cdot h^{-1}$$

Por lo tanto el costo horario total por el uso de la máquina es:

$$C.H.T = C.F + C.C + O \quad (6.11)$$

$$C.H.T = 18.37 + 12.67 + 16 = 47.04 \$ \cdot h^{-1}$$

### 6.3.1 Costos de la materia prima

El rendimiento de la máquina es de  $0.18 \text{ hah}^{-1}$ , en 6 horas se llega a sembrar 1.08 ha. Si la siembra se realiza con densidad de 60 000-80 000 con una masa total de 25 kg, el precio aproximado de la semilla criolla es de \$5.71.

$$CH_{mp} = P_m * P_{mp} \quad (6.12)$$

Donde:

$CH_{mp}$ - Costo de la materia prima,  $\$ \cdot h^{-1}$

$P_m$ - Productividad de la máquina,  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$

$P_{mp}$ - Precio de la materia prima,  $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$

$$CH_{mp} = 0.18 * 142.75 = 25.69 \$ \cdot h^{-1}$$

### 6.4 Ingresos por el servicio de la máquina

La máquina está diseñada para realizar la siembra y fertilización de semillas de maíz, los beneficios se verán reflejados en ingresos económicos por el uso de la misma, es decir, la productividad de la máquina así como el precio del maíz.

Encuestas realizadas por el programa de socio-economía del CIMMYT muestran que el costo para la operación de siembra se encuentra entre los 350-500  $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$ , mientras que para la fertilización el costo es de 400  $\$ \cdot \text{h}^{-1}$ .

Los ingresos horarios se determinan con la siguiente ecuación:

$$IH = P_M * P_H \quad (6.13)$$

Donde:

$IH$ - Ingresos por el servicio de la máquina,  $\$ \cdot h^{-1}$

$P_M$ - Productividad de la máquina,  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$

$P_H$ - Costo por realizar la operación de siembra y fertilización,  $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$

Sustituyendo valores en 6.13

$$IH = 0.18 * 450 = 81 \$ \cdot h^{-1}$$

#### 6.4.1 Utilidades

Son los ingresos o las ganancias obtenidos al restarle los costos de producción

$$U = IH - (C_{HT} + C_{HMP}) \quad (6.14)$$

$$U = 81 - (47.04 + 25.69) = 8.27 \$ \cdot h^{-1}$$

Donde:

$U$ - Utilidades,  $\$ \cdot h^{-1}$

#### 6.4.2 Relación beneficio-costo

$$R_{b/c} = \frac{IH}{(C_{HT} + C_{HMP})} \quad (6.15)$$

$$R_{b/c} = \frac{81}{(47.04 + 25.69)} = 1.11$$

Donde:

$R_{b/c}$ - Relación beneficio-costo, adimensional

La máquina es factible de fabricarse ya que la relación beneficio - costo es mayor a la unidad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseñó y construyó una máquina sembradora- fertilizadora con la flexibilidad de agregar cuerpos para la formación de camas angostas de 0.70 a 0.8 m de ancho.
- Las dimensiones principales del implemento son 1 m ancho, 1.1 m largo y 0.9 m de altura.
- Se evaluó su desempeño en campo tomando en cuenta la norma NMX-O-168-SCFI-2002, Tractores, Implementos y Maquinaria Agrícola – Sembradoras – Sembradoras unitarias y/o fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco – Especificaciones y método de prueba.
- Se realizaron pruebas de dosificación de semillas de maíz y trigo con la máquina suspendida obteniendo dosis de siembra de 82 622 semillas·ha<sup>-1</sup> y 152 kg·ha<sup>-1</sup> respectivamente.
- La dosificación máxima de fertilizante fue de 158 kg·ha<sup>-1</sup> pudiendose regular a través de pequeñas compuertas.
- La variación en la dosificación de semilla es posible mediante el cambio de platos dosificadores o en la variación del número de dientes de la catarina.
- El rendimiento de la máquina es de 0.18 ha·h<sup>-1</sup> en la operación de siembra de maíz, con un consumo horario de combustible de 0.88 l·ha<sup>-1</sup>.
- El corte de rastrojo de maíz fue satisfactorio con el uso de un disco liso.
- Se realizaron pruebas de formación y reformación de camas angostas (0.75 m) obteniendo resultados satisfactorios.
- Se recomienda el uso de contrapeso en la parte frontal del tractor ya que esto ayudara a la maniobrabilidad del conjunto, sobre todo al momento de los virajes.
- Es necesario hacer una evaluación profunda en el diseño del abresurco con la finalidad de reducir el movimiento de suelo.
- Se recomienda añadir un asiento para el operador de la máquina.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Alvarado C. A. 2004. Maquinaria y Mecanización Agrícola. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. 565 pp.

Aquino M. P., J. Peña R. y Ortiz M. I. 2012. México y el CIMMYT. Resumen Ejecutivo. CIMMYT. 44 pp. Disponible en: <http://intranet.cimmyt.org/en/about-us/partnerships/mexico-y-el-cimmyt>. Fecha de consulta: mayo 2013.

ASAE STANDARDS. 1999. Moisture measurement-Unground grain and seeds. ASAE (S352.2). 1 pp.

Ashbuarner J. y Sims, B. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA, San José de Costa Rica:. 437 pp.

Budynas G. R. y Keith N. J. 2008. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Mc. Graw Hill. Octava edición. México D.F. 1059 pp.

Campos M. S., Cadena Z. M., Reynolds C. A., Jácome M. S., Cruz B. J., Bonilla B. J., Esqueda E. V. Desarrollo de un sistema de siembra neumático de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia media. TERRA Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 1, pp. 85-91.

Chaudhuri D. 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills-a review. Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 79, Issue 2, pp. 125-137.

CIMMYT. 2010. Agricultura de Conservación, hacia un procedimiento integrado de agricultura sostenible y rentable en México. CIMMYT México. 7 pp.

Elkin C. M., Álvarez M. F. y González S. H. 2009. La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. Revista CES. Volumen 4. Número 2. Julio – Diciembre 2009, pp. 151-160.

Erenstein O., Sayre K., Wall P., Dixon J., Hellin J. 2010. Adapting No-Tillage Agriculture to the Conditions of Smallholder Maize and Wheat Farmers in the Tropics and Sub-Tropics, pp. 253-277.

Esdaile R.J., Bell R., Hossain I., Haque E., Sinath P., Vial L. 2009. Development of conservation farming implements for two-wheel tractors (power tillers) in Cambodia, Lao PDR and Bangladesh. 20 pp.

Esdaile, R.J. 2011. Conservation farming implements for two wheel tractors. 5th World Congress on CA pp. 364-365.

FAO. Agricultura de conservación, preguntas frecuentes. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca/doc/Y3783s.pdf>. Fecha de consulta 28 mayo 2013.

Financiera Rural. 2011. Monografía del maíz. México. 2 pp.

García B. S., Serwatowski H. R., Cabrera S. J. M. et al. 2012. Análisis del desempeño de cuatro modelos de discos corta-paja usados en sembradoras para siembra directa. Memoria XXI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo experimental Valle de México, Chapingo, México, pp. 53-62.

García D. R. 2010. Manual de fórmulas de ingeniería. 2da. ed. Limusa. México. 620 pp.

Garcicevich A. 2004. Tres herramientas para mejorar la calidad de siembra. INTA AER. Disponible en: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/gargicevich/Sembradoras%20para%20Maiz%20%20Tres%20herramientas%20para%20mejorar%20Calidad%20de%20Siembra.asp>

Govaerts, B. Sayre, K.D. 2005. Agricultura de conservación, hacia un procedimiento integrado de agricultura sostenible y rentable en México. México, D.F. 2 pp. Disponible en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/547>

Guerrero R. R. Manual técnico, propiedades generales de los fertilizantes. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. 40 pp. Disponible en: <http://www.monmeros.com/>. Fecha de consulta: diciembre 2012.

Hall A. S. Holowenko R. A., Laughlin H. G. 1971. Teoría y problemas de diseño de máquinas. McGraw Hill. México. 344 pp.

Hernández L. O., Cintra A. M. Claro A. A., et al. 2011. Manual de agricultura de conservación. Instituto de suelos MINAG, Cuba. 58 pp.

Heege, H. and Billot, J.F. 1999. Bill A. Stout, editor. Plant Production Engineering. Vol III, Seeders and Planters. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, A.S.A.E., pp. 217-240.

Iglesias C. C., Paneque R. P., Shkiliova L. 1999. Evaluación y prueba de tractores y máquinas agrícolas. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba. 485 pp.

Inns, F. M. 1995. La selección, prueba y evaluación de máquinas agrícolas y equipos agrícolas (teoría). Volumen 115 Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma, Italia. 84 pp.

John D. 1975. Fundamentos de funcionamiento de maquinaria. Siembra. 171 pp.

Justice, S.; Haque E. M.; Meisner C. A.; Hossain I.; Ganesh S.; Tripathi J.; Rashid M. H.; Amin M. R. 2004. Giving South Asia farmers a choice: a single drill for reduced and strip till crops for 2 wheel tractors. Paper presented at the 2004 international Commission on Agricultural Engineering (CIGR) international Conference, Beijing, China.

Labiak J. S., Hines R. E. 1999. Grain Handling in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume IV Agro-Processing Engineering. Editor: F. W. Bakker-Arkema, pp. 11-20.

Lara L. A., Chancellor W. J. 2008. Tractors: Two-Wheel Tractors for Dry Land Farming in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume III. ASAE, pp. 95-114.

Márquez L. 1999. Sembradoras monograno. Agrotécnica, N. 12, pp. 28-39.

Márquez L. 2011. Elementos que definen el comportamiento de las sembradoras. Parte I, Los dosificadores. Agrotécnica. Año XIV, N. 10, pp. 42-47.

Márquez L. 2011. Elementos que definen el comportamiento de las sembradoras. Parte II, Los elementos sembradores. Agrotécnica. Año XIV, N. 11, pp. 32-38.

Martin Sprocket & Gear. 2012. Drive Selection Tables, Section G Gears. 96 pp. Disponible en <http://www.martinsprocket.com/>

Martínez G. M. A. 2005. Agricultura de conservación para la producción de cultivos in Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. Loredó O. C. (Ed.). CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, pp. 5-38.

MasAgro. 2013. Informe de actividades 2011-2012. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 60 pp.

Mendieta E. A. 2009. Dosificador de maíz o fertilizante para una sembradora versátil. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, México. 105 pp.

Miravete A., Larrodé E. 1996. Transportadores y elevadores. Editorial Reverté, Barcelona, España. 448 pp.

Mott, R. L. 2006. Diseño de elementos de máquinas. Pearson Educación. México. 994 pp.

Murillo G. N. 1987. Tractores y Maquinaria Agrícola. Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. 253 pp.

Murray J. R., Tullberg J. N. and Basnet B. B. 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. ACIAR Monograph No. 121. 171pp.

Negrete J. C. Políticas de mecanización agrícola en México. Revista Iberoamericana CTS. Noviembre 2011. 20 pp.

Novelo G. Mario. 2000. La labranza de conservación en México y apoyos de FIRA para su adopción. Banco de México – FIRA. 9 pp.

Ortiz C. J. 2003. Las máquinas agrícolas y su aplicación. 6ta edición. Ediciones mundiprensa. México, D.F., pp. 143-160.

Ospina Machado Julio Ernesto. 2001. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Universidad Nacional de Colombia. 224 pp.

Phal, G. and W. Beitz. 1984. Engineering design. Design council. London. 450 pp.

Procuraduría Agraria. 2004. Estadísticas agrarias. México, D.F. 14 pp.

Ramos W. J. 1996. Diseño de un soporte hidráulico para sostener techos de minas de carbón con capacidad de 25 toneladas. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 285 pp.

Ribeiro F., Justice S. E., Hobbs P. R., Baker C. John. 2008. Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión- Máquinas para pequeña escala in Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. FAO. Roma Italia, pp. 247-272.

SAGARPA. 2011. Perspectiva de largo plazo del sector agropecuario de México. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). 51 pp.

Secretaría de Economía. 2002. Sembradoras unitarias y/o fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco – especificaciones y método de prueba. NMX-O-168-SCFI-2002. México, D.F. 26 pp.

Secretaría del trabajo y previsión social. 2002. Vibraciones-Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo. NOM-024-STPS-2001. México, D.F. 17 pp.

Secretaría del trabajo y previsión social. 2002. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. NOM-011-STPS-2001. México, D.F. 29 pp.

Shein T. 1988. Evaluation of different metering devices for multi-crop seeding. Thesis (M.S.). University of the Philippines at Los Baños. 114 pp.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Atlas Agropecuario. 2 pp.

Silveira R. J. A. 1990. Teoría y cálculo de máquinas agrícolas. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 420 pp.

SKF. 1989. Catálogo general. Stamperia Artística Nazionale Torino. Torino Italia 974 pp.

Smith D. W., Sims B.G., O'Neil D. H. 1994. Principios y prácticas de prueba y evaluación de máquinas y equipos agrícolas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 110. Roma Italia. 272 pp.

Tesouro O., D'Amico J., Paredes D., Romito A., Venturelli L., Roba M., Duro S. 2009. Ensayo de dosificador neumático marca Mater Macc modelo MagicSem. Informe técnico de siembra 1. Instituto de ingeniería rural. 97 pp.

Troger H. C. H., Dos Reis A. V., Machado A. L. T., Machado R. L. T. 2012. Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. Eng. Agric. Jabotical. Vol. 32, n. 6, pp. 1133-1143.

**Paginas web consultadas:**

<http://www.knapik.br>

<http://www.cimmyt.org>

<http://www.masagro.gob.mx>

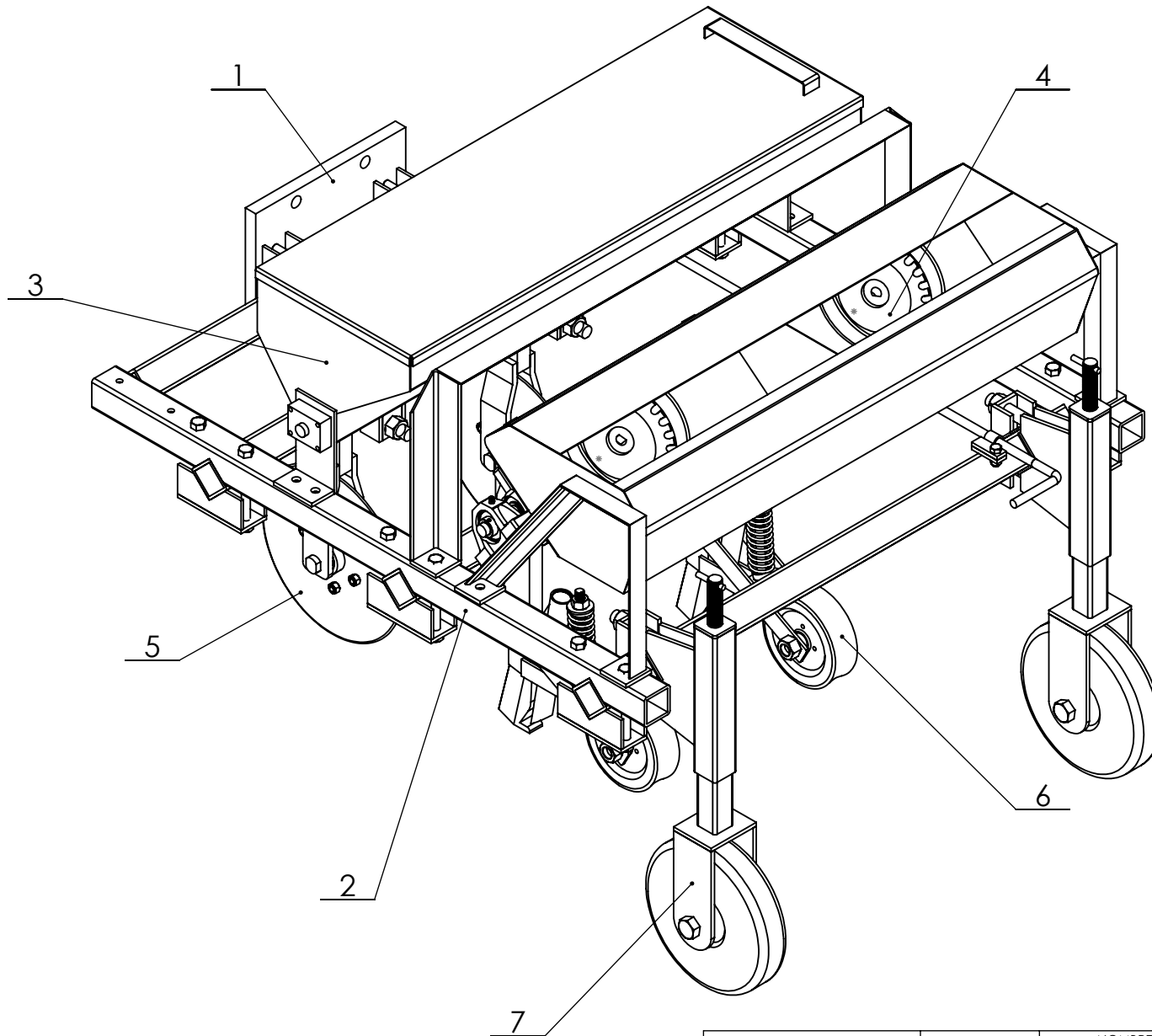
<http://www.fao.org/ag/ca/es/>

[http://www.df-tractor.com/power\\_tiller.html](http://www.df-tractor.com/power_tiller.html)

