



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

**DOSIFICADOR DE MAÍZ O FERTILIZANTE PARA UNA
SEMBRADORA VERSÁTIL**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:**

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

PRESENTA:

ALEJANDRO MENDIETA ELIZAGARAY

Chapingo, Edo. de México, Diciembre de 2009



**DOSIFICADOR DE MAÍZ O FERTILIZANTE PARA UNA SEMBRADORA
VERSÁTIL**

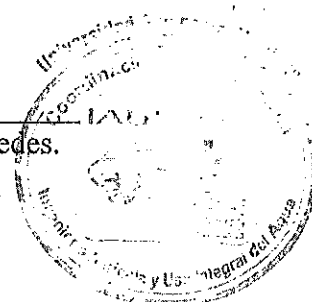
Tesis realizada por **Alejandro Mendieta Elizagaray** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR: 
Dr. Eugenio Romanchick Kriuchkova.

ASESOR: 
M.I. Juan Gabriel Ochoa Bijarro.

ASESOR: 
M.I. Pedro Ramón Mayans Cespedes.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme una vez más la oportunidad de llegar al final de la meta.

A mis asesores el Dr. Eugenio Romanchik Kriuchkova, al M.I. Juan Gabriel Ochoa Bijarro y al M.I. Pedro Ramón Mayans Céspedes por toda su ayuda y consejos para la realización del trabajo.

Al personal del posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua encabezado por el Dr. Ramón Arteaga por las facilidades prestadas durante mi estancia en el posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización del trabajo.

Al profesor Noel Chávez Aguilera por su invaluable ayuda durante la conclusión del trabajo.

A mis amigos Rocío Cervantes Osornio y Vicente López Bautista por su apoyo, ayuda y compañía a lo largo de los dos años que duró esta aventura.

*La fortuna favorece a los osados...
Virgilio, la acárda.*

DATOS BIOGRÁFICOS

Nació el 14 de agosto de 1980 en la ciudad de Texcoco Estado de México donde realizó sus estudios superiores en el departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Agrícola en el año de 2003.

Ha realizado estancias en el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) donde participó en cursos de prueba y evaluación de arados y rastras de discos, así como de sembradoras mecánica.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN-ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
1. ANTECEDENTES.....	4
1.1. Beneficios del sistema de siembra en camas permanentes.....	5
1.2. Descripción de la máquina sembradora versátil.....	8
1.3. Características generales del maíz.....	11
1.3.1. Propiedades físico-mecánicas de la semilla.....	12
1.3.2. Características agrotécnicas del cultivo de maíz.....	13
1.3.3. Clasificación de los dispositivos dosificadores de plato para maíz...	15
1.4. Generalidades de los fertilizantes granulares.....	17
1.4.1. Características de los fertilizantes granulares.....	18
1.4.2. Propiedades físico-mecánicas de los fertilizantes granulares.....	19
1.4.3. Clasificación de los dosificadores de plato para fertilizante granular.	19
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1. Determinación de torque necesario para accionar el plato dosificador de la sembradora.....	21

2.2.	Diseño del dispositivo dosificador versátil.....	24
2.2.1.	Selección del puente de engranes.....	25
2.2.2.	Cálculo de las fuerzas en los engranes.....	25
2.2.3.	Cálculo de las fuerzas de reacción en los apoyos de los ejes de los engranes.....	26
2.2.4.	Diseño de los ejes y selección de los rodamientos de la transmisión..	27
2.2.5.	Diseño del plato dosificador de fertilizante.....	28
2.3.	Pruebas de banco del dispositivo dosificador versátil.....	30
2.3.1.	Diseño experimental y diseño de tratamientos para la prueba del dosificador versátil.....	30
2.3.2.	Descripción del banco de pruebas.....	32
2.3.3.	Insumos de prueba e instrumental.....	34
2.3.3.1.	Caracterización del fertilizante.....	34
2.3.3.2.	Caracterización de la semilla.....	34
2.3.3.3.	Instrumental.....	35
2.3.4.	Preparación de la prueba.....	36
2.4.	Pruebas de dosificación por desplazamiento.....	37
2.4.1.	Materiales de prueba.....	38
2.4.2.	Descripción de la prueba.....	38
2.5.	Cálculo de los indicadores económicos de la máquina sembradora versátil modificada.....	40
2.5.1.	Costos del proyecto.....	40
2.5.2.	Cálculo de la tasa de rendimiento.....	41

2.5.3. Cálculo de la depreciación de la maquinaria.....	44
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.1. Pruebas de torque a dosificadores comerciales.....	46
3.2. Características e la transmisión.....	48
3.2.1. Fuerzas que actúan en los engranes.....	48
3.2.2. Fuerzas sobre los rodamientos de los ejes.....	49
3.2.3. Geometría de los ejes y características de las chavetas.....	49
3.3. Plato dosificador de fertilizante.....	50
3.4. Construcción del dosificador versátil.....	52
3.5. Características de los materiales de prueba.....	57
3.6. Resultados de las pruebas de dosificación.....	58
3.6.1. Dosis de fertilizante.....	58
3.6.2. Dosis de semilla.....	62
3.7. Indicadores económicos del dosificador versátil.....	66
3.7.1. Costos fijos y costos variables.....	67
3.7.2. Cálculo de la TR.....	68
3.7.3. Proceso de pago de la deuda de la opción seleccionada.....	69
3.7.4. Depreciación de la maquinaria seleccionada.....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
ANEXOS.....	73
LITERATURA CITADA.....	95

ÍNDICE DE CUADROS

1. Análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados completos..	31
2. Comportamiento de la velocidad de avance y la velocidad angular en la prueba del dispositivo.....	36
3. Porcentaje de depreciación en la maquinaria agrícola.....	45
4. Datos del juego e engranes seleccionado.....	48
5. Fuerzas que actúan en los engranes.....	48
6. Cargas que actúan en los rodamientos.....	49
7. Características constructivas de los ejes.....	49
8. Grupos de ensambles del dispositivo dosificador versátil.....	52
9. Contenido de humedad del fertilizante.....	57
10. Cantidad de grano dañado e impurezas de la semilla.....	57
11. Contenido de humedad de la semilla de maíz.....	58
12. Coeficiente de variación e la dosis de fertilizante entre salidas.....	59
13. Análisis de la varianza para la variable dosis de fertilización.....	59
14. Pruebas de Tukey para llenado de tolva (Ll), ángulo de inclinación (AI) y velocidad de avance (VA) sobre la variable dosis de fertilización..	60
15. Análisis de varianza por fuente de variación sobre la variable dosis de fertilización.....	61
16. Coeficiente de variación de la dosificación de semilla entre salidas...	62

17.	Análisis de la varianza para la variable dosis de semilla por la tolva...	63
18.	Pruebas de Tukey para llenado de tolva (Ll), ángulo de inclinación (AI) y velocidad de avance (VA) sobre la variable dosis de semilla...	64
19.	Análisis de varianza por fuente de variación sobre la variable dosificación de semilla.....	65
20.	Número e salidas por metro.....	66
21.	Costos fijos del proyecto con diferentes máquinas sembradoras.....	67
22.	Costos variables del proyecto con diferentes máquinas sembradoras..	68
23.	Resumen de costos y beneficios del proyecto.....	68
24.	Tasa de rendimiento de los diferentes proyectos de siembra.....	69
25.	Proceso de pago de deuda del proyecto.....	69
26.	Depreciación de la sembradora versátil modificada.....	70
27.	Programa de depreciación por saldo doble decreciente.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Rendimiento del trigo en la rotación trigo-maíz y trigo-trigo.....	7
2. Esquemas de la sembradora versátil.....	9
3. Características del terreno.....	14
4. Sembradora con plato vertical.....	16
5. Sembradora de plato oblicuo.....	17
6. Sembradora de plato horizontal.....	17
7. Distribuidor de platos giratorios de fertilizante.....	20
8. Fertilizadores centrífugos.....	20
9. Partes del banco dinamométrico.....	22
10. a) Dosificador comercial A, b) dosificador comercial B, c) dosificador comercial C, d) tolvas de la sembradora versátil.....	23
11. Transmisión de la sembradora versátil.....	23
12. Diagrama de cuerpo libre del piñón y del engrane.....	26
13. Diagrama de cuerpo libre de la transmisión.....	27
14. Geometría de la unión eje-chaveta.....	27
15. Fuerzas que actúan sobre el fertilizante en el plato dosificador.....	28
16. Vista del banco de pruebas de sembradoras y fertilizadoras en líneas.	33
17. Elemento de inclinación del banco.....	33
18. Báscula con capacidad de 100 Kg.....	35

19.	Tacómetro digital.....	36
20.	Vista de la tolva con los diferentes materiales de prueba.....	37
21.	Vista del montaje de la sembradora a un chasis comercial.....	38
22.	Agregado tractor-sembradora utilizado en la prueba.....	39
23.	Esquema de la pista de pruebas de campo.....	39
24.	Diagrama de flujo de caja de los ingresos (↑) y egresos (↓) del proyecto en un año.....	42
25.	Diagrama de flujo de caja de los beneficios anuales uniformes en el periodo de 10 años del proyecto.....	43
26.	Datos de las tolvas semilleras a diferentes capacidades de llenado...	46
27.	Datos de las tolvas fertilizadoras a diferentes capacidades de llenado.	47
28.	Gráfica del comportamiento del torque de la fertilizadora comercial B al 100% de su capacidad de llenado.....	47
29.	Construcción geométrica del rascador.....	50
30.	Esquema de la función logarítmica.....	50
31.	Esquema de la nueva forma del dedo.....	51
32.	Vista del ensamble de la base.....	52
33.	Eje horizontal y eje vertical.....	53
34.	Juego de engranes cónicos.....	53
35.	Disco central y seguro de los platos dosificadores.....	53
36.	Plato del fondo de la tolva.....	54
37.	Cono semillero.....	54
38.	Plato semillero comercial con 16 celdas.....	54

39.	Plato dosificador de fertilizante.....	55
40.	Vista de la cubierta del dispositivo dosificador.....	55
41.	Placas razadoras y plato razador.....	56
42.	Conos de salida del material dosificado.....	56
43.	Ensamble del dispositivo dosificador de maíz (A) y fertilizante (B)...	56
44.	Comportamiento del fertilizante por salida.....	58
45.	Dosificación de fertilizante.....	62
46.	Comportamiento de la dosificación de semilla por salida.....	62
47.	Dosificación de semilla.....	66

DOSIFICADOR DE MAÍZ O FERTILIZANTE PARA UNA SEMBRADORA VERSATIL

CORN OR FERTILIZER DOSER FOR A VERSATILE SEEDER MACHINE

Alejandro Mendieta Elizagaray.¹

Eugenio Romantchik K.²

Resumen

La construcción del dosificador de maíz ó fertilizante se hizo como parte de las nuevas tendencias de maquinaria multifuncional en la agricultura de conservación, la cual está siendo utilizada en el norte y centro de México. El dosificador fue probado en instalaciones del Centro Nacional de Estandarización Maquinaria Agrícola (CENEMA) de febrero a junio de 2009. El experimento consistió en pruebas de dosificación (fertilizante y semilla de maíz) en laboratorio y campo. Las primeras indicaron que la variación debido a la inclinación (hasta 10°) en la dosificación de la máquina fue de 5% para fertilizante y 2.46% para semilla, mientras que la variación de la dosis entre las dos salidas de la tolva fue 5.78% para fertilizante y 2.77% para semilla. Las pruebas en campo dieron una dosis de fertilizante de 68.47g/m y 5semillas/m a la velocidad de 1.94 m/s. También se analizó y comprobó la viabilidad económica de modificar una máquina sembradora utilizada para la siembra en camas con el dosificador construido.

Palabras clave: camas de siembra, diseño, pruebas, análisis económico.

1. Tesista.
2. Director de la tesis.

Abstract

The construction of the corn or fertilizer doser was undertaken as part of the new multifunctional machinery trends in conservation agriculture, which is being used in the north and center of Mexico. The doser was tested at the Centro Nacional de Estandarizacion de Maquinaria Agricola (CENEMA) facilities from February to June of 2009. The experiment consisted of dosage tests (fertilizer and corn seed) in the laboratory and the field. The former indicated that the machine dosage variation owing to the inclination (up to 10°) was 5% for fertilizer and 2.46% for seed, while the dosage variation between the two hopper exits was 5.78% for fertilizer and 2.77% for seed. The field tests gave a fertilizer dosage of 68.47 g/m and 5 seeds/m at a speed of 1.94 m/s. In addition, this project analyzed and verified the economic viability of modifying a seeder machine used for sowing in beds with the built doser.

Key words: sowing beds, design, tests, economic analysis.

1. Thesis author.
2. Thesis advisor.

INTRODUCCION

La presente investigación se refiere a los trabajos de diseño, construcción y prueba de un dispositivo dosificador para maíz y fertilizante cuya función es optimizar el trabajo de una máquina sembradora versátil utilizada para sembrar en camas permanentes, el cual tiene la característica principal de que las camas se forman una sola vez al principio del primer ciclo de siembra y solo se reforman al principio de los siguientes.

Además de lo anterior, el sistema de siembra presenta características de agricultura de conservación al dejar residuos de cosecha sobre la superficie del terreno lo cual tiene ventajas al momento de la retención de humedad y mejoramiento de la estructura del suelo.

La investigación de la problemática que presentaba la máquina sembradora se realizó por el interés que se ha generado entre algunos grupos de productores y centros de investigación por los sistemas de agricultura sustentable que son métodos de producción más baratos y eficientes que los métodos tradicionales de producción.

Pero los nuevos sistemas de siembra le han demandado a la maquinaria adaptar elementos ya estudiados como la capacidad de sembrar con cobertura vegetal y unirlos a nuevos requerimientos como son la de sembrar maíz a doble hilera en la cama o que las máquinas tenga las características necesarias para ser utilizadas en diversas actividades del cultivo (máquinas multi-funcionales).

Para el diseño del dosificador se recurrió a la teoría y cálculo de los dosificadores de semilla y fertilizante donde se estudiaron tanto teórica como prácticamente las características constructivas de los principales tipos de dosificadores para así seleccionar las opciones que fueran constructivamente compatibles entre sí.

Lo anterior resultó en la construcción de un sistema de dosificación por plato horizontal para semilla y un plato estrellado para el fertilizante, los cuales tienen características similares tanto en espacio como en disposición de sus elementos dentro de una tolva.

Durante las pruebas del dispositivo construido, se evaluaron parámetros como son la dosificación (de las dos salidas) bajo los efectos de los diferentes niveles de llenados de la tolva, la velocidad de avance y el ángulo de inclinación de la máquina con la horizontal. Además se evaluaron la cantidad de grano quebrado así como la homogeneidad con la que se dosificó la semilla y el fertilizante en el campo.

Como estudio adicional, se realizó un análisis de los principales indicadores económicos que se generarían al establecer un proyecto de producción con una sembradora versátil modificada con el dosificador diseñado comparado con un proyecto en el que se utilizara la sembradora versátil original y otro donde se utilice maquinaria comercial.

OBJETIVOS

General

- Eficientar el diseño del dosificador de semilla y fertilizante a doble hilera.

Particulares

- Diseñar un dispositivo dosificador de maíz y fertilizante para adaptar el funcionamiento de una sembradora versátil utilizada en el sistema de camas permanentes.
- Construir el prototipo del dosificador diseñado.
- Probar en banco y en campo el funcionamiento del dosificador diseñado y comparar su funcionamiento con los estándares y normas establecidos.
- Realizar un estudio económico de la viabilidad de establecer un proyecto productivo con la máquina sembradora versátil modificada con el dosificador diseñado.

1. ANTECEDENTES.

La agricultura Mexicana es un sector estratégico para el desarrollo nacional por lo que se han investigado diversos sistemas de producción para tratar de incrementar los beneficios generados a partir de los cultivos (Barragán et al., 2006),

Uno de de los sistemas de producción estudiados es la siembra en camas, la cual no es una tecnología reciente pues desde hace años se ha practicado en el Valle del Yaqui en México (CIMMYT, 2004).

Los ensayos de siembra en camas en México se iniciaron en 1961 con la finalidad de investigar el efecto en el trigo de diferentes espacios entre hileras.

En 1968, y durante los 10 años siguientes, se realizaron en el valle del Yaqui una serie de experimentos y con base en ellos se definieron muchos de los componentes del sistema de siembra y se tomó la decisión intuitiva de concentrarse en la siembra en camas y el uso del riego por surcos (Aquino et al., 2008).

En el año de 1978, se comenzó a introducir la tecnología de siembra en camas a los agricultores del Valle del Yaqui.

En 1981, solo el 6% de los agricultores del Valle sembraban en camas; para 1996 el 90% de los agricultores utilizaba el sistema y hoy en día los agricultores consideran que esta tecnología reduce los costos de producción e incrementa los rendimientos (Govaerts y Sayre, 2008).

1.1. Beneficios del sistema de siembra en camas permanentes.

En 2007 el CIMMYT comenzó un proyecto de extensión dirigido a instruir agricultores, administradores de empresas agrícolas, técnicos, operadores de tractores, entre otros, en la tecnología de camas permanentes (Aquino et al., 2008).

Este método es la evolución del sistema de siembra en camas original el cual consistía en la construcción de una cama simple (entre 65cm y 90cm) en la que se sembraban 2 ó 3 hileras de trigo como único cultivo. Al final del ciclo la cama era destruida al tiempo que se incorporaban los residuos de la cosecha o se retiraban en su totalidad ya sea para quemarse ó utilizarlos como alimento para los animales.

El método de camas permanentes se desarrolló para hacer las camas de siembra más versátiles y productivas.

Como resultado, en el sistema de siembra en camas permanentes, las camas son formadas inicialmente durante un último ciclo de labranza; a partir de ahí son reutilizadas para sembrar el cultivo siguiente con solo reformarlas superficialmente (Aquino et al., 2008) y dejando la cobertura vegetal para que sirva de protección del suelo, la cual trae consigo efectos positivos en la calidad química, física y biológica del mismo (Govaerts y Sayre, 2008).

Según estudios realizados en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en el 2005, la siembra en camas trae consigo beneficios entre los cuales están los siguientes:

- Reducción de los costos de producción en un 30% al realizar la siembra de una manera más oportuna.

- Ahorro del agua para riego de un 20% a un 40% (en comparación con el riego por anegamiento), al favorecer la retención de humedad.
- Reducción de los pasos de maquinaria.
- Se racionaliza el uso del fertilizante.
- Mejora la fertilidad y estructura del suelo.
- Se disminuye la erosión al tener una capa vegetal en el suelo.
- La disposición del cultivo facilita la eliminación mecánica y manual de malezas, con lo cual se disminuye la aplicación de herbicidas.

Además de estos beneficios, también se ha encontrado que el reducir los pasos de maquinaria conduce a la reducción de las emisiones de CO₂ lo cual influye en el problema del cambio climático, pues cuando no se labran los campos, se mitigan las emisiones de CO₂ y, por lo tanto, se crean oportunidades para que los agricultores mexicanos entren en el mercado de créditos asociados con las emisiones de carbono con Estados Unidos y Canadá (Aquino et al., 2008).

El sistema de camas permanentes se ha extendido en el país y por consiguiente se le han hecho adecuaciones de acuerdo a la zona o a los intereses de los productores.

Una de las adecuaciones que se le hizo a este sistema en el centro del país (más específicamente en el estado de Tlaxcala) fue la asociación de cultivos con fines de rotación.

Como ejemplo de las rotaciones que se han llevado a cabo con éxito está la rotación trigo-maíz, la cual ha entregado incrementos en la producción muy superiores al de la rotación tradicional trigo-trigo como se muestra en la figura 1:

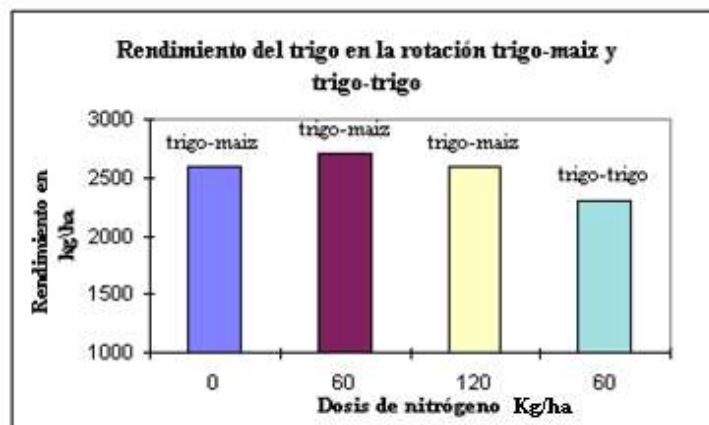


Figura 1. Rendimiento del trigo en la rotación trigo-maíz y trigo-trigo.
Fuente: Limón et al., 2006

De la figura se deduce que el trigo tiene importantes incrementos en su producción, pero el maíz también tiene un beneficio importante pues según Luque (2008) se pueden alcanzar rendimientos de hasta 18 ton/ha al sembrar el maíz a doble hilera en las camas de siembra pues al modificar la distribución espacial de las plantas se reduce el sombreado mutuo entre las hojas durante su etapa de expansión, por lo que se logra una cobertura más rápida del suelo que permite conseguir mayor eficiencia en la intercepción de la luz, de suelo y de nutrientes en el cultivo.