<http://aciar.gov.au/>

<http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/conservation-earth>

## **ANEXO A. Planos de piezas y ensamblajes**



| 7               | Control de profundidad  | 2        |
|-----------------|-------------------------|----------|
| 6               | Abresurco               | 2        |
| 5               | Disco de corte          | 2        |
| 4               | Tolva para semilla      | 1        |
| 3               | Tolva para fertilizante | 1        |
| 2               | Chasis                  | 1        |
| 1               | Enganche a tractor      | 1        |
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN             | CANTIDAD |

|                                                                                                                                                                       |                                       |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>                                                                                                                                          | NOMBRE<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ        | FECHA<br>06/09/2013 |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:                                                                                                                                         | DISEÑADO POR:<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | DIBUJADO POR:<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | VERIFICADO POR:<br>JELLE VAN LOON     | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | FABRICACIÓN                           |                     |
|                                                                                                                                                                       | MATERIAL:                             | ACABADO:            |
| LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |                                       |                     |

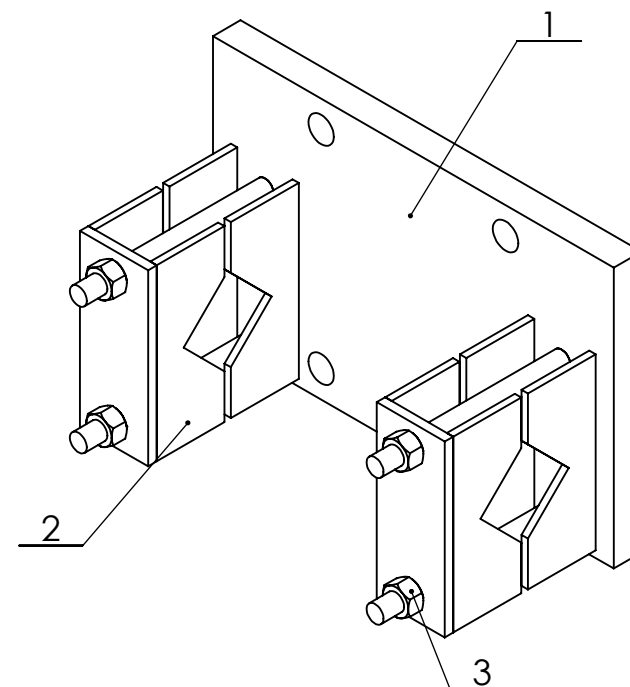
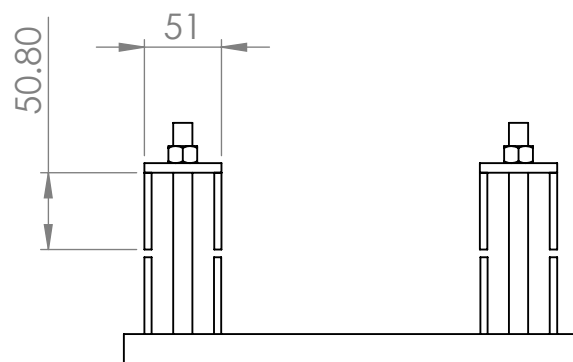
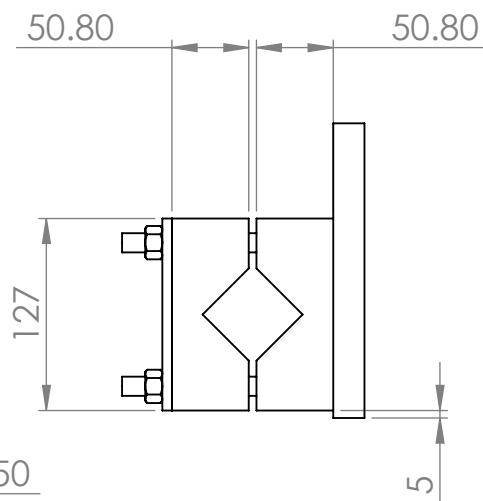
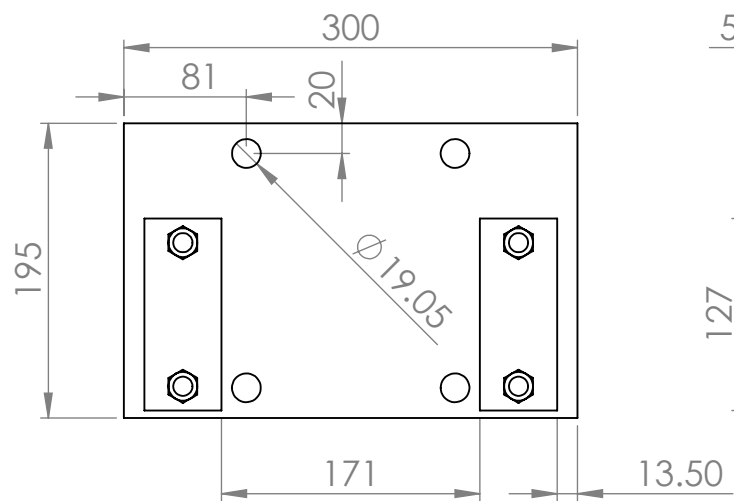
Universidad Autónoma Chapingo

TÍTULO:

Ensamblaje principal

|                    |                               |             |
|--------------------|-------------------------------|-------------|
| TAMANO<br><b>A</b> | N.º DE DIBUJO:<br>T2R-010000A | REV<br>00   |
| ESCALA: 1:9        | PESO:                         | HOJA 1 DE 1 |

**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

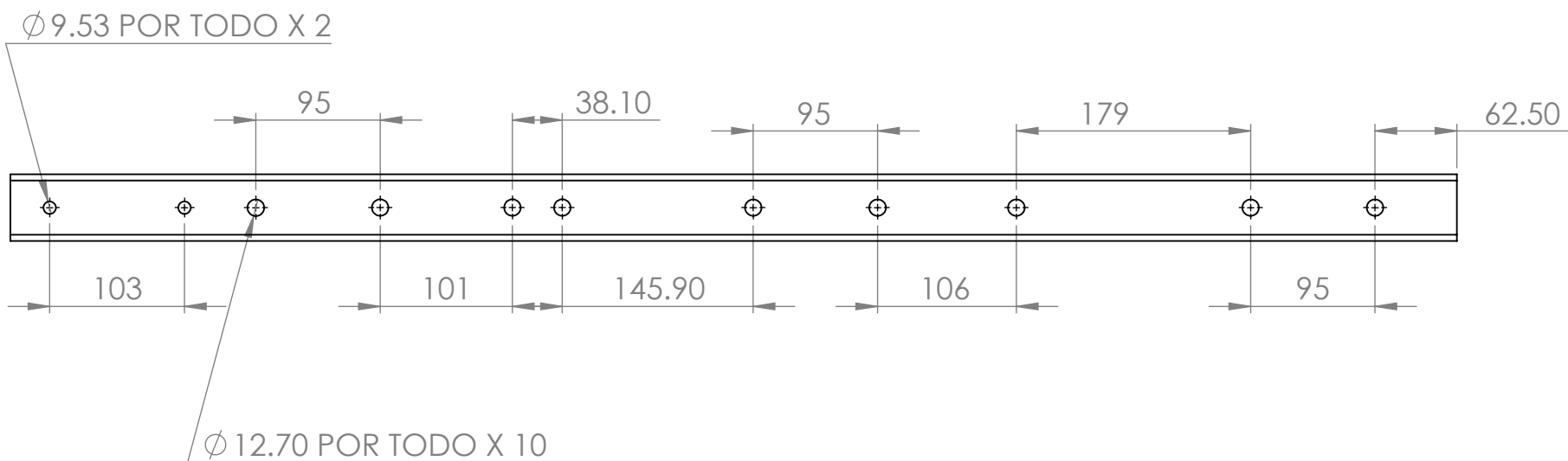
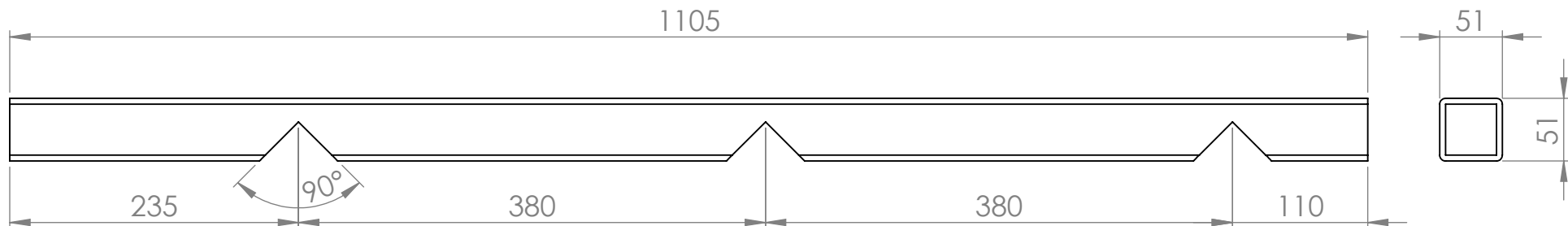


| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN           | CANTIDAD |
|-----------------|-----------------------|----------|
| 1               | Enganche              | 1        |
| 2               | Media grapa           | 2        |
| 3               | Tuerca hex. 0.5 pulg. | 4        |

|                                                                                                                                                                       |                                       |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>                                                                                                                                          | NOMBRE<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ        | FECHA<br>06/09/2013 |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:                                                                                                                                         | DISEÑADO POR:<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | DIBUJADO POR:<br>JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | VERIFICADO POR:<br>JELLE VAN LOON     | 06/09/2013          |
|                                                                                                                                                                       | FABRICACIÓN                           |                     |
|                                                                                                                                                                       | MATERIAL:                             | ACABADO:            |
| LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |                                       |                     |

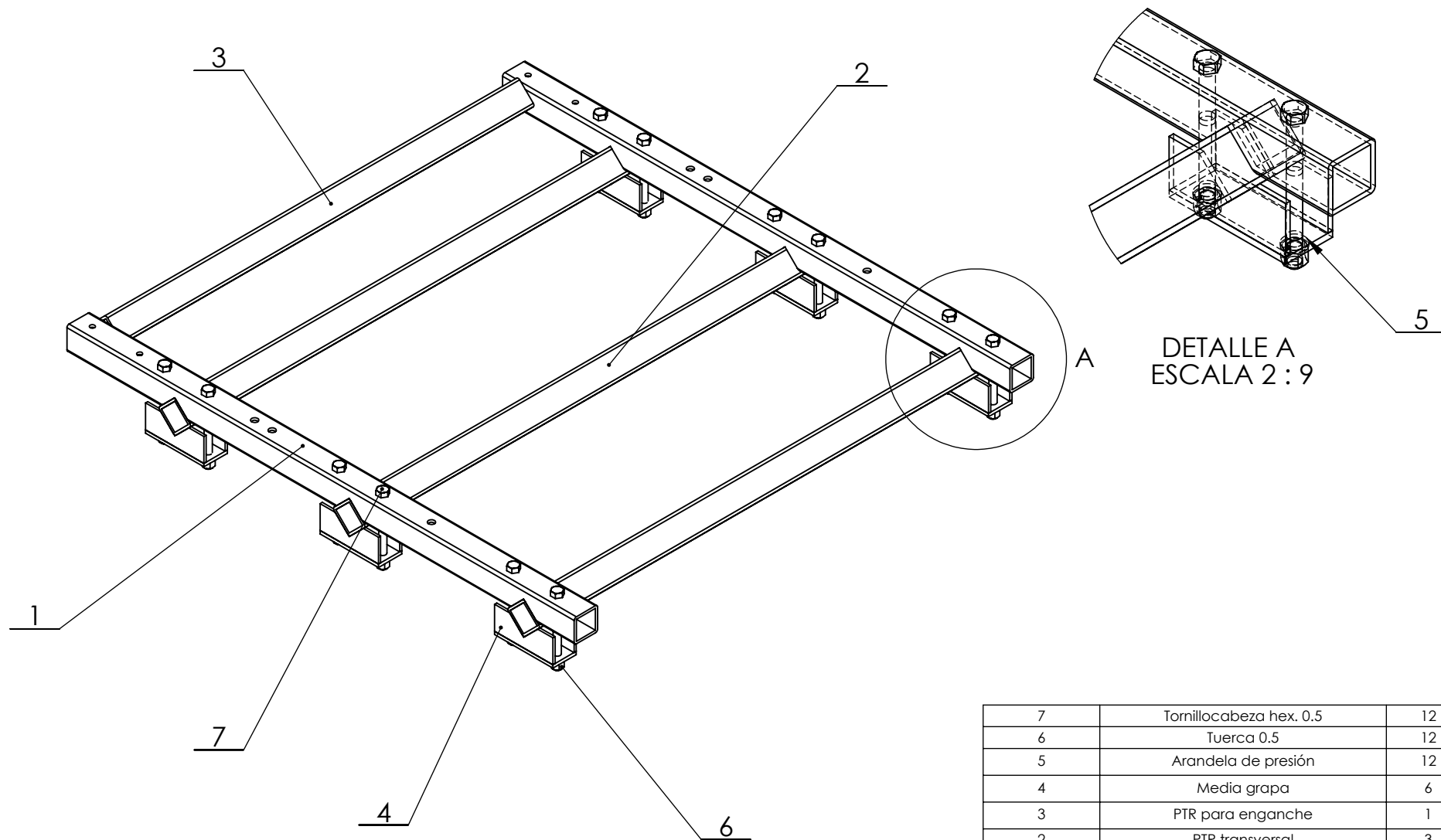
|                                |                               |             |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Universidad Autónoma Chapingo  |                               |             |
| TÍTULO: Ensamblaje de enganche |                               |             |
| TAMANO<br><b>A</b>             | N.º DE DIBUJO:<br>T2R-010100A | REV<br>00   |
| ESCALA: 1:5                    | PESO:                         | HOJA 1 DE 6 |

**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**



**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

|                                                                                                                                                         |  |                                                                                                                                                                       |  |               |  |                                                                                                                                    |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>                                                                                                                            |  | NOMBRE                                                                                                                                                                |  | FECHA         |  | Universidad Autónoma Chapingo                                                                                                      |  |  |
|                                                                                                                                                         |  | DISEÑADO POR: JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ                                                                                                                                    |  | 06/09/2013    |  |                                                                                                                                    |  |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:                                                                                                                           |  | DIBUJADO POR: JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ                                                                                                                                    |  | 06/09/2013    |  | TÍTULO:<br><b>PTR Lateral derecho</b>                                                                                              |  |  |
|                                                                                                                                                         |  | VERIFICADO POR: JELLE VAN LOON                                                                                                                                        |  | 06/09/2013    |  |                                                                                                                                    |  |  |
| LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS<br>TOLERANCIAS:<br>FRACCIONAL ±<br>ANGULAR: MÁQUINA ±    PLEGUE ±<br>2 LUGARES DECIMALES ±<br>3 LUGARES DECIMALES ± |  | FABRICACIÓN                                                                                                                                                           |  |               |  | TAMANO<br><b>A</b><br><br>N.º DE DIBUJO:<br><b>T2R-010201C</b><br><br>REV<br><b>00</b><br><br>ESCALA: 1:10    PESO:    HOJA 1 DE 1 |  |  |
|                                                                                                                                                         |  | MATERIAL:<br>PTR de acero 2x2 pulgadas                                                                                                                                |  | ACABADO:<br>X |  |                                                                                                                                    |  |  |
|                                                                                                                                                         |  | LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |  |               |  |                                                                                                                                    |  |  |
|                                                                                                                                                         |  |                                                                                                                                                                       |  |               |  |                                                                                                                                    |  |  |
|                                                                                                                                                         |  |                                                                                                                                                                       |  |               |  |                                                                                                                                    |  |  |



DETALLE A  
ESCALA 2 : 9

| 7               | Tornillo cabeza hex. 0.5 | 12       |
|-----------------|--------------------------|----------|
| 6               | Tuerca 0.5               | 12       |
| 5               | Arandela de presión      | 12       |
| 4               | Media grapa              | 6        |
| 3               | PTR para enganche        | 1        |
| 2               | PTR transversal          | 3        |
| 1               | PTR lateral              | 2        |
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN              | CANTIDAD |

PRODUCTO:  
**MUMC-T2R**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS  
TOLERANCIAS:  
FRACCIONAL  $\pm$   
ANGULAR: MÁQUINA  $\pm$  PLEGUE  $\pm$   
2 LUGARES DECIMALES  $\pm$   
3 LUGARES DECIMALES  $\pm$

|         | NOMBRE               | FECHA      |
|---------|----------------------|------------|
| DISEÑO: | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |
| DIBUJO: | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |
| REVISO: | JELLE VAN LOON       | 02/09/2013 |

|                                                                                                                                                                       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| FABRICACIÓN                                                                                                                                                           | ACABADO: |
| MATERIAL:                                                                                                                                                             |          |
| LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |          |

Universidad Autónoma Chapingo

TÍTULO:

**Ensamblaje chasis**

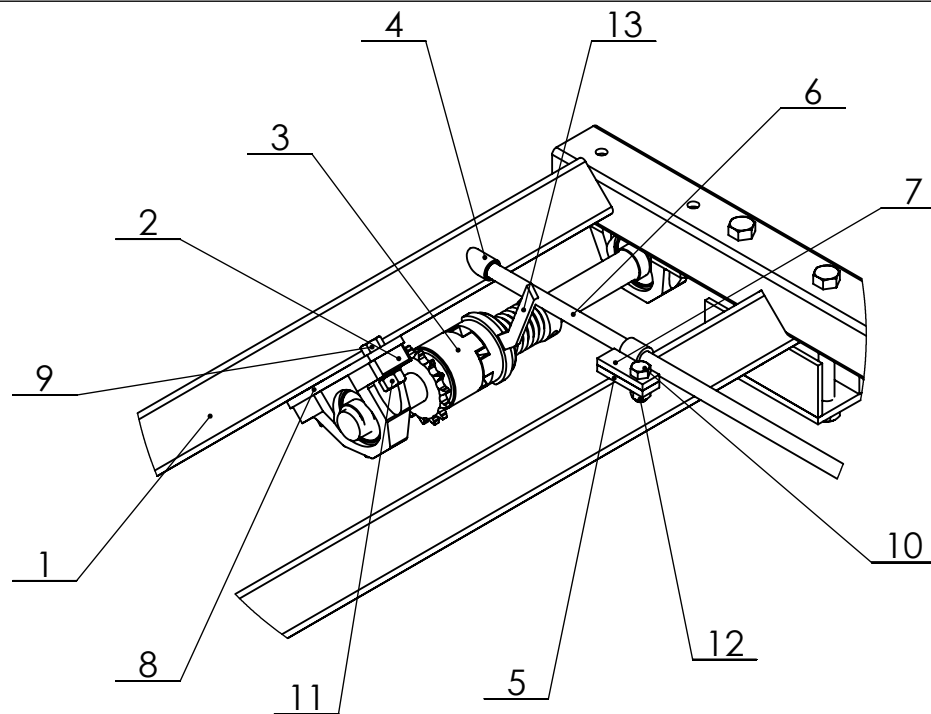
| TAMAÑO   | N.º DE DIBUJO: | REV |
|----------|----------------|-----|
| <b>A</b> | T2R-010200A    | 00  |

ESCALA: 1:20

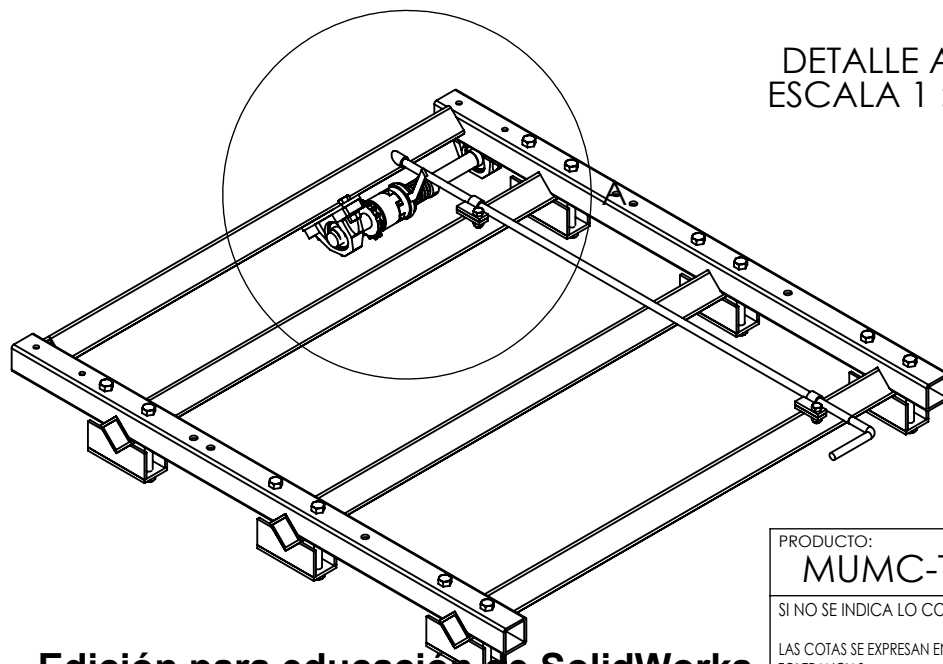
PESO:

HOJA 1 DE 10

**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**



DETALLE A  
ESCALA 1 : 6



**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

|                 |                            |             |
|-----------------|----------------------------|-------------|
| 15              |                            | 12          |
| 14              |                            | 12          |
| 13              | Horquilla                  | 1           |
| 12              | Tuerca 0.375               | 2           |
| 11              | Tuerca 0.437               | 2           |
| 10              | Tornillo cabeza hex. 0.375 | 2           |
| 9               | Tornillo cabeza hex. 0.437 | 2           |
| 8               | Solera para chumacera      | 1           |
| 7               | Solera con buje            | 2           |
| 6               | Varilla de extensión       | 1           |
| 5               | Solera de sujeción 1       | 2           |
| 4               | Buje guía                  | 1           |
| 3               | Ensamble-embrague          | 1           |
| 2               | Chumacera 3/4pulg.         | 2           |
| 1               | Chasis                     | 1           |
| N.º DE ELEMENTO |                            | DESCRIPCIÓN |
|                 |                            | CANTIDAD    |

PRODUCTO:  
**MUMC-T2R**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS  
TOLERANCIAS:  
FRACCIONAL ±  
ANGULAR: MÁQUINA ± PUEGUE ±  
2 LUGARES DECIMALES ±  
3 LUGARES DECIMALES ±

|             |                      |            |
|-------------|----------------------|------------|
| DESIGNO:    | NOMBRE               | FECHA      |
| DIBUJO:     | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |
| VERIFICO:   | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |
| FABRICACIÓN | —                    | —          |
| MATERIAL:   | ACABADO:             |            |

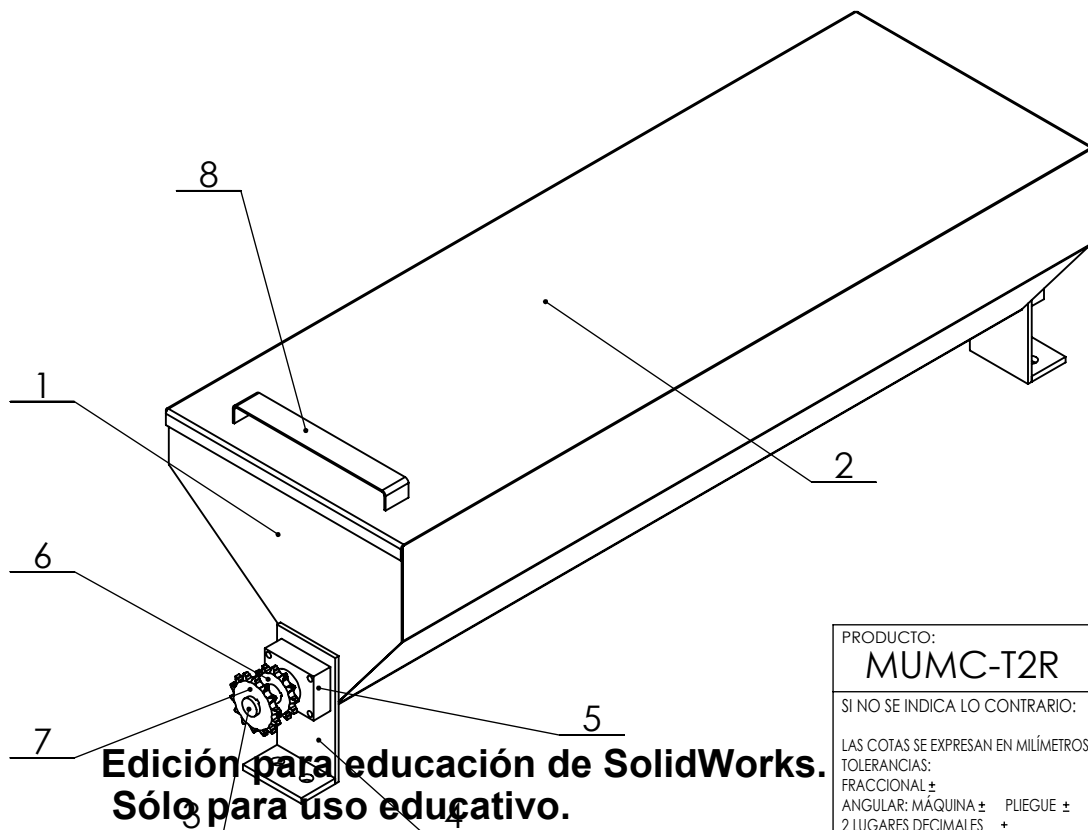
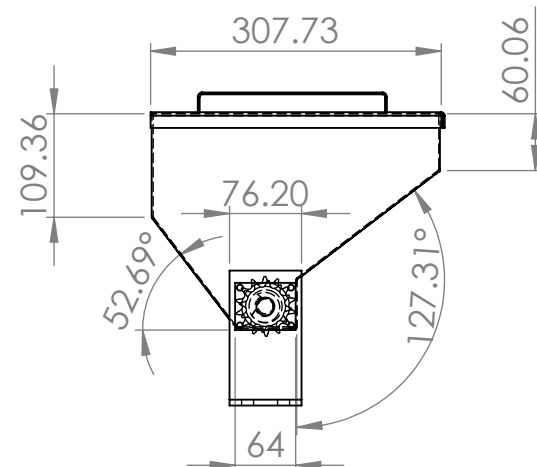
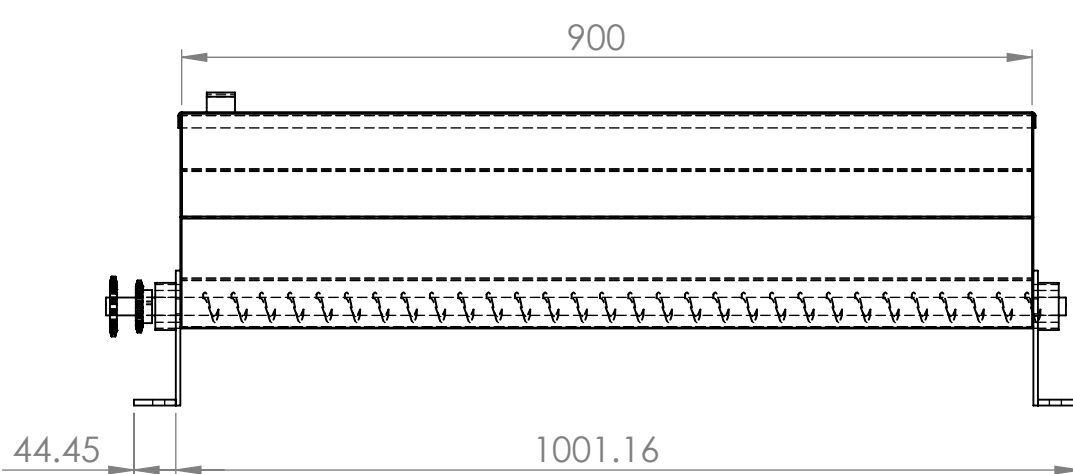
LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT

Universidad Autónoma Chapingo

TÍTULO: **Desacople de transmisión**

|          |                |     |
|----------|----------------|-----|
| TAMAÑO   | N.º DE DIBUJO: | REV |
| <b>A</b> | T2R-010800A    | 00  |

ESCALA: 1:20 PESO: HOJA 1 DE 1



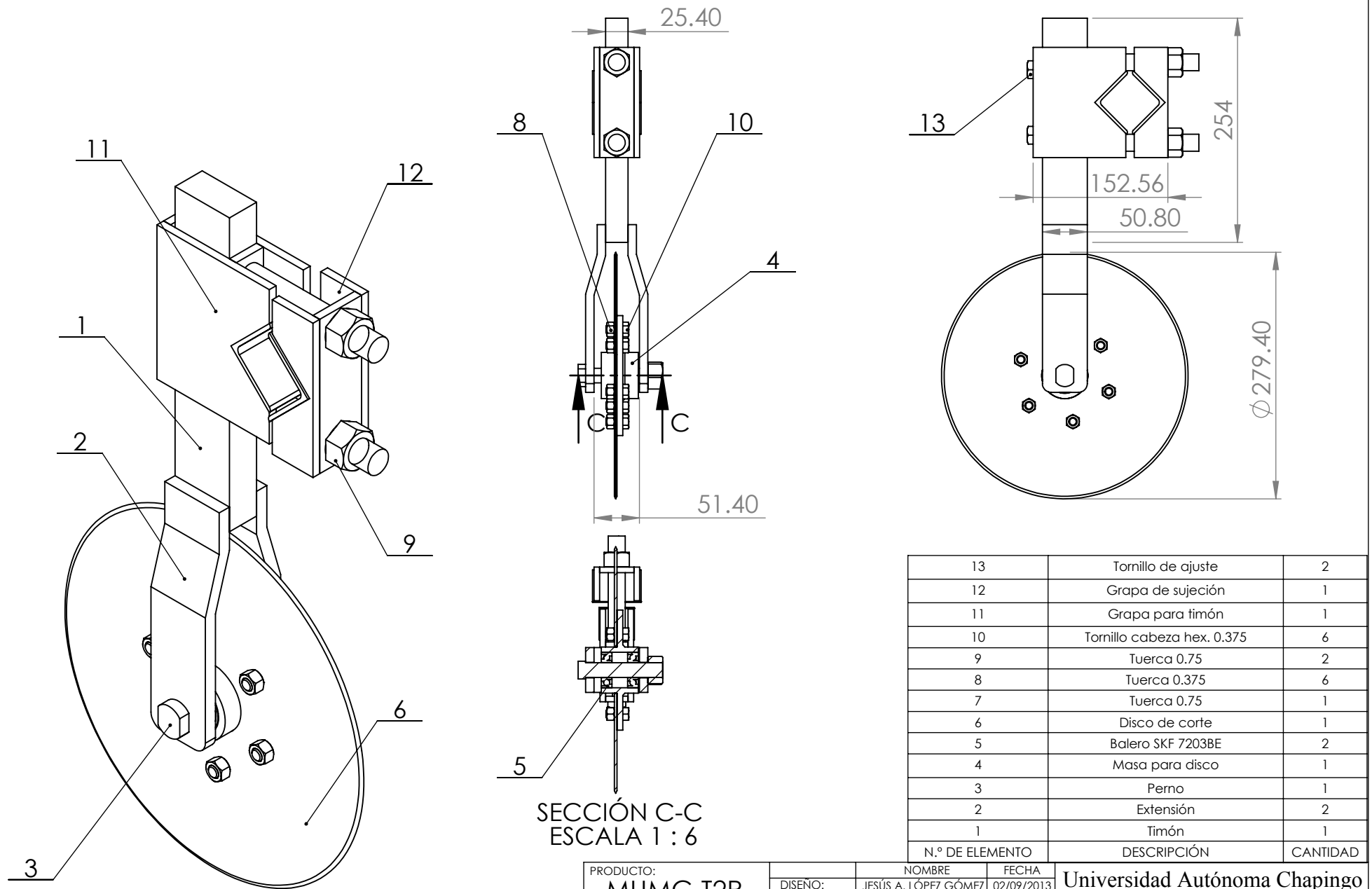
**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

| 8               | Asa                       | 1        |
|-----------------|---------------------------|----------|
| 7               | Catarina 14 dientes p. 40 | 1        |
| 6               | Catarina 12 dientes p. 40 | 1        |
| 5               | Alojamiento para balero   | 2        |
| 4               | Soporte de tolva          | 2        |
| 3               | Eje de sinfín             | 1        |
| 2               | Tapa                      | 1        |
| 1               | Carcasa de tolva          | 1        |
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN               | CANTIDAD |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| PRODUCTO:                     | MUMC-T2R  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: |           |
| TOLERANCIAS:                  |           |
| FRACCIONAL ±                  |           |
| ANGULAR: MÁQUINA ±            | PLIEGUE ± |
| 2 LUGARES DECIMALES ±         |           |
| 3 LUGARES DECIMALES ±         |           |

|                                                                                                                                                                       |                      |          |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|------------|
| DISÑO:                                                                                                                                                                | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | FECHA    | 02/09/2013 |
| DIBUJO:                                                                                                                                                               | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | FECHA    | 02/09/2013 |
| REVISIÓN:                                                                                                                                                             | JELLE VAN LOON       | FECHA    | 02/09/2013 |
| FABRICACIÓN                                                                                                                                                           | --                   |          | --         |
| MATERIAL:                                                                                                                                                             |                      | ACABADO: | --         |
| LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |                      |          |            |