Además de lo anterior, la siembra de maíz a doble hilera en las camas permite incrementar la densidad de plantas por hectárea, al manejar poblaciones de 10 mil plantas por hectárea además de reducir los problemas del acame y de plantas improductivas.

Como se puede observar, la producción se incrementa de manera importante cuando se maneja una asociación de cultivos en el sistema de camas permanentes, pero a pesar de estos resultados, este sistema se ha enfrentado a problemas como la renuencia de los agricultores a abandonar sus prácticas tradicionales. Sin embargo el principal problema que ha limitado la extensión y adopción del sistema de camas permanentes en

México es la carencia de implementos apropiados, sobre todo equipo de siembra (Aquino et al, 2008).

En este punto aparece otro problema muy común en el campo mexicano que es la gran cantidad de pequeños productores, quienes por sus escasos recursos, no pueden tener acceso a la maquinaria que ya se tiene en otros países como China, Turquía, países de Asia central, entre otros (Limón et al, 2006).

Para responder al problema de la escases de maquinaria, se han desarrollado algunos prototipos de una sembradora multifuncional para camas permanentes siguiendo las recomendaciones del CIMMYT (Aquino et al., 2008).

1.2 Descripción de la máquina sembradora versátil.

En ocasiones las máquinas existentes en una región, no se pueden adaptar a las condiciones de un determinado modo de producción por su gran tamaño y demanda de potencia hacia el tractor por lo que una de las constantes que más buscan los productores nacionales son que la maquinaria pueda ser operada por tractores pequeños, que tenga un mantenimiento sencillo y que sea económica.

Aparte de las características ya expuestas, el implemento sembrador debe tener la capacidad de sembrar sobre cobertura vegetal (labranza mínima) puesto que las técnicas de la agricultura sustentable en el ámbito mundial permiten controlar los problemas de erosión eólica e hídrica (Principi et al., 2007) además de evitar las pérdidas de suelo por escorrentía, percolación y pérdida del agua de lluvia (Duran, 2001), ya que una de las causas principales de la baja productividad agrícola en los países en desarrollo lo constituye la erosión del suelo (FAO, 1992).

Además de lo anterior, la máquina debe ofrecer la característica de entregar semilla grande (como maíz) y de cereales de grano pequeño (como el trigo), además de ser capaz de restaurar las camas para la siembra sin afectar la cobertura vegetal.

Es por todo esto que el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se dio a la tarea de construir una máquina sembradora capaz de satisfacer las necesidades expuestas.

El resultado de estos trabajos desembocó en la construcción, prueba y evaluación de un dispositivo sembrador versátil capaz de sembrar trigo y maíz bajo las condiciones de camas permanentes con cobertura vegetal. Dicha sembradora cuenta con los siguientes componentes principales:

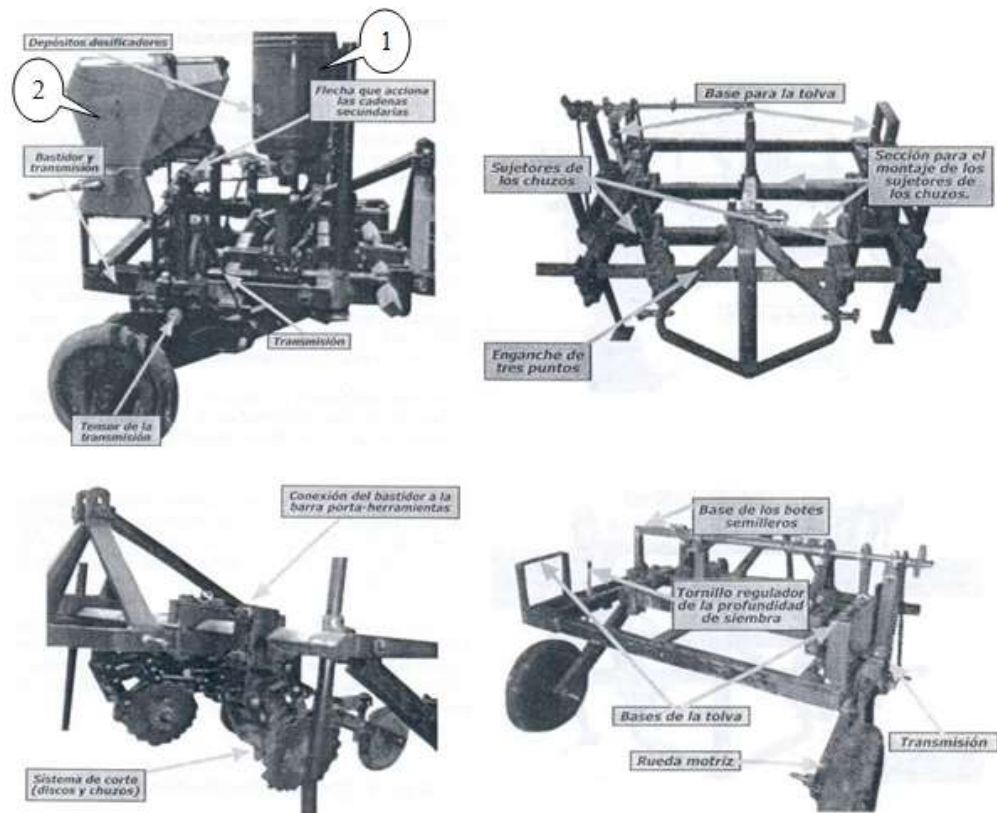


Figura 2. Esquemas de la sembradora versátil.

Fuente: Limón et al, 2006

El bastidor de la máquina se diseñó de tal manera que permita realizar cambios en la disposición de la sembradora como por ejemplo dependiendo del cultivo, el sistema de corte puede moverse de una barra a otra. (Limón et al., 2006).

La máquina ofrece importantes ventajas como la capacidad de reparar las camas de siembra sin necesidad de hacer grandes movimientos en el campo (labranza de conservación) lo cual es adecuado ya que puede detener los procesos de erosión del suelo en las áreas tradicionales de producción y prevenirlos en las zonas de nueva o reciente expansión agrícola (Gil y Albornoz, 1995).

Los sistemas de siembra directa (laboreo mínimo o nulo del suelo) disminuyen significativamente la potencia y la energía consumida por hectárea para implantar el cultivo (Griffith y Pearson, 2000), además de que los suelos bajo siembra directa (sin tráfico excesivo) acumulan mayor compactación en el horizonte superficial respecto a los suelos labrados y menor compactación en el horizonte superficial (Domínguez et al., 2000).

Hablando del trabajo de la máquina, el maíz se siembra (tolva 1) y fertiliza al mismo tiempo (tolva 2) pues ambos dosificadores trabajan normalmente, pero cuando se siembra el trigo (tolva 2), tiene la desventaja de que la máquina no puede fertilizar al mismo tiempo con la tolva del maíz como en el caso anterior.

Es en este último punto donde se encuentra el objetivo del presente trabajo ya que la máquina no resuelve en su totalidad los requerimientos de la asociación de cultivos pues la tolva para la siembra de maíz es la misma que utilizan las sembradoras comerciales y por la configuración estructural del dosificador, este es incapaz de realizar la doble función de entregar semilla ó fertilizante.

Por lo anterior es que se busca diseñar un dispositivo para la tolva de maíz, que tenga la capacidad de dosificar semilla y fertilizante (en condiciones separadas) para así perfeccionar el funcionamiento de la máquina sembradora y no se tenga que utilizar un implemento extra cuando se realice la siembra de los cereales pequeños ya que de hacerlo, se dejaría de lado la idea original de la sembradora que fue reducir los pasos de maquinaria, disminuir los costos, simplificar y acercar la siembra en camas permanentes a los productores.

Como característica adicional la máquina debe tener la capacidad de dosificar dos hileras por cama, tanto de semilla como de fertilizante, ya que los agricultores actualmente buscan este tipo de maquinaria para incrementar el rendimiento de sus cosechas en un espacio reducido de terreno.

Al realizar un estudio detallado de los requerimientos anteriores y tomando en cuenta las características estructurales de varios dosificadores encontrados en el medio es que se concluyo que la mejor opción de diseño para el nuevo dosificador versátil (llamado así de aquí en adelante) es la de platos.

Los dosificadores de platos son elementos que se encuentra tanto en la dosificación de semilla como en la de fertilizante y tienen una distribución de espacio y forma similar, lo cual facilita su combinación en el nuevo dispositivo dosificador.

1.3 Características generales del maíz.

El maíz desempeña un papel importante en la sociedad y en la industria, ya que al procesarlo se derivan una gran cantidad de productos y subproductos (Barragán et al., 2006) ya que es base de la alimentación de la sociedad mexicana.

En cuanto a variedades se refiere, existen muchas y muy variadas, pues tenemos desde las variedades criollas hasta las variedades mejoradas para resistir diversas condiciones de cultivo.

Entre las características que diferencian a estas variedades encontramos las alturas de las plantas (de entre 1 y 4m), el número de hojas, la forma y tamaño de la espiga, las características de la mazorca, entre otras.

El maíz crece en climas cálidos cuyas temperaturas varían entre los 20° y 30°, además de lo anterior, las necesidades de agua para su evapotranspiración van de 400 a 800 mm con precipitaciones que acumulen más de los 800mm entre mayo y noviembre.

Los mejores suelos para el cultivo del maíz son los suelos francos y profundos, los de aluvión en las vegas de los ríos y los márgenes cubiertos por una vegetación abundante. Todos los anteriores con una pendiente máxima de hasta el 25%. (Ramírez, 1993).

1.3.1 Propiedades físico-mecánicas de la semilla.

Las propiedades físico mecánicas de las semillas son muy variadas no solo entre diferentes cultivos, sino también entre semillas de la misma variedad. Dichas propiedades dependen del tipo y especie de las semillas, de las condiciones de su desarrollo (incluida la humedad) y del método que se haya empleado para su limpieza.

Aunado a lo anterior, según Moreno y Aragón (1991), aproximadamente el 80% de los productores de maíz utilizan para la siembra su propia semilla (no certificada), además de que los agricultores que utilizan sembradoras acopladas al tractor, comúnmente no pasan su semilla por una criba para seleccionar un tamaño uniforme.

Esta heterogeneidad en la semilla ocasiona que al hacer pasar diferentes tamaños de ellas por las celdas del plato dosificador pasen más de las necesarias, se dañen o en su defecto no salga ninguna. Esto suele suceder igualmente con la semilla certificada cuando no ha sido seleccionada correctamente.

Tomando en cuenta lo anterior, a continuación se listan las diferentes características físico-mecánicas de la semilla a tomar en cuenta:

- Dimensiones de los granos (longitud, ancho y espesor)
- Masa de 1000 granos.
- Densidad del grano (g/cm^3)
- Coeficiente de fricción interno.

Las características antes mencionadas para diferentes tipos de semillas se muestran en el anexo 1.

1.3.2. Características agrotécnicas del cultivo de maíz.

La siembra es el proceso mediante el cual se colocan en el terreno de cultivo las semillas, bajo las condiciones requeridas para su desarrollo y tiene el objetivo de establecer una densidad de plantas óptima y permitir un espaciamiento adecuado desde el punto de vista agronómico y económico

Entre las condiciones para la siembra del maíz está el cultivo en líneas en el que las plantas quedan colocadas en hileras, con la finalidad de dejar zonas libres para el paso de maquinaria.

Además de la separación entre hileras se encuentra la separación entre plantas el cual según Liu et al., (2004) tiene efectos mínimos o nulos en el crecimiento de la planta

(principalmente en el caso del maíz), siempre y cuando se respete la población de plantas establecida para ese cultivo.

El espaciamiento entre plantas puede afectar el crecimiento y rendimiento de las mismas, y un buen espaciamiento de plantas comienza con un buen espaciamiento de las semillas. (Bracy & Parish, 1998).

Pero el establecimiento del cultivo depende de la manera en que se realice la siembra de acuerdo a características como son:

- A golpes: se colocan grupos de semillas en una línea a distancias definidas.
- Mono grano: la colocación de la semilla se hace de manera individual a distancias definidas.

Con base en lo anterior, se establece que en una buena densidad de siembra y un espaciamiento adecuado se deben considerar los siguientes parámetros:

- Clase de cultivo.
- Tipo de suelo.
- Fertilidad del suelo.
- Humedad disponible.

Otro factor que influye en la siembra, son las características del terreno, las cuales se ilustran en la figura 3:

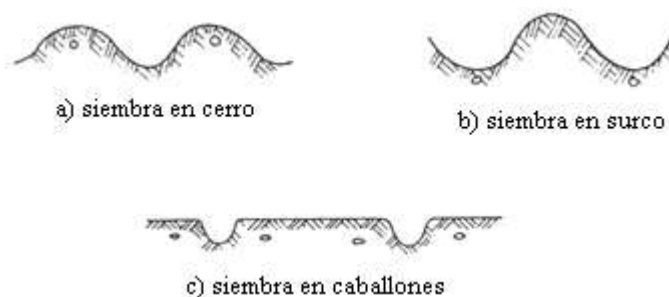


Figura 3. Características del terreno.
Fuente: Ortiz, 1994

El sistema de siembra en surcos es adecuado para regiones semiáridas, ya que se aprovecha mejor la humedad de la capa interior del suelo.

Por otro lado, la siembra en caballones, deja libre la zona profunda para que corra el agua libremente en zonas húmedas o de riego, mientras que en zonas de humedad adecuada se practica la siembra en llano.

De lo anterior se tiene que las máquinas sembradoras tienen la misión de colocar en el terreno la semilla bajo cualquiera de las condiciones mencionadas, además de que las máquinas deben manipular las más variadas clases de semillas sin dañarlas y realizar la regulación de las diferentes cantidades de semilla (de entre 2 y 250 kg/ha) con la mínima variación de semilla tanto entre golpes como entre líneas.

Se exigen también siembras a distancias de entre 2 y 15 cm, las cuales se realizan con sembradoras de precisión que realizan la siembra con óptimos resultados en espaciamiento y linealidad en el surco para cada cultivo (Musa, 2006), aunque en ocasiones, debido al mal uso o la ignorancia en el funcionamiento de estas máquinas, pueden provocar variación en las distancias de plantación. (Nielsen, 1991).

1.3.3 Clasificación de los dispositivos dosificadores de plato para maíz.

Existen diversos y muy variados dispositivos de dosificación de semilla dependiendo de las características del material a sembrar en los que se busca siempre la mayor eficiencia y productividad posibles.

A continuación se mencionan las características de los dispositivos de platos dosificadores los cuales son los dispositivos adecuados para la construcción del dosificador versátil.

a) Distribuidor de plato vertical (figura 4): En este dispositivo, el plato distribuidor (1) posee escotaduras periféricas que abarcan todo el grosor; dichas escotaduras (2) son unas cavidades hemisféricas unidas por una ranura circular continua. Los alvéolos se llenan por gravedad al pasar por el interior de la tolva; un pequeño rodillo (3) que gira en el mismo sentido que el plato, impide que penetren más de dos semillas en cada alvéolo; éstas son arrastradas hasta la parte baja, donde quedan libres. Con el fin de impedir que quede alguna semilla atorada en el fondo del alvéolo, se utiliza un dedo expulsor (4) que se mantiene en posición por la acción de un resorte que lo aprieta contra en fondo de la ranura circular del plato.

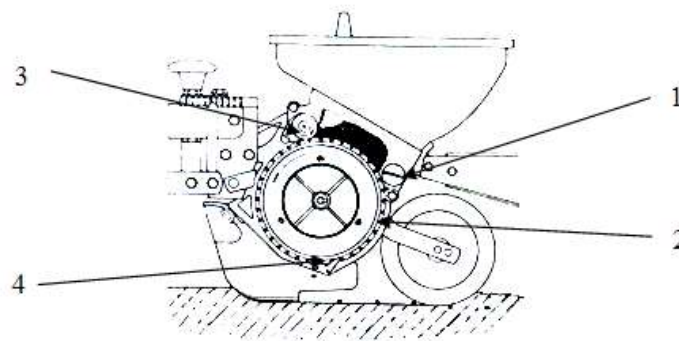


Figura 4. Sembradora con plato vertical.
Fuente: Ortiz, 1994

b) Distribuidor de plato oblicuo (figura 5): El plato distribuidor (1) va aplicado contra una pared oblicua (2), la cual lo separa de la tolva de las semillas por un cárter paralelo. El arrastre de las semillas se efectúa por una serie de dientes (3) de formas muy variables, ideadas para que solo puedan arrastrar un grano cada vez. Esta sembradora trabaja sin problemas de rotura de semillas además de que tiene un calibrado muy sencillo, su desventaja es que es muy susceptible a la vibración y no trabaja uniformemente a altas velocidades.

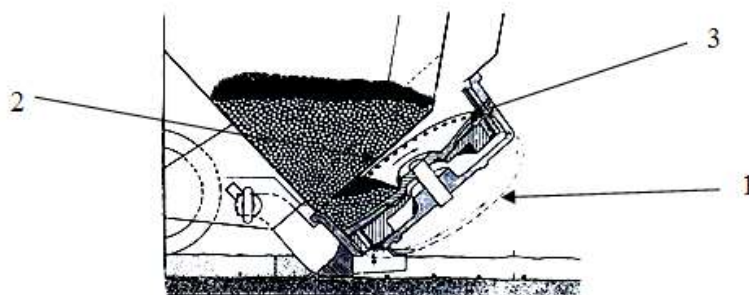


Figura 5. Sembradora de plato oblicuo.
Fuente, Ortiz, 1994

c) Distribuidor de plato horizontal (figura 6): El plato (1) está perforado o dotado de unas muescas (2) a lo largo de su periferia; por estar situado en el fondo de la tolva, su alimentación se realiza por gravedad. Un dispositivo frotador (3), situado delante del punto de caída de las semillas, elimina la posibilidad de que se agrupen por parejas; y en el mismo punto de caída, un expulsor (4) impide que alguna quede incrustada en el fondo de los alvéolos.

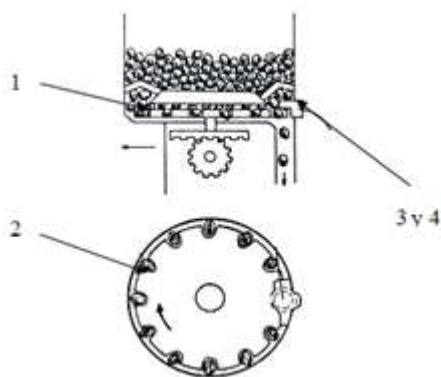


Figura 6. Sembradora de plato horizontal.
Fuente: Candelón, 1971

1.4 Generalidades de los fertilizantes granulares.

En el país existe una gran variedad de fertilizantes granulares, los cuales tienen diversas características que los hacen tener ventajas de unos sobre los otros dependiendo del medio y de los requerimientos del agricultor.

1.4.1 Características de los fertilizantes granulares.

Las características comerciales de este tipo de fertilizante obligan a que las máquinas se puedan limpiar con facilidad, contar con amplio rango de dosis de aplicación y partes resistentes a la corrosión, ya que los fertilizantes son altamente corrosivos para las partes mecánicas con las cuales están en contacto.

Los fertilizantes granulares son los muy utilizados en la agricultura de temporal en México siendo los más utilizados el sulfato de amonio y el superfosfato de calcio triple, ambos con la ventaja de ser poco higroscópicos (su humedad relativa oscila entre el 87.7% y el 93.6%), lo cual los hace apropiados para la aplicación mecánica. (Elizalde, 1993). Algunas características de varios tipos de fertilizantes se resumen en el anexo 2.