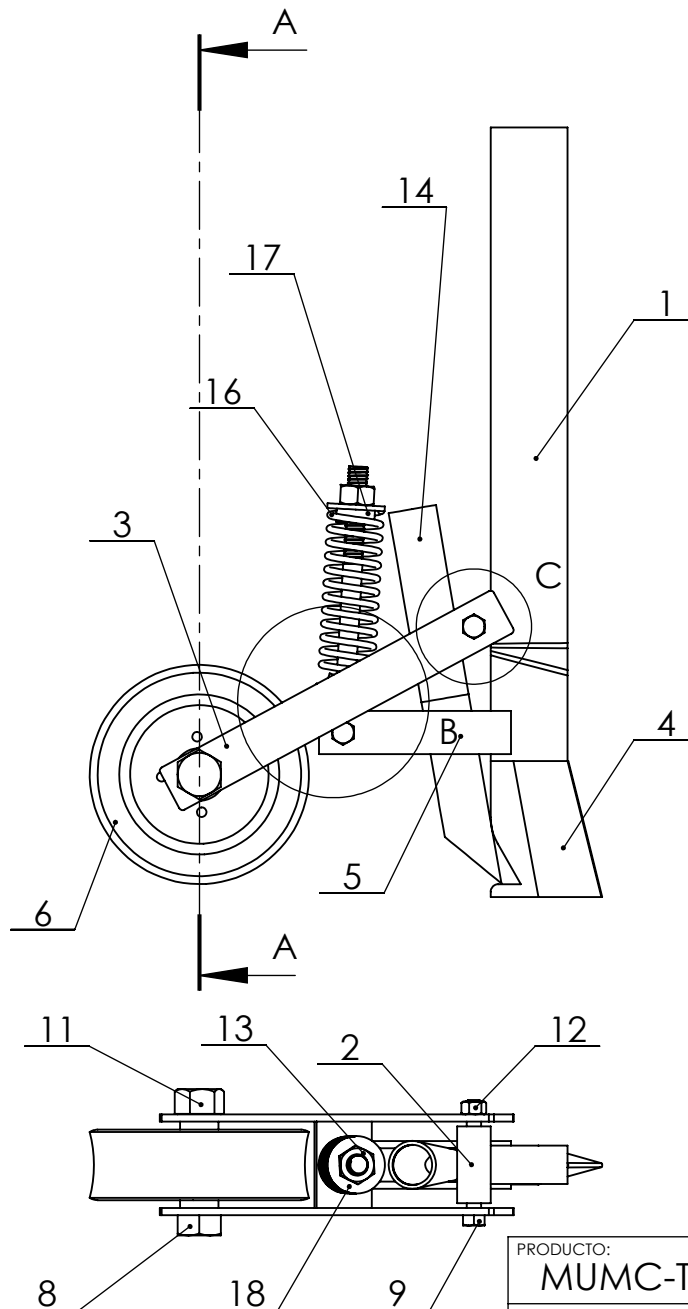
|                               |                |              |
|-------------------------------|----------------|--------------|
| Universidad Autónoma Chapingo |                |              |
| TÍTULO:                       |                |              |
| Tolva para fertilizante       |                |              |
| TAMAÑO                        | N.º DE DIBUJO: | REV          |
| <b>A</b>                      | T2R-010300A    | 00           |
| ESCALA: 1:20                  | PESO:          | HOJA 1 DE 19 |



SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 : 6

**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

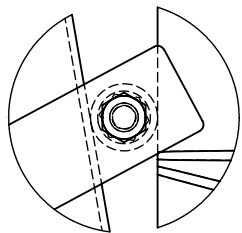
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|-------------------------------------|--|-------------|--|----------------------|--|-------------------------------|--|--------------------------------------|--|-----------|--|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>        |  | NOMBRE      |  | FECHA                |  | Universidad Autónoma Chapingo |  |                                      |  |           |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:       |  | DISEÑO:     |  | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ |  | 02/09/2013                    |  | TÍTULO:<br><br><b>Disco cortador</b> |  |           |  |
|                                     |  | DIBUJO:     |  | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ |  | 02/09/2013                    |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  | REVISIÓN    |  | JELLE VAN LOON       |  | 02/09/2013                    |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  | FABRICACIÓN |  | —                    |  | —                             |  |                                      |  |           |  |
| LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS |  | MATERIAL:   |  | ACABADO:             |  | TAMAÑO                        |  | N.º DE DIBUJO:                       |  | REV       |  |
| TOLERANCIAS:                        |  |             |  |                      |  | <b>A</b>                      |  | <b>T2R-010500A</b>                   |  | <b>00</b> |  |
| FRACCIONAL ±                        |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
| ANGULAR: MÁQUINA ± PUEGUE ±         |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
| 2 LUGARES DECIMALES ±               |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
| 3 LUGARES DECIMALES ±               |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |
|                                     |  |             |  |                      |  |                               |  |                                      |  |           |  |



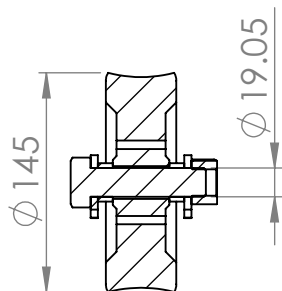
|                 |                            |          |
|-----------------|----------------------------|----------|
| 18              | Arandela                   | 1        |
| 17              | Buje guía                  | 1        |
| 16              | Resorte                    | 1        |
| 15              | Guía de resorte            | 1        |
| 14              | Tubo de conducción         | 1        |
| 13              | Tuerca 0.562               | 1        |
| 12              | Tuerca 0.375               | 2        |
| 11              | Tuerca 0.75                | 1        |
| 10              | Tornillo cabeza hex. 0.375 | 1        |
| 9               | Tornillo cabeza hex. 0.375 | 1        |
| 8               | Tornillo cabeza hex. 0.75  | 1        |
| 7               | Buje para llanta           | 2        |
| 6               | Llanta de hule             | 1        |
| 5               | Soporte de guía            | 2        |
| 4               | Cuchilla                   | 1        |
| 3               | Puente para llanta         | 1        |
| 2               | Buje p/ pivote             | 1        |
| 1               | Timón                      | 1        |
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN                | CANTIDAD |

**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

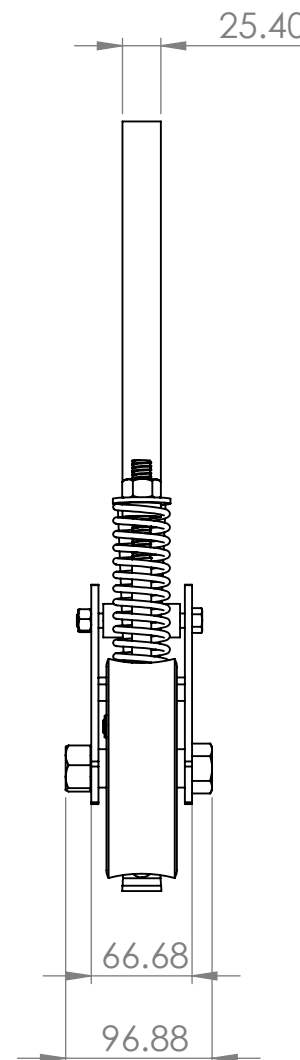
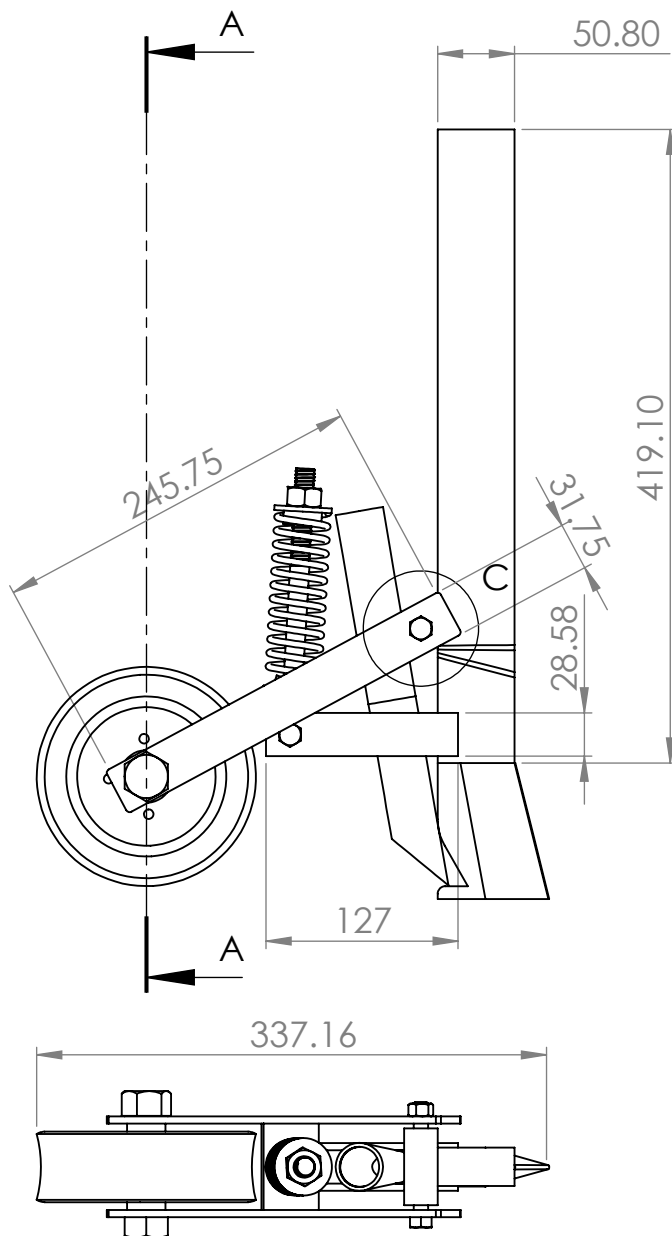
|                                     |  |                                                                                                                                                                       |  |                      |  |                                 |  |              |            |                |  |             |  |
|-------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------|--|---------------------------------|--|--------------|------------|----------------|--|-------------|--|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>        |  | NOMBRE                                                                                                                                                                |  | FECHA                |  | Universidad Autónoma Chapingo   |  |              |            |                |  |             |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:       |  | DISEÑO:                                                                                                                                                               |  | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ |  |                                 |  |              | 02/09/2013 |                |  |             |  |
|                                     |  | DIBUJO:                                                                                                                                                               |  | JESUS A. LÓPEZ GÓMEZ |  |                                 |  |              | 02/09/2013 |                |  |             |  |
|                                     |  | VERIFICO:                                                                                                                                                             |  | JELLE VAN LOON       |  | 02/09/2013                      |  |              |            |                |  |             |  |
| LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS |  | FABRICACIÓN                                                                                                                                                           |  | --                   |  | TÍTULO:<br><br><b>ABRESURCO</b> |  |              |            |                |  |             |  |
|                                     |  | MATERIAL:                                                                                                                                                             |  | ACABADO:             |  |                                 |  |              |            |                |  |             |  |
| TOLERANCIAS:                        |  | LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |  |                      |  |                                 |  | TAMANO       |            | N.º DE DIBUJO: |  | REV         |  |
| FRACCIONAL ±                        |  |                                                                                                                                                                       |  |                      |  |                                 |  | A            |            | T2R-010600A    |  | 00          |  |
| ANGULAR: MÁQUINA ±      PLIEGUE ±   |  |                                                                                                                                                                       |  |                      |  |                                 |  |              |            |                |  |             |  |
| 2 LUGARES DECIMALES ±               |  |                                                                                                                                                                       |  |                      |  |                                 |  |              |            |                |  |             |  |
| 3 LUGARES DECIMALES ±               |  |                                                                                                                                                                       |  |                      |  |                                 |  | ESCALA: 1:10 |            | PESO:          |  | HOJA 1 DE 1 |  |



DETALLE C  
ESCALA 2 : 5

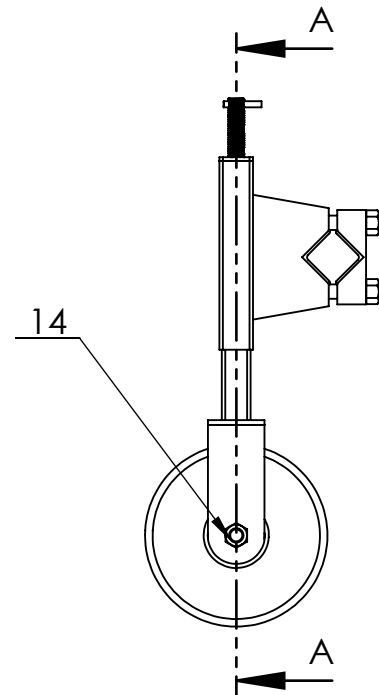
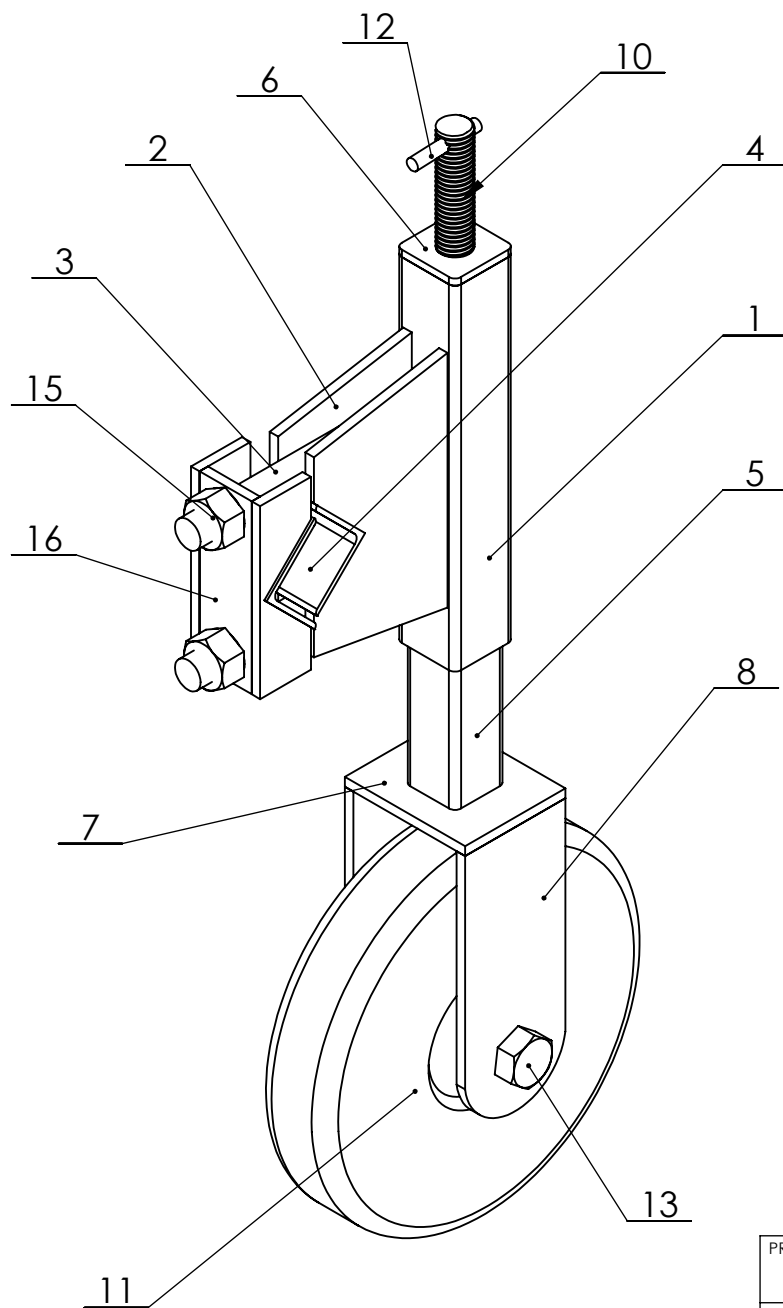


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5

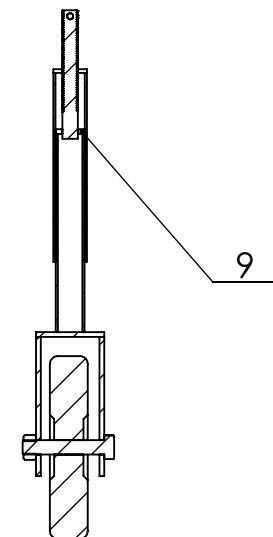


**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

|                                     |  |                                                                                                                                                                       |            |                                      |                   |
|-------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------|-------------------|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>        |  | NOMBRE                                                                                                                                                                | FECHA      | Universidad Autónoma Chapingo        |                   |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:       |  | DISEÑO: JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ                                                                                                                                          | 02/09/2013 |                                      |                   |
| LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS |  | DIBUJO: JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ                                                                                                                                          | 02/09/2013 | TÍTULO:<br><b>ABRESURCO</b>          |                   |
| TOLERANCIAS:<br>FRACCIONAL ±        |  | VERIFICO: M.I. PEDRO CRUZ MEZA                                                                                                                                        | 02/09/2013 |                                      |                   |
| ANGULAR: MÁQUINA ±                  |  | FABRICACIÓN                                                                                                                                                           | —          | TAMANO<br><b>A</b>                   |                   |
| 2 LUGARES DECIMALES ±               |  | MATERIAL:                                                                                                                                                             | ACABADO:   |                                      |                   |
| 3 LUGARES DECIMALES ±               |  | LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |            | N.º DE DIBUJO:<br><b>T2R-010600A</b> |                   |
|                                     |  |                                                                                                                                                                       |            | REV<br><b>00</b>                     |                   |
|                                     |  |                                                                                                                                                                       |            | ESCALA: 1:10                         | PESO: HOJA 1 DE 1 |



SECCIÓN A-A



| 16              | Grapa de sujeción         | 1        |
|-----------------|---------------------------|----------|
| 15              | Tuerca hex. 0.75          | 2        |
| 14              | Tuerca hex. 0.75          | 1        |
| 13              | Tornillo cabeza hex. 0.75 | 1        |
| 12              | Palanca de giro           | 1        |
| 11              | LLanta de hule            | 1        |
| 10              | Esparrago                 | 1        |
| 9               | Tapa interna              | 1        |
| 8               | Extensión de horquilla    | 2        |
| 7               | Base de horquilla         | 1        |
| 6               | Tapa externa              | 1        |
| 5               | PTR interno               | 1        |
| 4               | Ángulo refuerzo           | 1        |
| 3               | Perno de unión            | 2        |
| 2               | Solera para grapa         | 2        |
| 1               | PTR externo               | 1        |
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN               | CANTIDAD |

|                                                                                                                                                                       |                      |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| PRODUCTO:                                                                                                                                                             | NOMBRE               | FECHA                |
| MUMC-T2R                                                                                                                                                              | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013           |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:                                                                                                                                         | DIBUJO:              | JESUS A. LÓPEZ GÓMEZ |
|                                                                                                                                                                       | REVISIÓN:            | JELLE VAN LOON       |
|                                                                                                                                                                       | FABRICACIÓN          | --                   |
|                                                                                                                                                                       | MATERIAL:            | ACABADO:             |
|                                                                                                                                                                       |                      |                      |
| LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |                      |                      |