En años recientes, han cobrado importancia fertilizantes granulares como la urea, el nitrato de amonio, ambos con la desventaja de ser altamente higroscópicos (su humedad relativa oscila alrededor del 54.9%), lo cual dificulta en gran medida su uso en zonas húmedas, ya que tienden a apelmazarse dentro de la máquina.

Otra desventaja en el caso de la urea es que sus gránulos son poco resistentes a la aplicación de cargas con una resistencia entre 8.5 N y 11.2 N. En el caso del fosfato diamónico este tiene gran resistencia a las cargas de aplastamiento con una resistencia superior a los 28 N, característica muy importante que influye en la aplicación del fertilizante al seleccionar el equipo fertilizador (Ortiz, 1989).

Las dosis de estos fertilizantes varían de entre los 50 a 1200kg/ha y la forma de aplicación dependerá de la movilidad del elemento en las condiciones especificadas de suelo, clima y los requerimientos de cultivo.

Una característica importante de estos abonos es que poseen una facilidad de dispersión en el terreno muy alta, ya que por ejemplo los abonos granulados se

componen de gránulos de 0.5-5mm, los abonos pulverizados conformados por partículas de 0.001-0.1mm o los abonos cristalizados con partículas comprendidas de entre 0.2 y 1mm.

Así mismo, es común que al momento de la siembra se realice la aplicación simultánea de dos o más fertilizantes a causa de los requerimientos nutrimentales de la planta, además de que al aplicar la mezcla de fertilizante, se simplifica el proceso, se reducen los costos de aplicación y se evita la compactación del suelo al realizar menos pasos de maquinaria. Sin embargo, debe existir una compatibilidad en la mezcla que se realice tanto en componentes como en tamaño de las partículas.

Alguna de las consecuencias de realizar una mala combinación del fertilizante puede ser el incremento de la humedad relativa (urea mas nitrato de amonio), formación de terrones (fertilizantes con alto contenido de nitrógeno) o la volatilización del amoniaco (combinación de sulfato de amonio y cal).

1.4.2 Propiedades físico-mecánicas de los fertilizantes granulares.

Al igual que con las semillas, los fertilizantes poseen características de interés para el diseñador de elementos que interactúan con este tipo material.

Para el caso de los fertilizantes granulares las principales características que se deben considerar son el contenido de humedad, la masa volumétrica, el ángulo de reposo y el orificio de auto contención. Las características antes mencionadas para algunos de los fertilizantes comunes en México se muestran en el anexo 3.

1.4.3 Clasificación de los dosificadores de platos para fertilizante granular.

1. Distribuidora de platos giratorios (figura 7): el fondo de la tolva lo forman unos discos o platos cóncavos giratorios (1) que llevan el abono hacia el exterior,

donde es distribuido por unos dedos o paletas que giran a gran velocidad (2). Este sistema da una gran homogeneidad de distribución en la dirección de la marcha y es utilizada para productos con tendencia al apelmazamiento.

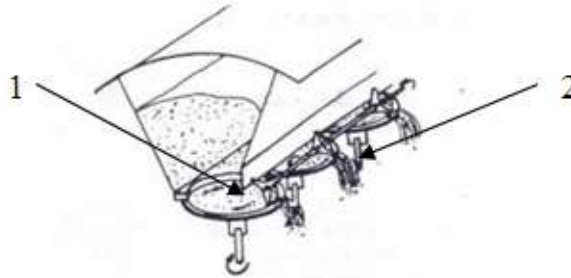


Figura 7. Distribuidor de platos giratorios de fertilizante.
Fuente: Ortiz, 1994

2. Fertilizadores centrífugos (figura 8): los abonadores centrífugos constan de una tolva bajo la cual se monta el dispositivo por medio del cual se distribuye el fertilizante. Cuando el producto pasa por este dispositivo, este es proyectado a gran distancia.

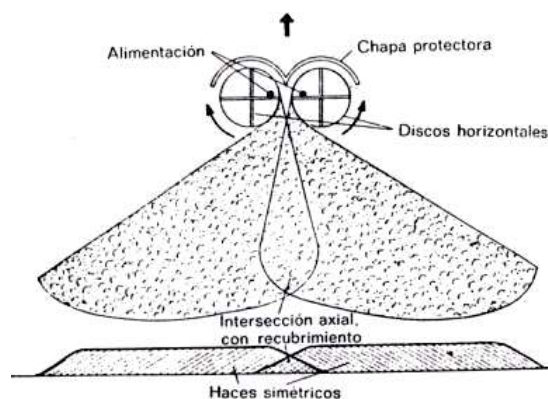


Figura 8. Fertilizadores centrífugos.
Fuente: García, 1983.

Para comprender mejor la utilización de los dosificadores tanto de semilla como de fertilizante, en los anexos 4 y 5 se hace un resumen de los dosificadores en función del cultivo que se desee establecer.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Una vez establecidos los requerimientos y características que deben tener los dosificadores de la máquina sembradora versátil, se realizó un estudio de las opciones a considerar para el diseño y así generar una opción de solución que fuera satisfactoria al funcionamiento de la máquina.

En el diseño se consideraron factores como el torque demandado entre dosificadores comerciales, el tipo de dosificador de semilla y de fertilizante (platos dosificadores), la compatibilidad entre dosificadores y las características de la transmisión de la sembradora versátil.

2.1. Determinación del torque necesario para accionar el plato dosificador de la sembradora

Con el fin de determinar el torque demandado para que los dispositivos dosificadores de semilla y fertilizante realicen su trabajo y tener datos para diseñar el dosificador versátil, se realizaron varios ensayos con dosificadores comerciales.

Para medir el torque, se utilizó un banco dinamométrico de la marca C/Electromotor modelo S/L 3346604-Y03 con una potencia de 10 kW, ubicado en el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA).

El citado banco tiene la capacidad de mostrar los datos de torque demandado en el eje motriz y la frecuencia de rotación a las que se está trabajando.

El torquímetro es de la marca Ono Sokki Co LTD modelo DR-101 y tiene un rango de medición de 1 a 120 Nm, con revoluciones máximas hasta 6000 min^{-1} , las cuales se miden con un tacómetro integrado en el banco como el mostrado en la siguiente figura:



Figura 9. Partes del banco dinamométrico

Para esta medición se seleccionaron cuatro diferentes modelos de tolvas comerciales incluidas las tolvas de la sembradora versátil.

Las características de los dispositivos utilizados en la prueba se mencionan a continuación:

- Dosificador comercial A: este dispositivo tiene un dosificador de plato horizontal con las paredes de la tolva completamente recta,
- Dosificador comercial B: fue un dosificador de plato horizontal con las paredes de la tolva a una inclinación de 85° .
- Dosificador comercial C: fue un dispositivo de plato inclinado con paredes de la tolva sin inclinación.
- Dosificador comercial D (una y dos tolvas): este fue una tolva provista con un dosificador de disco horizontal el cual corresponde al dosificador de la sembradora versátil.



Figura 10. a) Dosificador comercial A, b) dosificador comercial B, c) dosificador comercial C, d) tolvas de la sembradora versátil.

Los insumos de prueba fueron el fertilizante comercial urea, mientras que la semilla de maíz fue un plano medio utilizado comúnmente por los productores de la zona.

Para la prueba de torque se determinaron las características del sistema de transmisión de la sembradora versátil para ajustar el banco dinamométrico con la misma velocidad angular a la que trabaja la sembradora de la que a continuación se muestra su sistema de transmisión.



Figura 11. Transmisión de la sembradora versátil.
Fuente. Limón, 2006.

De la figura anterior se obtuvieron los datos para determinar la relación entre la velocidad angular de la rueda motriz y el engrane D (que es el que acciona los dispositivos de la tolva) partiendo de los siguientes datos:

- La catarina A tiene relación 1:1 con la rueda motriz, así que se calculó la relación de transmisión entre A y B.
- La relación de transmisión entre las catarinas B y C es 1:1

Con esto se tiene que el número de vueltas en la catarina D se calculó como sigue:

$$N_D = \frac{N_A \cdot D_A}{D_D} \quad (1)$$

Donde:

N_A , N_D = número de vueltas de las catarinas A y D

D_A , D_D = diámetro de las catarinas A y D, cm

Una vez determinadas la velocidad angular promedio de los ejes de los dosificadores, a cada tolva se le realizaron las pruebas bajo las siguientes condiciones de llenado: trabajo en vacío, al 25%, al 50%, al 75% y al 100% de capacidad de la tolva.

La prueba consiste en poner en funcionamiento el banco dinamométrico y después de un minuto de trabajo se toman las lecturas de torque para cada capacidad de llenado de la tolva.

2.2. Diseño del dispositivo dosificador versátil.

El desarrollo del producto puede ser un proceso original en el que se trabaja con elementos totalmente nuevos para realizar el proyecto y en segundo lugar están los diseños de adaptación que consisten en tomar elementos y principios de funcionamiento ya existentes para adaptarlos y desarrollar un nuevo objeto, siendo lo más conveniente

hacer el diseño sobre la base de piezas y medidas ya estandarizadas porque esto ayudará a disminuir el precio del producto (Barragán et al., 2006).

Lo anterior es importante mencionarlo ya que el presente trabajo cae dentro de la segunda categoría de desarrollo ya que se pretende tomar elementos ya existentes y adaptarlos para crear un dispositivo capaz de satisfacer los requerimientos del proyecto. Como se vio en la sección anterior, la mejor opción es un dispositivo dosificador de plato horizontal tanto para semilla como para fertilizante.

Para el diseño de dicho dispositivo se partió del torque determinado para la fertilizadora comercial B que es de 10.3 Nm a 60 min^{-1} con lo cual se tiene una potencia de 87.99 W .

2.2.1. Selección del puente de engranes,

Como primer paso en el proceso de diseño se tiene al puente motriz del dispositivo el cual está integrado normalmente por un piñón y un engrane.

Para la selección de estos elementos se utiliza el manual de engranes de Martin en donde se selecciona un juego de engranes entrando con el dato de la potencia a transmitir por el dispositivo que es de 67.11 W a una velocidad angular de 60 min^{-1} .

2.2.2. Cálculo de las fuerzas en los engranes.

Para este cálculo se sigue la metodología planteada por Mott (2006) en la que se parte del dato de torque de las pruebas a los dosificadores comerciales (T), del ancho de la cara del diente del piñón (F) y de que el diámetro del piñón (d) los cuales son datos del catálogo.

El cálculo anterior se hace partiendo del siguiente diagrama de cuerpo libre:

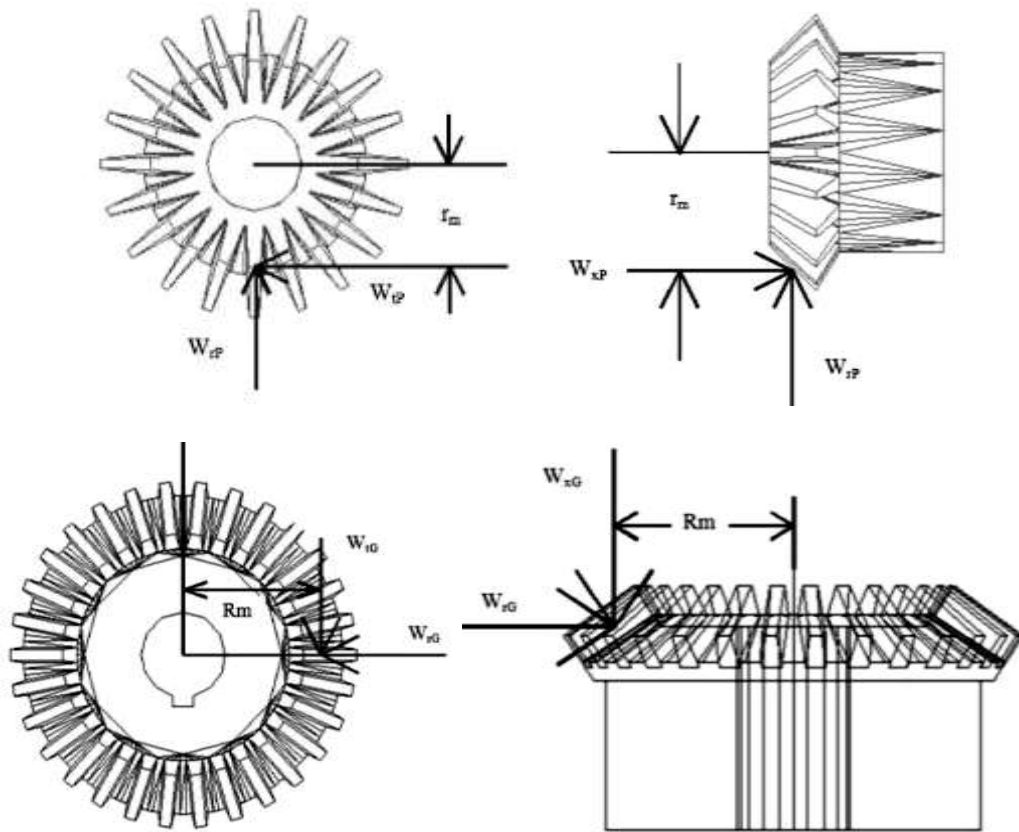


Figura 12. Diagrama de cuerpo libre del piñón y del engrane.

Donde

r_m y R_m = radio medio del piñón y del engrane. (mm)

W_{tP} y W_{tG} = fuerza tangencial del piñón y del engrane. (N)

W_{xP} y W_{xG} = fuerza axial del piñón y del engrane. (N)

W_{rP} y W_{rG} = fuerza radial del piñón y del engrane. (N)

2.2.3. Cálculo de las fuerzas de reacción que actúan en los apoyos de los ejes de los engranes.

El primer paso es construir el diagrama de cuerpo libre del sistema formado tanto del eje horizontal como por el eje vertical. Dicho diagrama de cuerpo libre se ilustra en la siguiente figura:

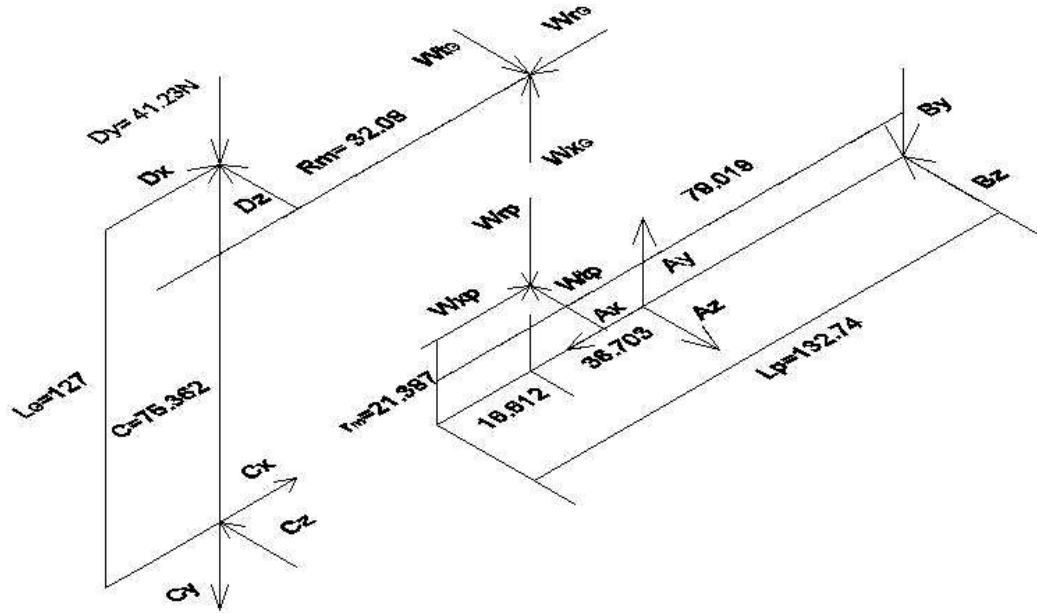


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de la transmisión.

Partiendo del cálculo de las fuerzas en los engranes, la solución de los sistemas de fuerzas planteadas en la figura 13 anterior se resuelve por medio de la aplicación de las ecuaciones de equilibrio de la estática tanto para el eje vertical como para el eje horizontal.

2.2.4. Diseño de los ejes y selección de los rodamientos de la transmisión.

Para el diseño del eje y las chavetas se utiliza la metodología establecida por Mott (2006) considerando para el eje un acero comercial 1018 cold roll y un factor de diseño de 2, mientras que para el cálculo anterior se plantea la siguiente figura:

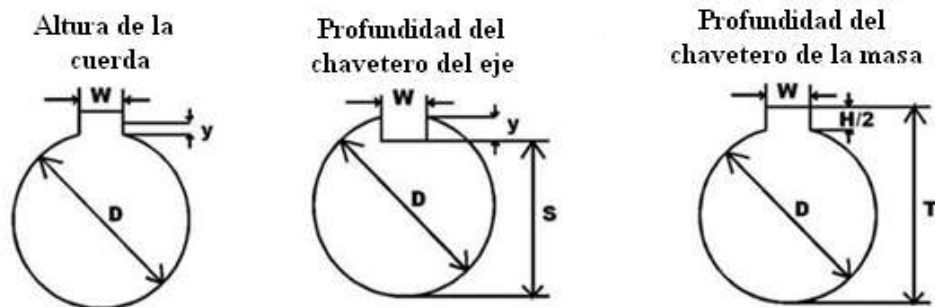


Figura 14. Geometría de la unión eje-chaveta.

Fuente: Mott, 2006

Donde

w =espesor de la chaveta. (mm)

y = altura de la cuerda. (mm).

S = profundidad del chavetero en el eje. (mm).

T = profundidad del chavetero en la masa. (mm).

Después de los cálculos anteriores, el siguiente paso es determinar las características de los rodamientos para los ejes, lo cual se hace siguiendo la metodología establecida en el manual de rodamientos SKF.

2.2.5. Diseño del plato dosificador de fertilizante.

Los fertilizantes sólidos son elementos que por sus características físicas producen gran resistencia al movimiento de los dosificadores, además de que al utilizar un dosificador con una geometría incorrecta puede producir una serie de amontonamientos de material en la salida de la tolva.

Según Silveira (1982), para que el fertilizante no se amontone, el ángulo entre la normal al perfil del rascador (α) en cualquier punto O que dista del centro de rotación ρ del disco debe disminuir o permanecer constante como se muestra en la figura 15.

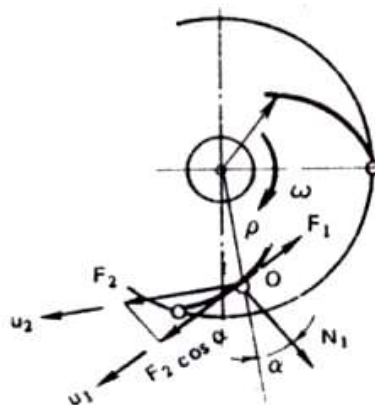


Figura 15. Fuerzas que actúan sobre el fertilizante en el plato dosificador.

Fuente. Silveira, 1982

Lo anterior se consigue utilizando rascadores curvilíneos como por ejemplo aquellos que describen un espiral logarítmica.

Además de lo anterior, se calcula el área (A) del orificio del fondo de la tolva por donde sale el material a dosificar. Para este cálculo se planteó la siguiente expresión:

$$A = h * (R^2 - r^2) \quad (2)$$

Donde:

h= altura del dedo (mm)

R= radio exterior del plato (mm)

r= radio interior del plato (mm)

- **Cálculo de la velocidad periférica del plato sembrero.**

La velocidad periférica es un parámetro de gran importancia ya que está directamente relacionado con el correcto llenado de las celdas del plato dosificador de semilla pues una velocidad periférica alta provoca que las celdas no se llenen de manera correcta. Silveira (1982) reporta que el valor máximo de la velocidad periférica no debe ser mayor a 0.73 m/s.

Para calcular la velocidad angular del plato de la sembradora se aplica la siguiente expresión:

$$V_p = \omega * r_d \quad (3)$$

Donde:

V_p = velocidad periférica del plato (m/s)

ω = velocidad angular del plato (s^{-1})

r_d = radio del plato sembrero (m)

Para este caso se considera que la velocidad de trabajo promedio de las sembradoras es de 7 km/h (Hunt, 2001) y que el valor de la velocidad angular del eje del dosificador a esta velocidad de avance es de 60 min^{-1} .