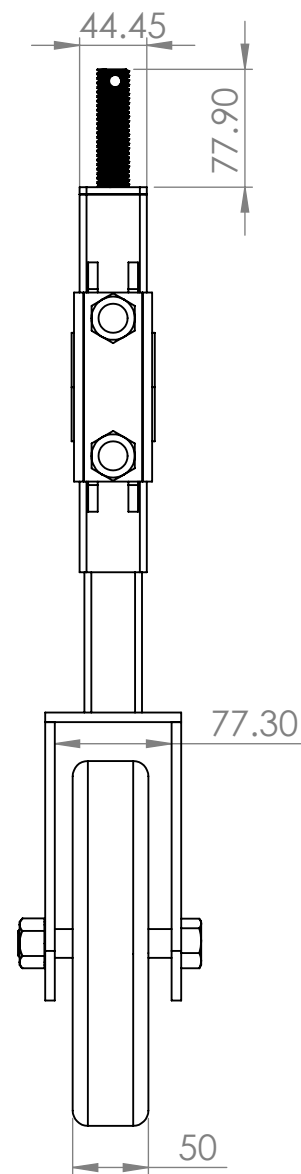
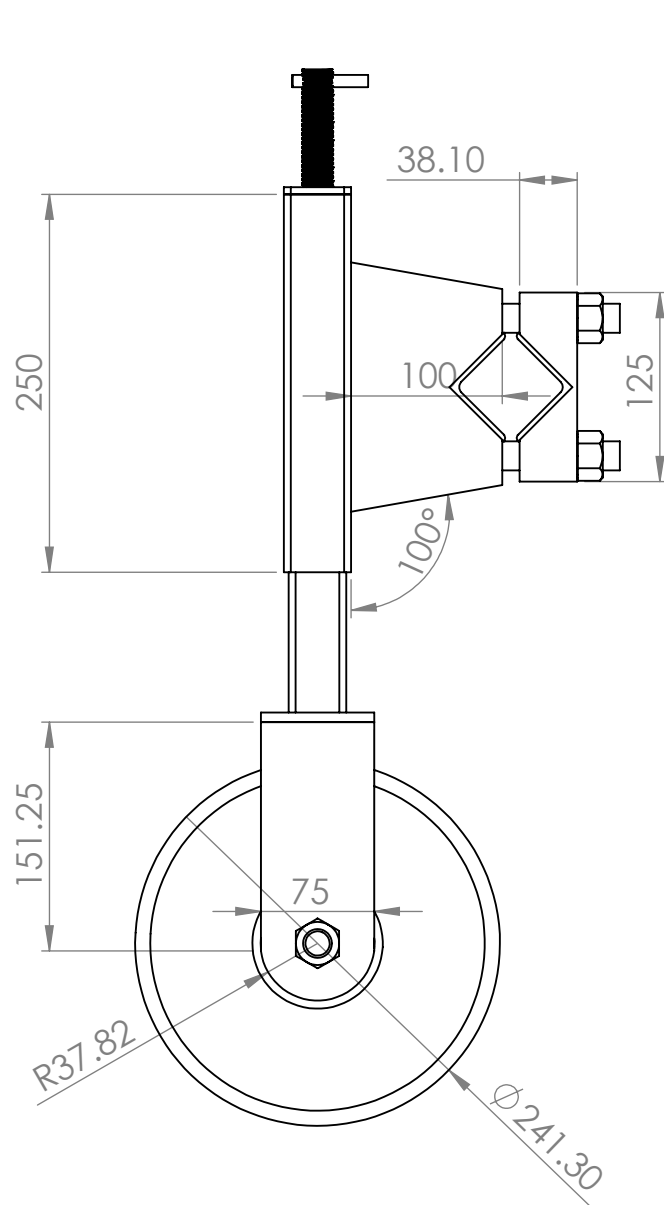
Universidad Autónoma Chapingo

TÍTULO: Control de profundidad

TAMAÑO: A N.º DE DIBUJO: T2R-010700A REV: 00

ESCALA: 1:10 PESO: HOJA 1 DE 1

Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.

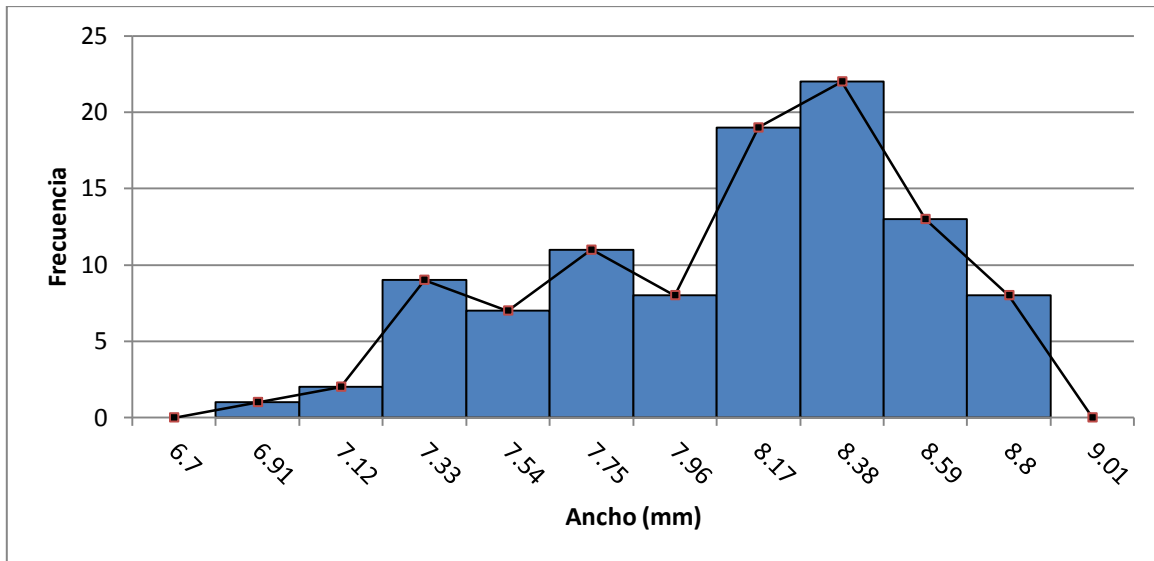


**Edición para educación de SolidWorks.  
Sólo para uso educativo.**

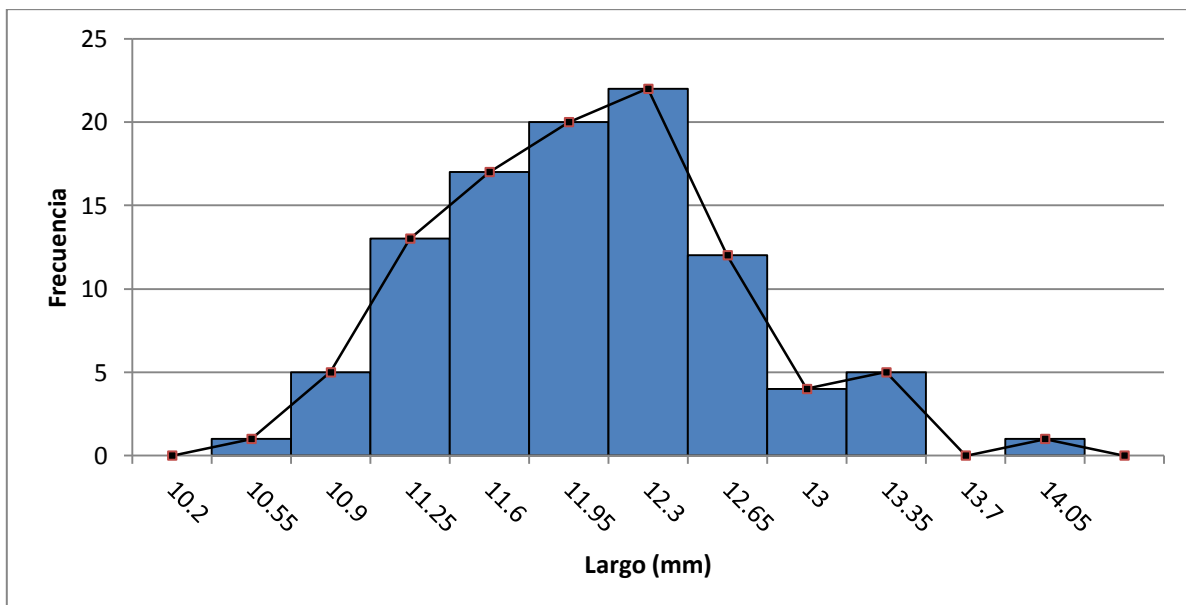
|                                                                                                                                                               |  |                                                                                                                                                                       |                      |            |    |                                          |                                                                                |       |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|----|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|
| PRODUCTO:<br><b>MUMC-T2R</b>                                                                                                                                  |  | NOMBRE                                                                                                                                                                |                      | FECHA      |    | Universidad Autónoma Chapingo            |                                                                                |       |             |
|                                                                                                                                                               |  | DISEÑO:                                                                                                                                                               | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |    |                                          |                                                                                |       |             |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:                                                                                                                                 |  | DIBUJO:                                                                                                                                                               | JESÚS A. LÓPEZ GÓMEZ | 02/09/2013 |    | TÍTULO:<br><b>Control de profundidad</b> |                                                                                |       |             |
|                                                                                                                                                               |  | REVISIÓN:                                                                                                                                                             | JELLE VAN LOON       | 02/09/2013 |    |                                          |                                                                                |       |             |
| LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS<br>TOLERANCIAS:<br>FRACCIONAL ±<br>ANGULAR: MÁQUINA ±    PUEGUE ±<br>2 LUGARES DECIMALES    ±<br>3 LUGARES DECIMALES    ± |  | FABRICACIÓN                                                                                                                                                           | --                   |            | -- |                                          | TAMAÑO<br><b>A</b><br>N.º DE DIBUJO:<br><b>T2R-010700A</b><br>REV<br><b>00</b> |       |             |
|                                                                                                                                                               |  | MATERIAL:                                                                                                                                                             |                      | ACABADO:   |    |                                          |                                                                                |       |             |
|                                                                                                                                                               |  | LA INFORMACIÓN EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE AL CIMMYT. QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL CIMMYT |                      |            |    |                                          |                                                                                |       |             |
|                                                                                                                                                               |  |                                                                                                                                                                       |                      |            |    | ESCALA: 1:10                             |                                                                                | PESO: | HOJA 1 DE 1 |

## **ANEXO B. Resultados de las diferentes pruebas al prototipo**

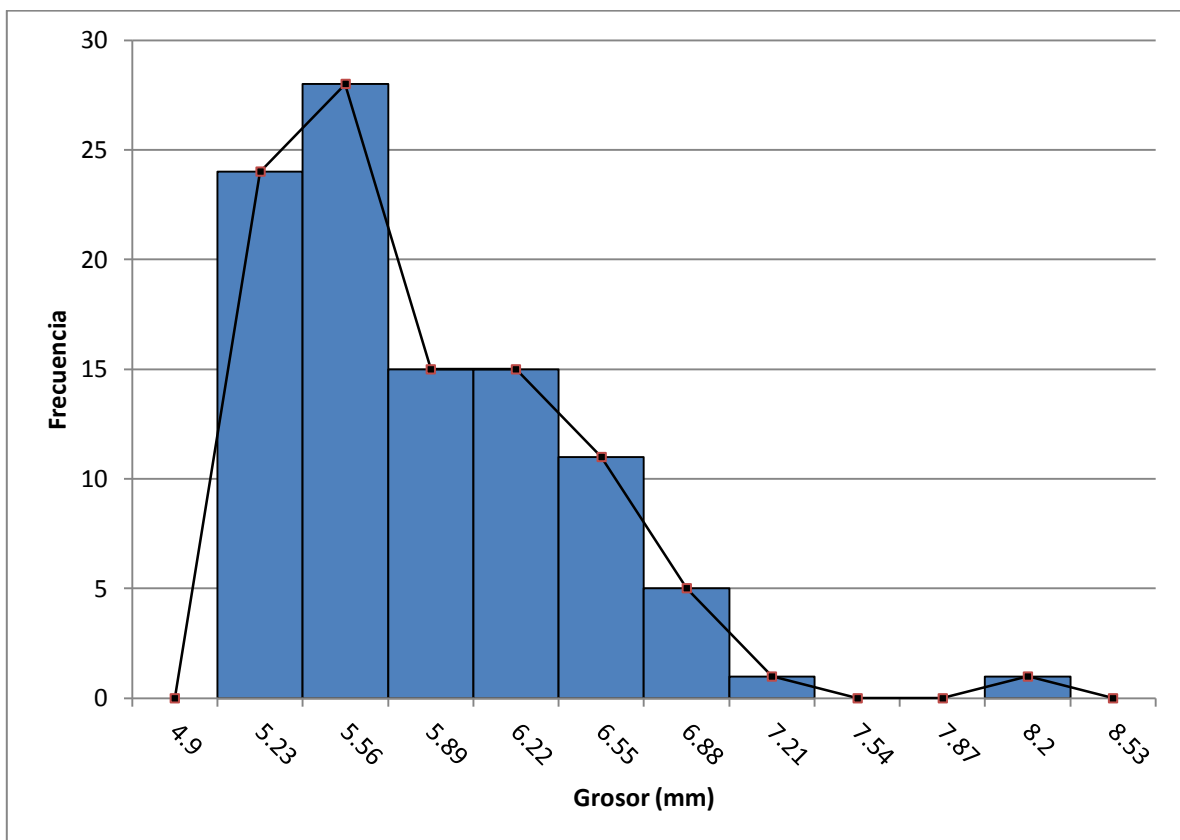
1. Histogramas, polígonos de frecuencia y estadígrafos de las características dimensionales de la semilla de maíz.



|                          |       |                          |       |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Promedio                 | 7.98  | Coeficiente de asimetría | -0.50 |
| Desviación estándar      | 0.45  | Mínimo                   | 6.7   |
| Coeficiente de variación | 5.61  | Máximo                   | 8.8   |
| Curtosis                 | -0.36 | n                        | 100   |

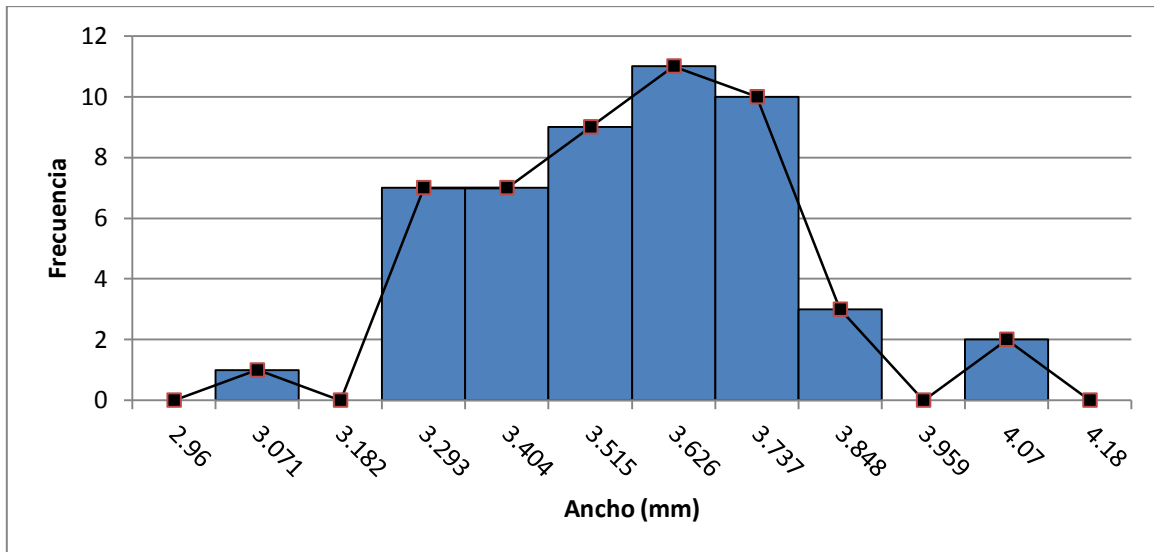


|                          |        |                          |      |
|--------------------------|--------|--------------------------|------|
| Promedio                 | 11.8   | Coeficiente de asimetría | 0.24 |
| Desviación estándar      | 0.66   | Mínimo                   | 10.2 |
| Coeficiente de variación | 5.58   | Máximo                   | 13.7 |
| Curtosis                 | -0.006 | n                        | 100  |