2.3. Pruebas de banco del dispositivo dosificador versátil.

Las pruebas del dispositivo se hacen con el objetivo de conocer de manera real las capacidades del dosificador y la calidad en el trabajo del mismo.

La dosificación depende del material que se esté probando ya que para el caso del fertilizante debe analizarse la dosis que aplica la máquina y el modo en que esta es distribuida en el terreno, mientras que para el caso de la semilla se debe estudiar, aparte de la cantidad de semillas que entregue, la continuidad con que la semilla es depositada en el terreno.

2.3.1. Diseño experimental y diseño de tratamientos para la prueba del dosificador versátil.

El primer paso en el diseño del experimento para evaluar el funcionamiento del dosificador versátil es la identificar las fuentes de variación que afectan la cantidad de semillas dosificadas en 15 segundos (Y_s) y los gramos de fertilizante dosificados en el mismo periodo de tiempo (Y_f). Las fuentes de variación son las siguientes:

- Velocidad angular del eje del dosificador correspondiente a la velocidad nominal (60 min^{-1}), -20% la nominal (48 min^{-1}) y +20% la nominal (72 min^{-1}).
- Llenado de la tolva versátil (25%, 50%, 75% y 100%).
- Inclinação del banco de pruebas de sembradoras (0° , 5° y 10°).

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completos al azar en el que los bloques fueron constituidos por el número de repeticiones del experimento, que en este caso fueron tres.

El diseño de tratamientos del experimento es un factorial 3x4x3 donde el primer factor es la inclinación del banco, el segundo el llenado de la tolva y el tercero la velocidad de la máquina. Al experimento se le realiza el análisis de varianza como sigue:

Cuadro 1. Análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados completos

Modelo: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$; $i = 1, \dots, t$; $j = 1, \dots, b$

Fuente de variación.	Grados de libertad.	Suma de cuadrados.	Cuadrados medios.	F _o .
Tratamientos (t)	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$	$\frac{S.C. \text{ TRAT}}{T-1}$	$\frac{C.M. \text{ TRAT}}{C.M. \text{ ERROR}}$
Bloques (b)	b-1	$\sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$		
Error (ε)	(t-1)(b-1)	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{b} - \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{t} + \frac{Y_{..}^2}{bt}$	$\frac{S.C. \text{ ERROR}}{(t-1)(b-1)}$	
Total	bt-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{bt}$		

Fuente. Infante, 2000

Donde

Y_{ij} = respuesta en la j-ésima unidad experimental con el tratamiento i-ésimo.

μ = media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos.

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = error experimental en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

Del análisis anterior se desprendieron dos hipótesis estadísticas que son:

- H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$
- H_a : Al menos un efecto de un tratamiento es distinto a los demás.

Donde:

H_0 = hipótesis nula en la que se establece que todos los efectos de los tratamientos son iguales.

H_a = hipótesis alternativa en la que se establece que al menos un efecto de los tratamientos es diferente.

Con los cálculos previos hechos, se hace una comparación de medias de los diferentes tratamientos para conocer el comportamiento de una con respecto a las otras. Para llevar a cabo esto, se utiliza el método de diferencias mínimas significativa, el cual se calcula con la ayuda de la siguiente expresión:

$$DMS = t_{\alpha; \eta} \sqrt{\frac{2s^2}{r}} \quad (4)$$

Donde:

$t_{\alpha;\eta}$ = es la t de Student que separa $\alpha/2$ del área en las colas de la distribución de t con $\eta=(r-1)(t-1)$ grados de libertad (que son precisamente los grados de libertad del error experimental en la tabla del análisis de varianza).

s^2 = es el cuadrado medio del error.

r = número de repeticiones de cada tratamiento.

Con todos estos estudios, se estuvo en condiciones de generar un modelo que caracterice la dosificación de la sembradora sometida a las fuentes de variación, puesto que en diversas ocasiones, los tratamientos de un experimento, son los niveles de un factor cuantitativo en estudio. Cuando sucede lo antes dicho, la metodología de la regresión múltiple permite una interpretación más completa de los resultados experimentales (Martínez, 1988).

2.3.2. Descripción del banco de pruebas.

Para ambos materiales (semilla y fertilizante) se realizan pruebas de dosificación de material en banco para determinar la cantidad de material que sale de la máquina bajo las fuentes de variación.

Para llevar a cabo la cuantificación de las semillas y los gramos de fertilizante dosificados, se buscó un dispositivo en el que se pudieran combinar el ángulo de inclinación del dispositivo, la velocidad de avance de la máquina y el llenado de la tolva de una manera controlada y precisa.

El experimento se realizó el banco de pruebas para sembradoras y fertilizadores en líneas ubicado en el CENEMA. Dicho banco es descrito en el apéndice normativo 3 inciso 6.3 de la norma NMX-O-168-SCFI-2002 y se muestra en la figura 16.



Figura 16. Vista del banco de pruebas de sembradoras y fertilizadores en líneas.

Para que el banco genere el movimiento de los dispositivos de siembra, se utiliza un conjunto integrado por un motor eléctrico y una serie de transmisiones de cadena. El motor eléctrico es un motor trifásico de la marca US Motors serie 2000 con una par de salida de 271.49 Nm, el cual varía su velocidad de angular gracias a un control digital.

La variación del ángulo de inclinación se hace con la ayuda de un soporte como el mostrado en la figura 17. Esta pieza, tiene la función de soportar la estructura del banco cuando este se levanta a los ángulos especificados de 5° y 10°.

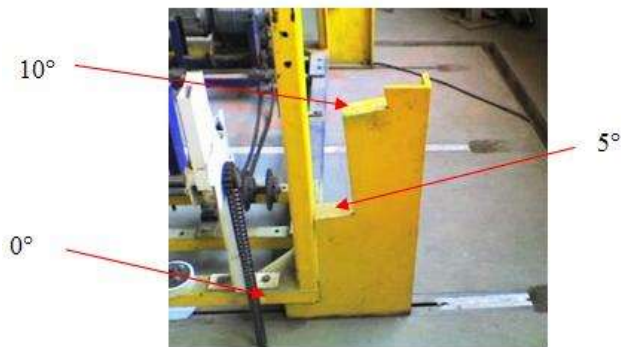


Figura 17. Elemento de inclinación del banco.

Gracias a su estructura, el banco ofrece la posibilidad de obtener de manera directa la muestra de material dosificado, a la vez que se simulan las diversas fuentes de variación.

2.3.3. Insumos de prueba e instrumentación.

Es en este punto se mencionan las características de los insumos (semilla de maíz y fertilizante) que se utiliza en la prueba. Las características son la densidad volumétrica, el contenido de humedad o en el caso de la semilla, la geometría de esta.

El otro punto en este apartado es el equipo de medición utilizado para calibrar elementos como la velocidad del banco, cuantificar la cantidad de material que se introduce a la tolva, entre otras mediciones necesarias durante el proceso de prueba.

2.3.3.1. Caracterización del fertilizante.

Para la prueba se utilizó como insumo el súper fosfato de calcio triple, el cual es el fertilizante recomendado para este tipo de evaluaciones por su baja higroscopicidad y sus mejores características de resistencia al molido durante su paso por la máquina a evaluar (NMX-O-168-SCFI-2002).

La primera característica que se determinó fue la densidad del fertilizante, para lo cual se utilizó el método de la probeta, el cual consiste en llenar dicha probeta hasta un volumen conocido (para este caso se utilizó una probeta graduada hasta 1000 ml), para luego ser pesada y en base a estos datos determinar la densidad del material.

El siguiente parámetro que se determinó fue el contenido de humedad del fertilizante, para lo cual se tomaron un total de tres muestras quienes se pusieron en un horno de secado a una temperatura constante de 70 °C por un periodo de 24 horas.

2.3.3.2. Caracterización de la semilla.

Las características a determinar de la semilla de maíz fueron similares a las que se determinaron en el caso del fertilizante (densidad volumétrica y contenido de humedad), para lo cual se siguió el mismo procedimiento.

Otra determinación fue la caracterización del tamaño de la semilla y el porcentaje de daño natural que tenía el grano antes de la prueba.

Para el primer caso se midieron el largo, ancho y espesor de un total de cien semillas, mientras que el porcentaje del grano quebrado se realizó a cinco muestras de una masa de 100 g cada una.

2.3.3.3. Instrumental.

Como parte de la prueba, se debe pesar el material que se introduce en la tolva para determinar el contenido de fertilizante y semilla a las capacidades de llenado especificadas así como la masa de las muestras colectadas después de cada ensayo.

Para llevar a cabo lo anterior se utiliza una báscula de la marca Dhaus modelo B100S con una capacidad máxima de cien kilogramos como la que se muestra a continuación:



Figura 18. Báscula con capacidad de 100 kg.

Para tomar la lectura de velocidad angular del eje motriz del dosificador, se utiliza un tacómetro digital de la marca Ono Sokki modelo HT-5100 con un error de ± 1 revolución por minuto, como el mostrado en la figura 19.



Figura 19. Tacómetro digital

Por último, está un cronómetro, el cual se utilizó para medir los 15 segundos que dura la prueba con un error de ± 0.01 segundos.

2.3.4. Preparación de la prueba.

Al iniciar la prueba se regula la frecuencia de rotación del dosificador de material, lo que se realiza midiendo la velocidad angular a la que trabaja el eje motoriz del dosificador de material.

Esta velocidad angular se aumenta o disminuye con la ayuda del control digital mencionado anteriormente.

Los datos de la velocidad angular del eje del dosificador están dados con base en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Comportamiento de la velocidad de avance y la velocidad angular en la prueba del dispositivo.

Vel. de avance de la máquina	m/s	min⁻¹ del eje del dosificador
+ 20% Vel. nominal	2.33	73
Vel. nominal	1.94	60
-20% vel nominal	1.56	49

El otro aspecto es el ángulo de inclinación, que como ya se mencionó, se establece levantando el banco y colocándolo en los soportes mostrados en la figura 17.

Con las regulaciones anteriores hechas, se procede a llenar la tolva, ya sea con semilla o fertilizante, a las capacidades del 25%, 50%, 75% y 100%, para tomar las

muestra del material en las salidas por un periodo de quince segundos para cada ensayo, teniendo un total de tres repeticiones por condición de llenado.



Figura 20. Vistas de la tolva con los diferentes materiales de prueba.