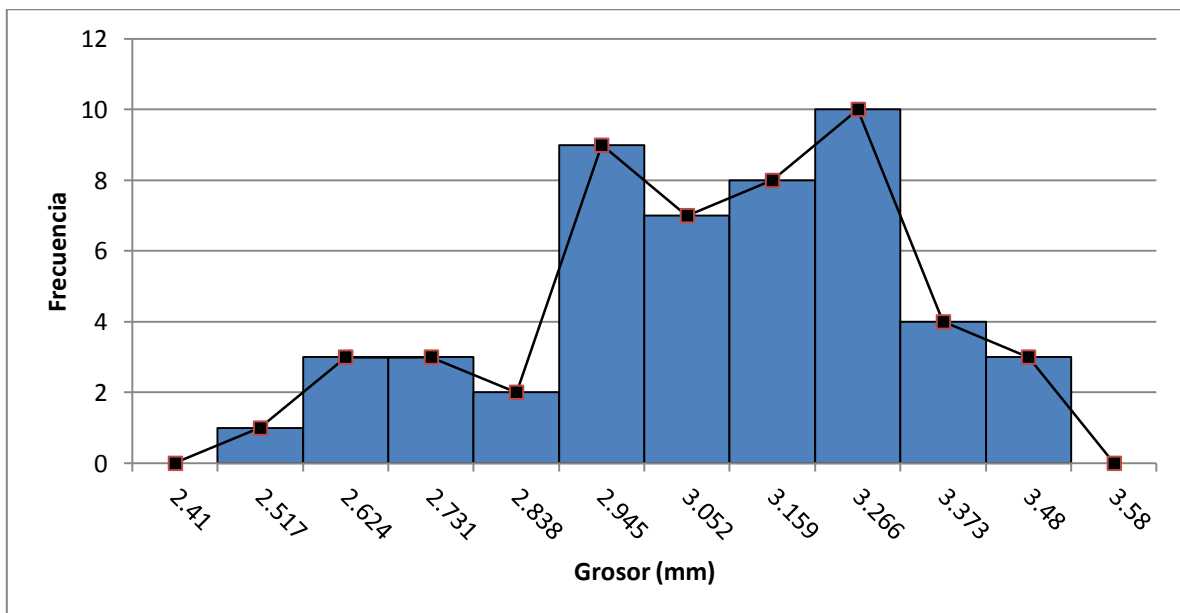


|                          |      |                          |      |
|--------------------------|------|--------------------------|------|
| Promedio                 | 5.7  | Coeficiente de asimetría | 1.33 |
| Desviación estándar      | 0.55 | Mínimo                   | 4.9  |
| Coeficiente de variación | 9.69 | Máximo                   | 8.2  |
| Curtosis                 | 2.94 | n                        | 100  |

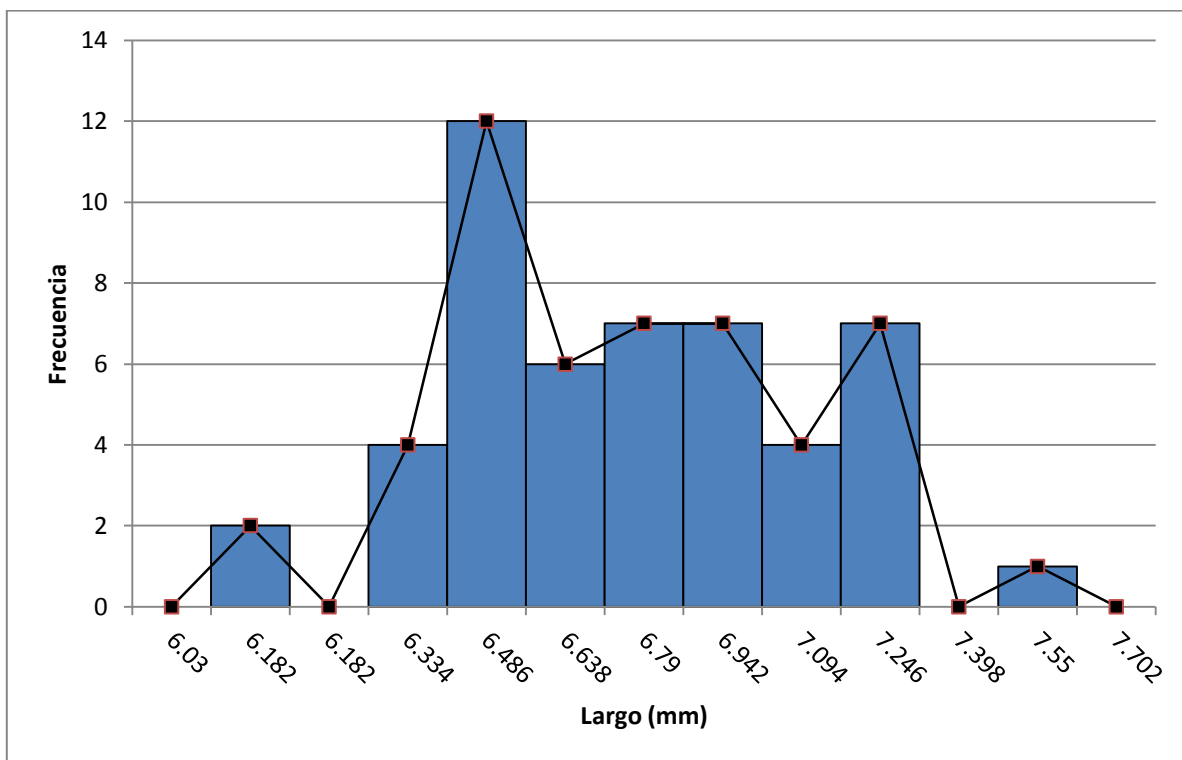
2. Histogramas, polígonos de frecuencia y estadígrafos de las características dimensionales de la semilla de trigo.



|                           |       |                           |       |
|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| Promedio                  | 3.51  | Coefficiente de asimetría | 0.022 |
| Desviación estándar       | 0.2   | Mínimo                    | 2.96  |
| Coefficiente de variación | 5.87  | Máximo                    | 4.07  |
| Curtosis                  | 0.601 | n                         | 50    |



|                          |       |                          |       |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Promedio                 | 3.02  | Coeficiente de asimetría | -0.38 |
| Desviación estándar      | 0.24  | Mínimo                   | 2.41  |
| Coeficiente de variación | 7.93  | Máximo                   | 3.48  |
| Curtosis                 | -0.12 | n                        | 50    |



|                          |       |                          |      |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| Promedio                 | 6.69  | Coeficiente de asimetría | 0.31 |
| Desviación estándar      | 0.32  | Mínimo                   | 6.03 |
| Coeficiente de variación | 4.89  | Máximo                   | 7.55 |
| Curtosis                 | -0.36 | n                        | 50   |

### 3. Dosificación en banco de pruebas

| Ángulo de inclinación | 30 RPM     |     |     |         |                       |
|-----------------------|------------|-----|-----|---------|-----------------------|
|                       | Repetición | St  | Sb  | % error | Eficiencia de siembra |
| 50                    | 1          | 319 | 216 | 32.28   | 67.71                 |
|                       | 2          | 319 | 197 | 38.24   | 61.75                 |
|                       | 3          | 319 | 243 | 23.82   | 76.17                 |
|                       | 4          | 319 | 189 | 40.75   | 59.24                 |
|                       | 5          | 319 | 254 | 20.37   | 79.62                 |
| 40                    | 1          | 319 | 273 | 14.42   | 85.57                 |
|                       | 2          | 319 | 236 | 26.01   | 73.98                 |
|                       | 3          | 319 | 226 | 29.15   | 70.84                 |
|                       | 4          | 319 | 264 | 17.24   | 82.75                 |
|                       | 5          | 319 | 278 | 12.85   | 87.14                 |
| 45                    | 1          | 319 | 285 | 10.65   | 89.34                 |
|                       | 2          | 319 | 273 | 14.42   | 85.57                 |
|                       | 3          | 319 | 275 | 13.79   | 86.20                 |
|                       | 4          | 319 | 308 | 3.44    | 96.55                 |
|                       | 5          | 319 | 273 | 14.42   | 85.57                 |

St-Dosificación teórica; Sb-Dosificación real.

4. Dosificación de semilla de maíz con la máquina suspendida con velocidad angular de 11.8 rpm en el plato de 24 orificios.

| Repetición                                         | Salida 1 | Salida 2 |
|----------------------------------------------------|----------|----------|
| 1                                                  | 142      | 177      |
| 2                                                  | 152      | 177      |
| 3                                                  | 153      | 172      |
| 4                                                  | 146      | 190      |
| 5                                                  | 145      | 184      |
| 6                                                  | 145      | 144      |
| 7                                                  | 140      | 160      |
| 8                                                  | 150      | 160      |
| 9                                                  | 150      | 167      |
| 10                                                 | 170      | 137      |
| Promedio                                           | 149.3    | 166.8    |
| Dosificación de semilla por metro<br>(semilla/min) | 6.2      | 6.9      |
| Dosis de siembra, semillas/ha                      | 82 622   | 91 770   |

5. Dosificación de semilla de trigo con la máquina suspendida con velocidad angular de 11.8 rpm en el plato de 40 orificios.

| Repetición                                      | Salida 1 | Salida 2 |
|-------------------------------------------------|----------|----------|
| 1                                               | 75.9     | 48.1     |
| 2                                               | 82.7     | 51.7     |
| 3                                               | 77.7     | 48.1     |
| 4                                               | 80.4     | 48.6     |
| 5                                               | 82.5     | 51.1     |
| 6                                               | 83.8     | 49.8     |
| 7                                               | 85.5     | 48.4     |
| 8                                               | 81.6     | 48.3     |
| 9                                               | 80.7     | 48.5     |
| 10                                              | 85.9     | 52.7     |
| Promedio                                        | 81.67    | 49.53    |
| Dosificación de semilla por metro (semilla/min) | 3.4      | 2.05     |
| Dosis de siembra, kg/ha                         | 90.21    | 54.71    |

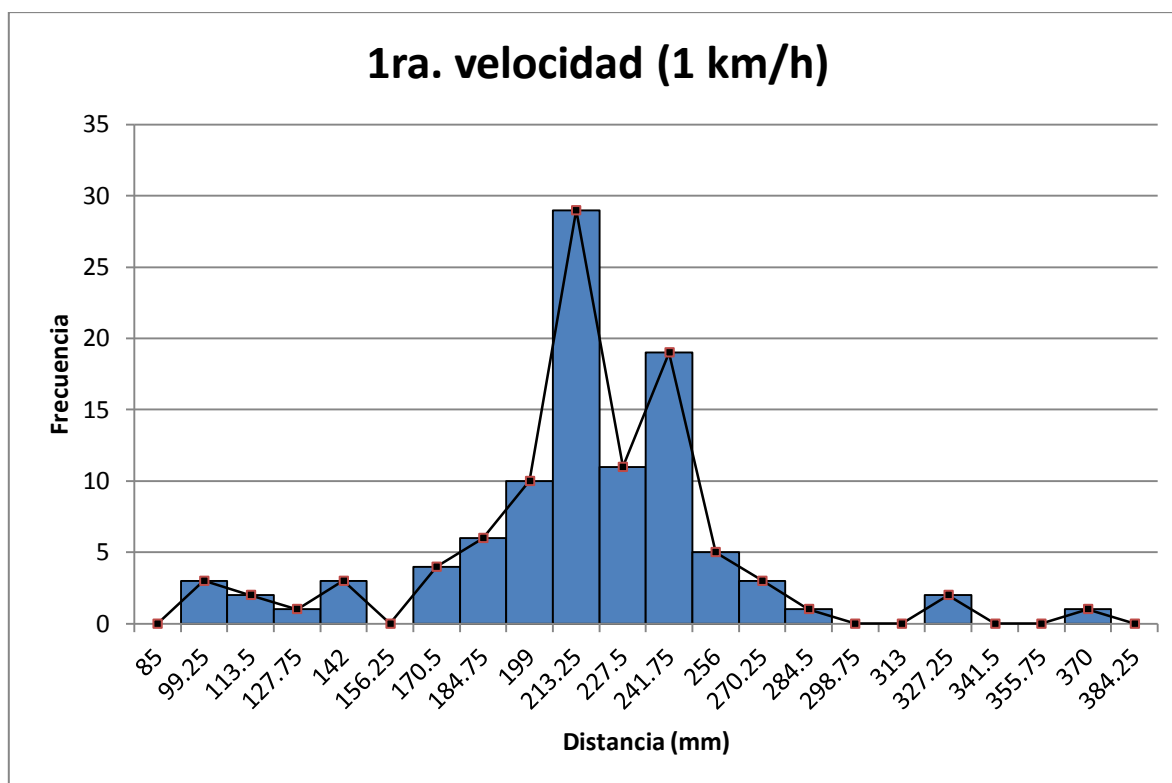
6. Porcentaje de semilla con daño mecánico.

| Salida 1    |               |                        |            | Salida 2      |                        |            |
|-------------|---------------|------------------------|------------|---------------|------------------------|------------|
| N.          | Masa total, g | Masa semilla dañada, g | Porcentaje | Masa total, g | Masa semilla dañada, g | Porcentaje |
| 1           | 50.26         | 0                      | 0          | 57.1          | 0.69                   | 1.21       |
| 2           | 52.16         | 0                      | 0          | 49.68         | 0.11                   | 0.22       |
| 3           | 50.63         | 0.38                   | 0.75       | 60.06         | 0.18                   | 0.30       |
| 4           | 54.42         | 0.73                   | 1.34       | 52.01         | 0                      | 0.00       |
| 5           | 60.41         | 1.08                   | 1.79       | 57.63         | 0.23                   | 0.40       |
| 6           | 53.75         | 0                      | 0.00       | 64.97         | 0.89                   | 1.37       |
| 7           | 51.33         | 0.23                   | 0.45       | 67.57         | 0.36                   | 0.53       |
| 8           | 54.86         | 0                      | 0.00       | 64.04         | 0.18                   | 0.28       |
| 9           | 53.45         | 0                      | 0.00       | 60.37         | 0.58                   | 0.96       |
| 10          | 51.09         | 0.25                   | 0.49       | 63.02         | 0.23                   | 0.36       |
| Promedio, % |               |                        | 0.48       | Promedio, %   |                        | 0.56       |

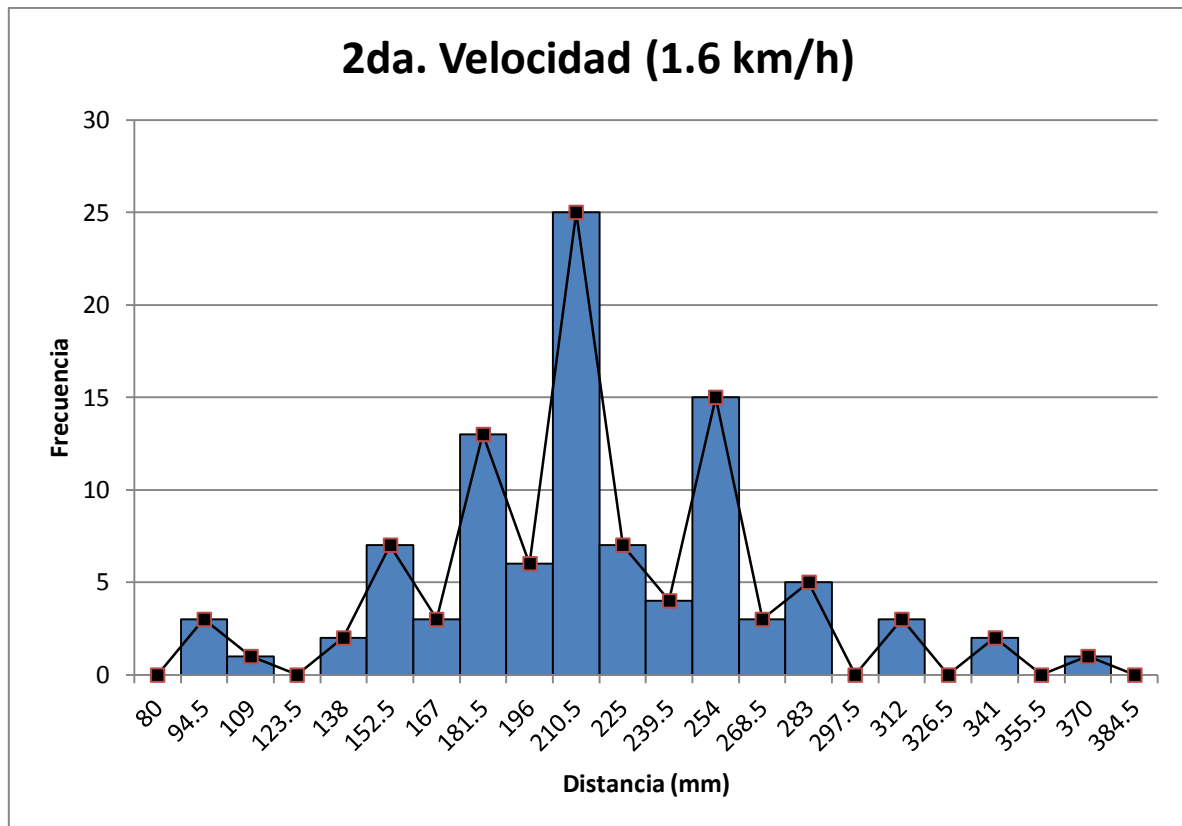
7. Dosificación de fertilizante con la máquina suspendida.

| Repetición                                      | Salida 1 | Salida 2 |
|-------------------------------------------------|----------|----------|
| 1                                               | 139.88   | 105.67   |
| 2                                               | 141.83   | 109.34   |
| 3                                               | 147.05   | 102.52   |
| 4                                               | 144.93   | 105.54   |
| 5                                               | 142.83   | 108.36   |
| 6                                               | 147.53   | 102.60   |
| 7                                               | 144.42   | 108.73   |
| 8                                               | 149.93   | 105.87   |
| 9                                               | 150.02   | 104.02   |
| 10                                              | 144.42   | 106.53   |
| Promedio (g/min)                                | 145.28   | 105.91   |
| Dosificación de fertilizante<br>por metro (g/m) | 11.94    | 8.75     |
| Dosis de siembra kg/ha                          | 158.87   | 116.49   |

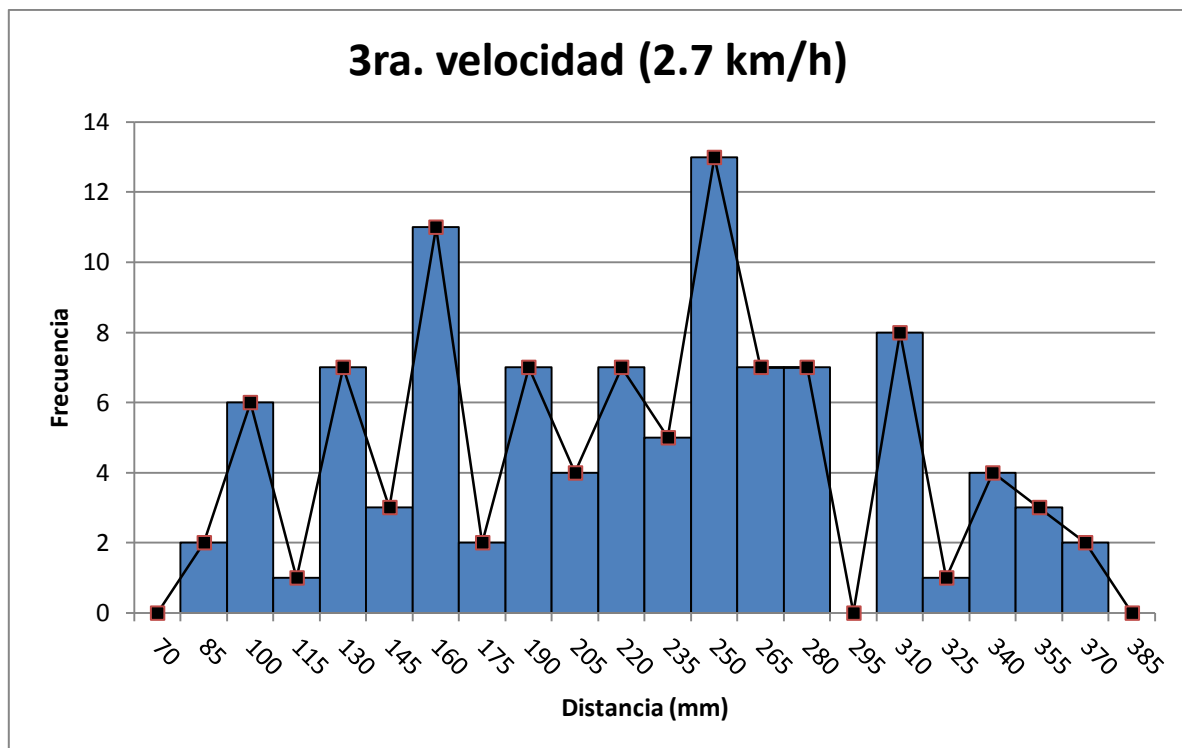
8. Mediciones realizadas en la prueba de dosificación y distribución espacial de las semillas de maíz.



|                          |        |                          |        |
|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Promedio                 | 207.15 | Coeficiente de asimetría | -0.085 |
| Desviación estándar      | 44.68  | Mínimo                   | 85     |
| Coeficiente de variación | 21.57  | Máximo                   | 370    |
| Curtosis                 | 2.51   | n                        | 100    |



|                          |       |                          |      |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| Promedio                 | 208.6 | Coeficiente de asimetría | 0.28 |
| Desviación estándar      | 51.64 | Mínimo                   | 80   |
| Coeficiente de variación | 24.75 | Máximo                   | 370  |
| Curtosis                 | 1.05  | n                        | 100  |

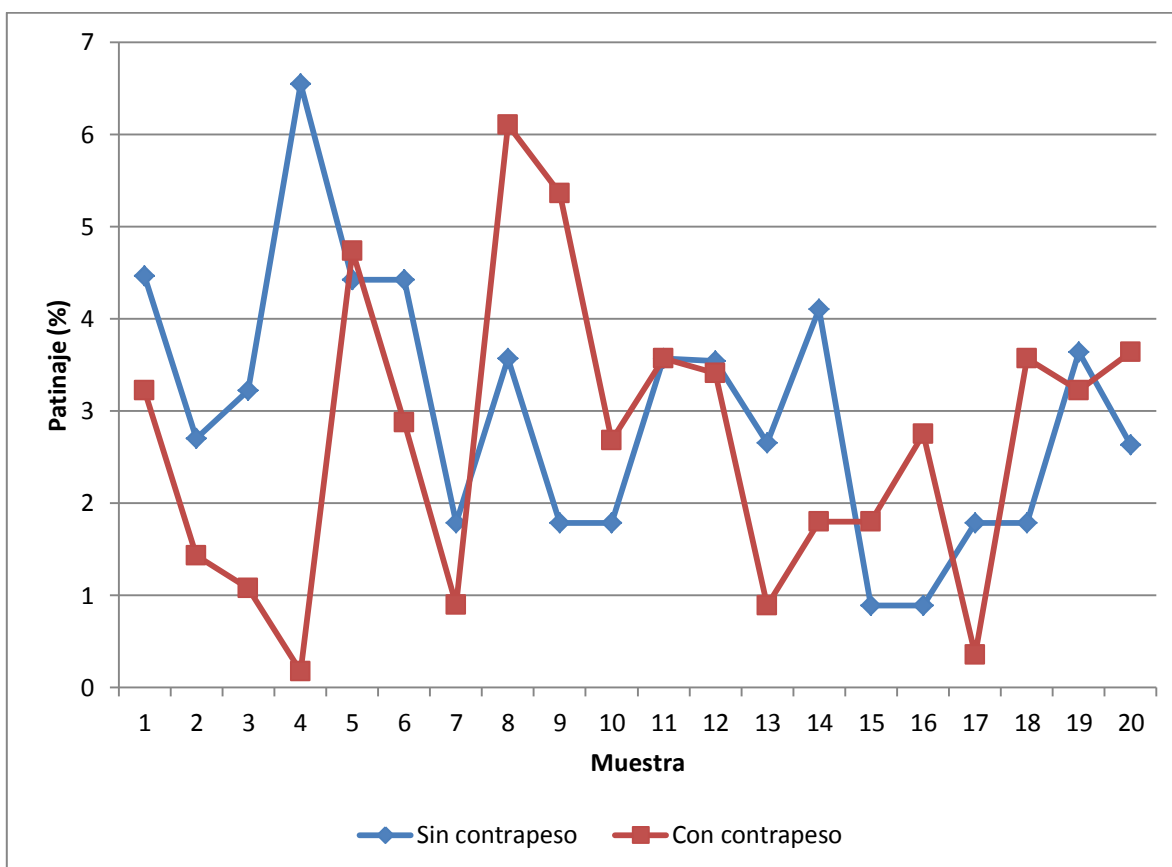


|                          |       |                          |       |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Promedio                 | 217.7 | Coeficiente de asimetría | 0.001 |
| Desviación estándar      | 73.97 | Mínimo                   | 70    |
| Coeficiente de variación | 33.98 | Máximo                   | 370   |
| Curtosis                 | -0.79 | n                        | 100   |

9. Humedad y densidad del suelo de la parcela de siembra

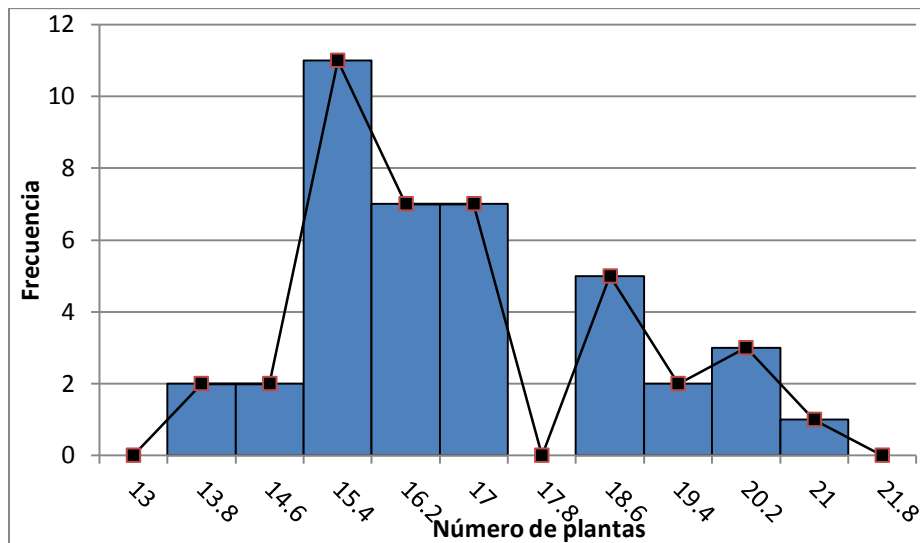
| Muestra                  | Profundidad, cm | Humedad, % | Densidad, g/cm <sup>3</sup> |
|--------------------------|-----------------|------------|-----------------------------|
| 1                        | 0-15            | 17.44      | 1.388                       |
|                          | 15-30           | 18.78      | 1.368                       |
| 2                        | 0-15            | 18.81      | 1.160                       |
|                          | 15-30           | 18.38      | 1.636                       |
| 3                        | 0-15            | 19.46      | 1.475                       |
|                          | 15-30           | 20.71      | 1.368                       |
| 4                        | 0-15            | 20.8       | 1.343                       |
|                          | 15-30           | 20.5       | 1.490                       |
| 5                        | 0-15            | 22.57      | 0.709                       |
|                          | 15-30           | 21.02      | 1.616                       |
| Promedio                 | 0-15            | 19.82      | 0.2                         |
|                          | 15-30           | 19.88      | 0.2                         |
| Valor mínimo             | 0-15            | 17.44      | 0.18                        |
|                          | 15-30           | 18.38      | 0.19                        |
| Valor máximo             | 0-15            | 22.57      | 0.23                        |
|                          | 15-30           | 21.02      | 0.21                        |
| Desviación estándar      | 0-15            | 1.96       | 0.02                        |
|                          | 15-30           | 1.21       | 0.01                        |
| Coeficiente de variación | 0-15            | 9.88       | 9.88                        |
|                          | 15-30           | 6.07       | 6.07                        |

## 10. Determinación del porcentaje de patinaje.



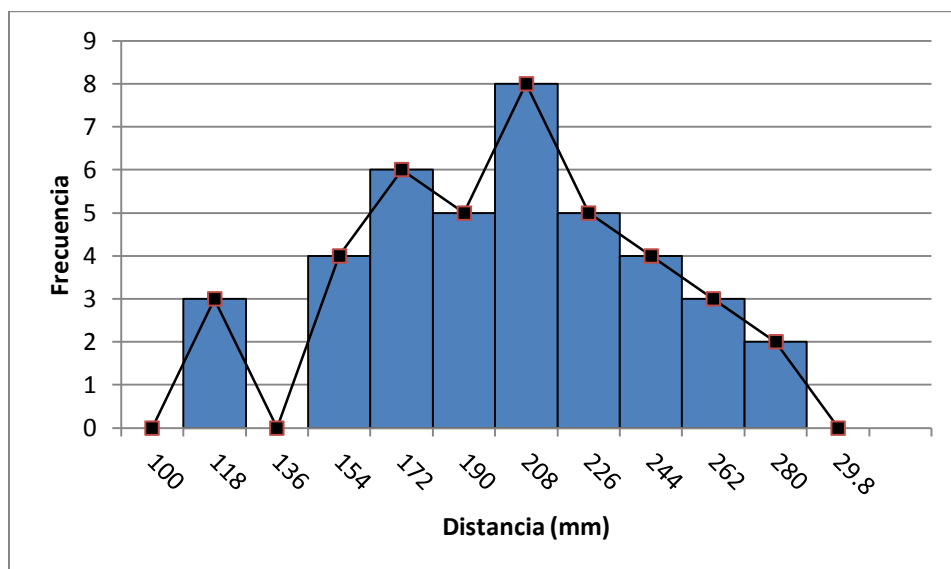
| Parámetro                | Sin contrapeso | Con contrapeso |
|--------------------------|----------------|----------------|
| Promedio                 | 3.01           | 2.68           |
| Desviación estándar      | 1.41           | 1.63           |
| Coeficiente de variación | 0.46           | 0.60           |
| Curtosis                 | 0.48           | -0.39          |
| Coeficiente de asimetría | 0.55           | 0.32           |
| Mínimo                   | 0.89           | 0.18           |
| Máximo                   | 6.55           | 6.1            |
| n                        | 20             | 20             |

11. Histograma, polígono de frecuencias y estadígrafos de las plantas emergidas en tres metros lineales.



|                          |       |                          |      |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| Promedio                 | 16.47 | Coeficiente de asimetría | 0.46 |
| Desviación estándar      | 1.93  | Mínimo                   | 13   |
| Coeficiente de variación | 11.74 | Máximo                   | 21   |
| Curtosis                 | -0.23 | n                        | 40   |

12. Histograma de las distancias entre plantas de la siembra de maíz.



|                          |        |                          |       |
|--------------------------|--------|--------------------------|-------|
| Promedio                 | 193.7  | Coeficiente de asimetría | -0.18 |
| Desviación estándar      | 43.7   | Mínimo                   | 10    |
| Coeficiente de variación | 22.59  | Máximo                   | 28    |
| Curtosis                 | 0.0008 | n                        | 40    |

### 13. Resultados obtenidos en la prueba de tracción necesaria.

| Muestra | Velocidad de<br>operación<br>(km/h) | Patinaje<br>(%) | Fuerza de tracción<br>producida por el<br>implemento (N) | Potencia para<br>accionar el<br>implemento (hp) |
|---------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1       | 1.690                               | 10.606          | 941.753                                                  | 0.528                                           |
| 2       | 1.728                               | 12.329          | 995.829                                                  | 0.525                                           |
| 3       | 1.975                               | 16.085          | 1039.056                                                 | 0.780                                           |
| 4       | 1.462                               | 22.691          | 1083.352                                                 | 0.402                                           |
| 5       | 1.425                               | 29.359          | 1040.725                                                 | 0.368                                           |
| 6       | 1.423                               | 30.795          | 1193.239                                                 | 0.495                                           |
| 7       | 1.547                               | 22.537          | 1214.402                                                 | 0.568                                           |
| 8       | 1.466                               | 28.090          | 1335.472                                                 | 0.600                                           |
| 9       | 1.712                               | 21.154          | 890.114                                                  | 0.475                                           |
| 10      | 1.436                               | 27.018          | 1074.206                                                 | 0.440                                           |
| 11      | 1.370                               | 32.930          | 1002.906                                                 | 0.337                                           |
| 12      | 1.254                               | 32.160          | 1048.169                                                 | 0.327                                           |

**ANEXO C. Tablas de datos para los cálculos del prototipo y Metodología  
para la evaluación en campo**

Tabla 1. Duración recomendada para rodamientos.

| Aplicación                                                                    | Duración de diseño, h |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Electrodomésticos                                                             | 1 000-2 000           |
| Motores de aviación                                                           | 1 000-4 000           |
| Automotores                                                                   | 1 500-5 000           |
| Equipo agrícola                                                               | 3 000-6 000           |
| Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples        | 8 000-15 000          |
| Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general | 20 000-30 000         |
| Bombas y compresores                                                          | 40 000-60 000         |
| Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h                                 | 100 000 - 200 000     |

Fuente: Mott (2006).

Tabla 2. Coeficiente de carga equivalente para cojinetes.

| Tipo de cojinete                                       | $X_1$ | $Y_1$ | $X_2$ | $Y_2$ |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Cojinete de bolas de contacto radial                   | 1     | 0     | 0.5   | 1.4   |
| Cojinete de bolas de contacto angular, ángulo pequeño  | 1     | 1.25  | 0.45  | 1.2   |
| Cojinete de bolas de contacto, ángulo grande           | 1     | 0.75  | 0.4   | 0.75  |
| Cojinetes de doble hilera y dúplex                     | 1     | 0.75  | 0.63  | 1.25  |
| Cojinete de rodillos esféricos ( series 22 ó 30 )      | 1     | 2.5   | 0.67  | 3.7   |
| Cojinetes de rodillos esféricos ( series 23, 31 ó 32 ) | 1     | 2.0   | 0.67  | 3.0   |
| Cojinetes de rodillos cónicos, ángulo pequeño          | 1     | 0     | 0.40  | 1.8   |
| Cojinetes de rodillos cónicos, ángulo grande           | 1     | 0     | 0.40  | 1.0   |
| Cojinetes de rodillos cónicos, doble hilera            | 1     | 1.6   | 0.67  | 2.5   |

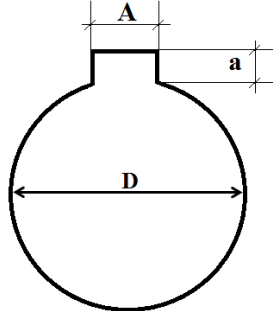
Fuente: Aguirre (1990).

Tabla 3. Factor de servicio para cadenas sencillas

| Tipo de carga impulsada | Máquina impulsora                                      |                           |                                                      |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|
|                         | Motor de combustión interna con transmisión hidráulica | Motor eléctrico o turbina | Motor de combustión interna con transmisión mecánica |
| Sin choques             | 1.0                                                    | 1.0                       | 1.2                                                  |
| Choques moderados       | 1.2                                                    | 1.3                       | 1.4                                                  |
| Choques fuertes         | 1.4                                                    | 1.5                       | 1.7                                                  |

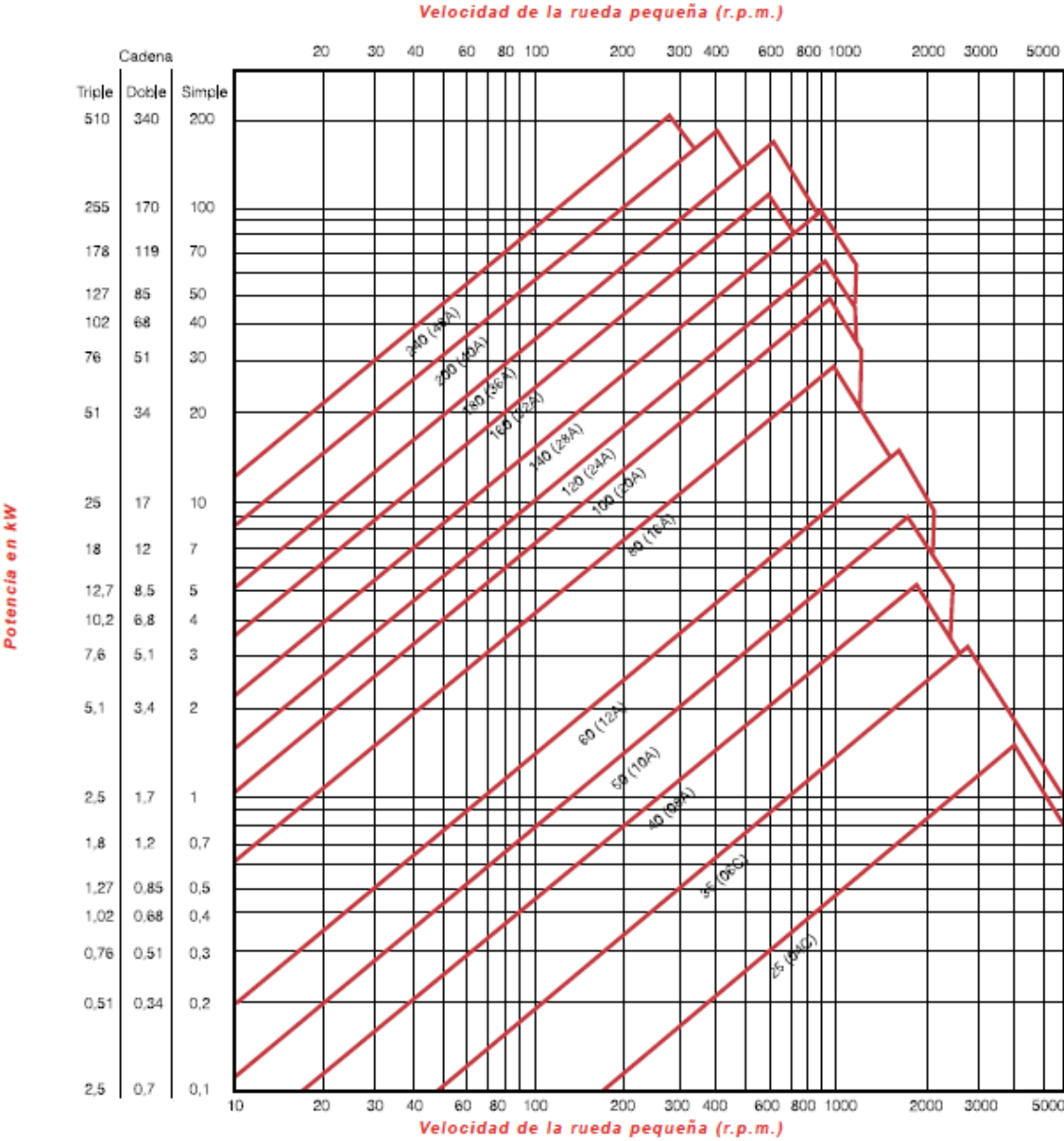
Fuente: Aguirre (1990).

Tabla 4. Cuñeros y opresores.

| Diámetro del barreno, D pulg. | Cuñero estándar |      | Opresor recomendado |  |
|-------------------------------|-----------------|------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | A               | a    |                     |                                                                                      |
| 5/16 a 7/16                   | 3/32            | 3/64 | 10-32               |                                                                                      |
| ½ a 9/16                      | 1/8             | 1/16 | ¼ - 20              |                                                                                      |
| 5/8 a 7/8                     | 3/16            | 3/32 | 5/16 - 18           |                                                                                      |
| 15/16 a 1-1/4                 | 1/4             | 1/8  | 3/8 - 16            |                                                                                      |

Fuente: García (2010).

Tabla 5. Potencia transmitida en las cadenas a distintas velocidades angulares.



## Metodología usada para la evaluación en campo

### Variables de estudio en la evaluación de campo

Son indicadores que reflejan la calidad de trabajo de la máquina, vinculados directamente con el medio en que estas tienen que laborar. Las variables a analizar se tomaron de la norma NMX-o-168-SCFI-2002 (Secretaría de Economía, 2002) sembradoras unitarias y/o fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco – especificaciones y método de prueba.

#### 1) *Tiempo efectivo de trabajo ( $T_e$ , min)*

Es el tiempo que se emplea en la prueba para realizar el trabajo de siembra, sin considerar los ajustes, ni el viraje.

$$T_e = \frac{T_t - T_c - T_f}{60} \quad (1)$$

Donde:

$T_t$ - Tiempo total de operación, min

$T_c$ - Tiempo para dar vueltas en cabeceras, min

$T_f$ - Tiempo de suspensión por fallas, min

#### 2) *Tiempo operativo de trabajo ( $T_o$ , min)*

Es el tiempo de pruebas en el que se incluyen el tiempo efectivo y el tiempo de viraje.

$$T_o = \frac{T_t - T_c}{60} \quad (2)$$

#### 3) *Tiempo total de trabajo ( $T_t$ , min)*

Es el tiempo en que se realiza la prueba desde que inicia hasta que finaliza, se incluyen el tiempo efectivo, de ajustes y de viraje.

$$T_t = h_t - h_i \quad (3)$$

Donde:

$h_t$ - Hora de término de la prueba, min

$h_i$ - Hora de inicio de la prueba, min

4) *Ancho de trabajo teórico ( $B_{to}, m$ )*

$$B_{to} = (B_p) * n \quad (4)$$

Donde:

$B_p$ - Separación entre hilera, m

$n$ - Número de cuerpos, adimensional

5) *Ancho total de trabajo ( $B_T, m$ )*

Esta variable se obtiene al final de la prueba. Con ayuda de una cinta métrica se mide el ancho de cada una de las cabeceras partiendo de los cortes extremos de los abresurcos.

$$B_T = \frac{(B_1 + B_2)}{2} \quad (5)$$

Donde:

$B_1$ - Ancho medido en la cabecera 1, m

$B_2$ - Ancho medido en la cabecera 2, m

6) *Ancho efectivo de trabajo ( $B, m$ )*

Se obtiene al dividir el ancho de trabajo total entre el número de trayectos realizados durante la prueba.

$$B = \frac{B_t}{n_t} \quad (6)$$

Donde

$B_t$ - Ancho total de trabajo, m

$n_t$ - Número de trayectos.

7) *Profundidad de siembra ( $P_t, mm$ )*

Se obtiene con el promedio de las medidas de cada uno de los trayectos dentro del tramo de 20 m marcado en el centro de la parcela de prueba, la lectura se realiza con un vernier de madera colocando el medidor de profundidad en el filo de corte del suelo como lo muestra la Figura 1.

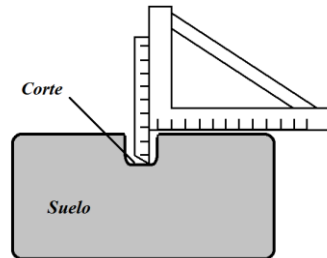


Figura 1. Determinación de la profundidad de trabajo de la sembradora.

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^t x_i}{t} \quad (7)$$

Donde:

$x_i$ -Profundidad de la semilla, observación i, mm

$t$ - Número de observaciones, adimensional

8) Variación de la profundidad de siembra para cultivo de maíz ( $V_{pm}$ , %)

$$V_{pm} = \left( \frac{M_1}{M_2} \right) * 100 \quad (8)$$

Donde:

$M_1$ - Número de plantas con profundidad entre 5 cm y 7 cm en un metro, adimensional

$M_2$ - Número total de plantas en un metro, adimensional

9) Fallas de población ( $P_{fp}$ , %)

$$P_{fp} = \left( \frac{N_{pne}}{N_{tp}} \right) * 100 \quad (5.17)$$

Donde:

$N_{pne}$ - Número de plantas no emergidas en un metro, adimensional

$N_{tp}$ - Número total de plantas en un metro, adimensional

10) *Longitud para el viraje*

Esta longitud es determinada visualmente por lo que se debe tener cuidado, una vez terminada la longitud de la parcela de pruebas el operador deberá virar la máquina, se identifica el punto extremo que uso para girar y se coloca una varilla, luego se toma la medida desde el límite de la parcela de pruebas hasta la varilla. Esta medición se realiza en cada trayecto.

11) *Longitud total de trabajo ( $L_t, m$ )*

Incluye los 100 m de la parcela de la prueba así como la longitud para el viraje de las dos cabeceras. Para esto un auxiliar deberá colocarse en la cabecera una vez que terminen los 100 m de la parcela de prueba deberá observar el punto extremo que uso para virar, esto se realiza en las dos cabeceras.

Para la determinación de la longitud de trabajo se usa la ecuación:

$$L_t = 100 + L_{V1} + L_{V2} \quad (9)$$

Donde

$L_t$ - Longitud total de trabajo, m

$L_{V1}$ - Longitud de viraje cabecera 1, m

$L_{V2}$ - Longitud de viraje cabecera 2, m

12) *Longitud trabajada después del límite de la parcela de pruebas ( $L_{td}, m$ )*

Es la longitud que trabaja el implemento después o antes del límite de la parcela de pruebas. Para realizar esta medición se coloca una varilla en el punto donde finaliza o donde inicia el trabajo de cada trayecto, es necesario observar en que momento empiezan a caer las semillas en la manguera que va hacia el suelo, una segunda varilla se coloca en la línea del extremo de la parcela y finalmente se realiza la medición con cinta métrica.

13) *Longitud real de trabajo ( $L_r, m$ )*

Corresponde a la suma de la longitud total de la parcela de pruebas y la longitud trabajada después de rebasar el límite de la misma.

$$L_r = 100 + L_{td1} + L_{td2} \quad (10)$$

Donde

$L_r$ - Longitud real de trabajo, m

$L_{td1}$ - Longitud trabajada antes de iniciar en la parcela, cabecera 1, m

$L_{td2}$ - Longitud trabajada después del límite de la parcela, cabecera 2, m

#### 14) *Superficie total de trabajo ( $S_t, m$ )*

Es la superficie de la parcela de prueba donde la sembradora es operada normalmente, incluye el área del suelo trabajado y el área para dar vueltas en las cabeceras. Se obtiene de multiplicar el ancho total de trabajo por la longitud total de trabajo.

$$S_t = B_t * L_t \quad (11)$$

#### 15) *Superficie efectiva de trabajo ( $S_e, m^2$ )*

Es la superficie de la parcela donde la sembradora realiza su labor de siembra. Se determina con el ancho y la longitud efectiva de trabajo.

$$S_e = B_t * L_r \quad (12)$$

#### 16) *Velocidad de operación ( $V_{PO}, ms^{-1}$ )*

Es la velocidad promedio de avance en una distancia establecida durante el trabajo de la sembradora y se determina mediante la ecuación siguiente:

$$V_{PO} = \frac{3.6 D}{t} \quad (13)$$

Donde:

$D$ - Distancia de referencia, m

$t$ - Tiempo promedio en recorrer los trayectos, s

17) *Patinaje de las ruedas del tractor ( $P_a$ , %)*

Para obtener esta variable se mide la distancia que recorren tres giros completos de las ruedas del tractor (Figura 2); la medición se realiza en las ruedas motrices, primero trabajando con la sembradora (con carga) y después con el implemento en posición de transporte (sin carga).

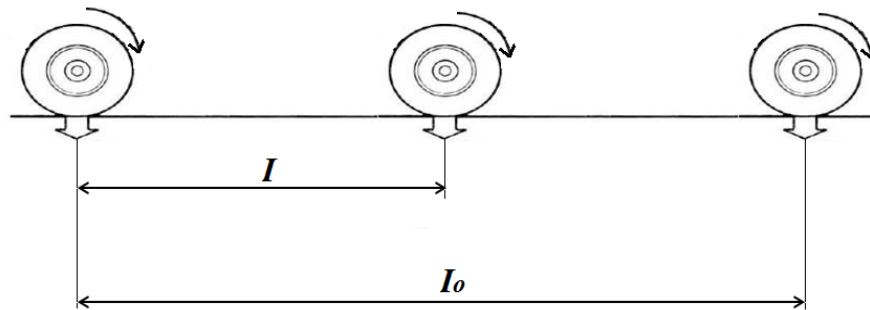


Figura 2. Medición del giro de la rueda motriz.

Es necesario tener un punto de referencia en la rueda que se logra marcando un punto en la cara lateral que sea visible.

Una vez que se encuentra el implemento en los 20 m de la parcela de pruebas se coloca la varilla en el punto en donde hace contacto la marca de la rueda con el suelo, al dar la rueda tres giros completos se coloca una segunda varilla donde vuelve a hacer contacto la marca con el suelo, con una cinta métrica se mide la longitud entre las varillas. Los datos se toman para cada uno de los trayectos, el patinaje se obtiene con la ecuación:

$$P_a = \left( \frac{I_o - I}{I_o} \right) * 100 \quad (14)$$

Donde:

$I_o$ - Longitud de avance promedio de la rueda motriz sin carga, m

$I$ - Longitud de avance promedio de la rueda motriz con carga, m

18) *Consumo de combustible (CCH, lh<sup>-1</sup>)*

Se determina durante el tiempo en el que el implemento es operado en la parcela de pruebas, se debe trasladar el implemento acoplado al tractor al lugar en donde se iniciará la prueba de funcionamiento, en seguida se llena el tanque con combustible hasta el nivel de referencia y se anota en la hoja de campo la marca en el momento en que el tanque está lleno. Al finalizar la prueba de funcionamiento se mide con una probeta el combustible necesario para recuperar el nivel marcado antes de la prueba (Figura 59).

Consumo de combustible horario

$$CCH = \frac{C_c}{T_t} \quad (15)$$

Donde:

$C_c$ - Consumo de combustible durante la prueba, l

$T_t$ - Tiempo total, h

Consumo de combustible por hectárea ( $CCh, lh^{-1}$ )

$$CCh = \frac{C_c}{S_t} \quad (16)$$

Donde:

$S_t$ - Superficie total, ha

19) *Rendimiento teórico ( $R_t, hah^{-1}$ )*

Es conocida también como cantidad de trabajo teórico, es el producto del ancho de trabajo expresado por el fabricante en sus catálogos de especificaciones por la velocidad máxima recomendada por el mismo fabricante.

$$R_t = 0.36 * (B_{to} * V_{mt}) \quad (17)$$

Donde:

$B_{to}$ - Ancho de trabajo teórico del implemento reportado por el fabricante, m.

$V_{mt}$ - Velocidad promedio recomendada por el fabricante,  $ms^{-1}$ .

0.36- Factor de conversión de dimensiones.

20) *Rendimiento efectivo ( $R_e, hah^{-1}$ )*

Es la cantidad de trabajo en campo y se expresa en superficie trabajada por unidad de tiempo, generalmente en hectáreas por hora. Se obtiene con la superficie real de trabajo y el tiempo efectivo de trabajo.

$$R_e = \frac{S_r}{(T_e * 10^4)} \quad (18)$$

Donde:

$S_r$ - Superficie real de trabajo,  $m^2$

$T_e$ - Tiempo efectivo de trabajo, h

$1 * 10^4$ - Factor de conversión de  $m^2$  a ha

21) *Rendimiento operativo ( $R_o, hah^{-1}$ )*

Es la superficie trabajada por unidad de tiempo y generalmente se expresa en hectáreas por hora. Se obtiene con los datos de la superficie real de trabajo y el tiempo efectivo de trabajo más el tiempo de virajes.

$$R_o = \frac{S_r}{(T_o * 10^4)} \quad (19)$$

Donde:

$T_o$ - Tiempo operativo de trabajo, h

22) *Rendimiento real ( $R_r, hah^{-1}$ )*

Es la superficie trabajada por unidad de tiempo y generalmente se indica en hectáreas por hora. Se obtiene con la superficie real de trabajo y el tiempo total de trabajo.

$$R_r = \frac{S_r}{(T_t * 10^4)} \quad (20)$$

Donde:

$T_t$ - Tiempo total de trabajo, h

23) *Eficiencia efectiva de trabajo ( $E_e$ , %)*

Es la relación entre el rendimiento efectivo y el rendimiento teórico.

$$E_e = \left( \frac{R_e}{R_t} \right) * 100 \quad (21)$$

Donde:

$R_e$ - Rendimiento efectivo, hah<sup>-1</sup>

$R_t$ - Rendimiento teórico, hah<sup>-1</sup>

24) *Eficiencia operativa de trabajo ( $E_o$ , %)*

Es la relación entre el rendimiento operativo y el rendimiento teórico

$$E_o = \left( \frac{R_o}{R_t} \right) * 100 \quad (22)$$

Donde:

$E_o$ - Eficiencia operativa de trabajo, %

$R_o$ - Rendimiento operativo, hah<sup>-1</sup>

25) *Eficiencia real de trabajo ( $E_r$ , %)*

Es la relación entre el rendimiento real y el rendimiento teórico.

$$E_r = \left( \frac{R_r}{R_t} \right) * 100 \quad (23)$$