Las muestras obtenidas, dependiendo del material que se esté estudiando, se les da diferente tratamiento, por ejemplo para el fertilizante se pesa el material de ambas salidas tanto de manera individual como en conjunto para conocer la dosis de material entregado en quince segundos.

Para la semilla, se procede de manera diferente pues al material que se colecta durante la prueba se le descuenta el porcentaje de grano dañado naturalmente que tenía la semilla para conocer el porcentaje de daño causado por la máquina. Así mismo se determina la cantidad de semillas que salen por salida para cada ensayo.

2.4. Pruebas de dosificación por desplazamiento en campo

Las pruebas de dosificación son un buen indicador del funcionamiento de la máquina ya que dan una idea general de la cantidad de material que fluye por la salida de la tolva; sin embargo estas pruebas no indican de manera directa la calidad con que el material se deposita en el terreno.

Para determinar lo anterior es que se realiza una prueba de distribución por desplazamiento, la cual determina de manera directa las características de colocación del

material en el terreno como son la distancia entre semillas y, en el caso del maíz, la cantidad de las mismas por golpe.

En cuanto al fertilizante, esta prueba muestra la continuidad de la franja de material para así comprobar la correcta dosificación a lo largo del recorrido de la máquina.

2.4.1. Materiales de prueba.

Para la prueba se utilizó un tractor de la marca John Deere modelo 5715 con una potencia a la toma de fuerza de 90 Hp, el cual fue el encargado de traccionar una sembradora mecánica de 3 cuerpos a la que se le desmontan los abridores, y se coloca en ella la tolva versátil.

La sembradora fue seleccionada por la adecuada relación de transmisión que genera al conectarla con el dispositivo dosificador versátil como se muestra en la siguiente figura:



Figura 21. Vista del montaje de la sembradora a un chasis comercial

2.4.2. Descripción de la prueba.

Para la prueba se realizó una adaptación al bastidor de la sembradora para montar la tolva versátil. Cabe mencionar que esta acción sirvió para mostrar la adaptabilidad del dispositivo dosificador en las diferentes máquinas que pudieran encontrarse en el medio.



Figura 22. Agregado tractor-sembradora utilizado en la prueba.

El espacio para realizar la prueba es un camino recto para evitar variaciones al momento de depositar el material en el suelo. Las medidas de dicha pista se muestran en la siguiente figura:



Figura 23. Esquema de la pista de pruebas de campo.

Para la prueba se establece un llenado de la tolva de $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad (tanto semilla como de fertilizante) y se recorre la distancia establecida en la figura 23 a la velocidad nominal (7 km/h), después de lo cual se determina la cantidad de material dosificado en la zona central del recorrido, obteniendo un total de 3 muestras de un metro de longitud cada una.

Para el caso de la semilla se determinan dos parámetros que son la cantidad de semillas dosificadas por metro y la distancia entre las mismas, mientras que para el caso

del fertilizante se cuantifican los gramos de material por metro, así como la continuidad de las líneas del mismo.

2.5. Cálculo de los indicadores económicos de la máquina sembradora versátil modificada.

Una vez descrito el dispositivo dosificador versátil, fue adecuado realizar un estudio de los costos y beneficios que genera la sembradora ya adaptada con el dispositivo diseñado, además de compararlo con los beneficios que se generaría un proyecto con sembradoras comerciales y otro con la misma sembradora versátil original.

Otro elemento importante es determinar el tiempo que tardaría en pagarse la inversión del proyecto de producción de maíz y trigo con la sembradora versátil modificada.

2.5.1. Costos del proyecto.

Para realizar el análisis se parte del supuesto de tener una superficie mínima de una hectárea con riego, la cual se sembraría primero con maíz para posteriormente sembrar el trigo. Esta rotación se haría por un periodo de 10 años.

Como primer paso se establecen los costos de la explotación. Dichos costos se dividen en dos tipos para facilitar su análisis:

- Costos fijos: estos costos son todos aquellos en los que se invierte solo una vez al inicio del proyecto.
- Costos variables: estos desembolsos son por lo general los insumos con los que se va a trabajar o aquellas labores que tienen una repetición a lo largo de proceso de producción.

2.5.2. Cálculo de la tasa de rendimiento.

La tasa de rendimiento (TR), es la tasa de recuperación que se espera obtener de la alternativa a considerar para así hacer que los costos sean equivalentes a las ganancias.

Según Salazar (1994), otras definiciones de la TR son las siguientes:

- Desde el punto de vista del ahorrador, la TR es la tasa de interés pagada sobre el saldo que se debe de un préstamo, de tal manera que el plan de pagos hace que el saldo no pagado sea igual a cero en el último pago.
- Desde el punto de vista del inversionista, la TR es la tasa de interés que se obtiene sobre la inversión no recuperada de tal manera que el plan de pago hace que la inversión no recuperada sea igual a cero al final de la vida de la inversión.

En general, el análisis de la TR consiste en comparar esta tasa con la tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR), la cual es la tasa de interés establecida por el inversionista por debajo de la cual se rechazará el proyecto, de tal manera que se cumpla la siguiente igualdad:

$$TR > TMAR \quad (5)$$

El cálculo de la TR es un proceso complejo que para resolverlo se plantea la siguiente fórmula:

$$-CAUE_C + CAUE_I = 0 \quad (6)$$

Donde:

$CAUE_C$ = costo anual uniforme equivalente de los costos.

$CAUE_I$ = costo anual uniforme equivalente de los ingresos.

Para resolver la expresión 6 se establece la TMAR del proyecto, que para este caso se fijó en 6% para el periodo de 10 años de explotación.

Con estos datos se debe transformar el beneficio neto de los dos cultivos en una serie uniforme de pagos a lo largo del periodo de siembra. Para realizar esto, se toma la tasa de interés interbancaria la cual se fijó en julio de 2009 en un valor de 4.75% a un día (Banxico, 2009).

La tasa de interés anterior es tasa de interés efectiva que se utilizará para este proyecto, teniendo en cuenta que por definición, la tasa de interés efectiva es aquella tasa anual que toma en cuenta los periodos de capitalización (Salazar, 1994).

Con los datos anteriores el primer paso es transformar los beneficios de un año como son la ganancia por la venta del maíz (Gm) y la del trigo (Gt) en un valor único (P_{anual}) para el citado periodo que pueda ser relacionado con el costo total inicial para establecer el maíz (CTIm), para lo cual se plantea el siguiente diagrama de flujo de caja:

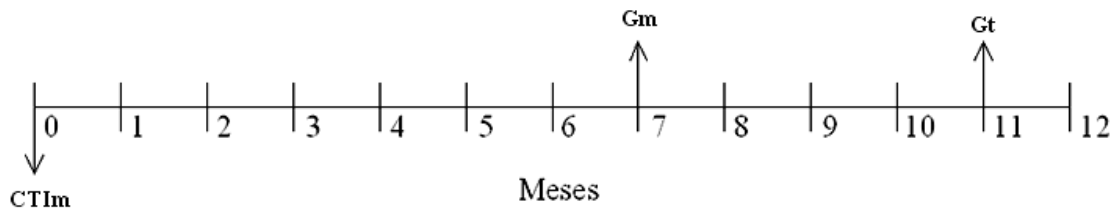


Figura 24. Diagrama de flujo de caja de los ingresos (↑) y egresos (↓) del proyecto en un año.

De la figura anterior se tiene que para obtener el mencionado valor anual, primero se llevan al presente las ganancias del año de la siguiente manera:

$$P_{\text{anual}} = Gm \left[\frac{1}{(1+i_e)^n} \right] + Gt \left[\frac{1}{(1+i_e)^n} \right] \quad (7)$$

Donde

i_e = tasa de interés efectiva.

n = número de periodos de interés considerados.

El valor obtenido en la expresión 7 se lleva al futuro doce periodos a la TMAR establecida de 6% para obtener el costo anual uniforme equivalente de los ingresos (CAUE_I) de la siguiente manera:

$$CAUE_I = P_{\text{anual}}(1 + i)^n \quad (8)$$

Donde:

i = tasa mínima atractiva de rendimiento.

El valor del CAUE_I es el beneficio que se obtendría al final de cada año durante el periodo de 10 años que dura el proyecto tal y como se muestra en el siguiente diagrama e flujo de caja:

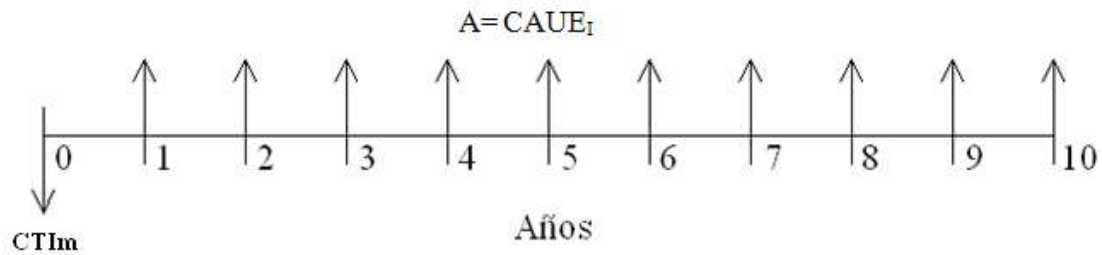


Figura 25. Diagrama de flujo de caja de los beneficios anuales uniformes en el periodo de 10 años del proyecto.

Con los datos de la figura anterior, solo falta calcular el CAUE_D, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$CAUE_D = CTI_m \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9)$$

Donde:

i = la tasa de rendimiento buscada.

Ya con este cálculo se pueden sustituir el resultado de la expresión 8 y la expresión 9 en la ecuación 60, la cual se resuelve por medio de un proceso iterativo para

determinar la tasa de interés (o tasa de rendimiento) a la cual los beneficios y los costos se hacen cero.

Como parte del estudio de la TR, se encuentra el análisis del proceso del pago de la deuda en el periodo de tiempo establecido en el proyecto.

El proceso del pago de deuda es un elemento muy importante de todo proyecto ya que este estudio da una visión general de las posibilidades y alcances del mismo antes de contraer una deuda. Este cálculo se realizó siguiendo la metodología descrita por Salazar (1994).

2.5.3. Cálculo de la depreciación de la maquinaria.

Todas las mercancías una vez que son puestas en el mercado son sujetas a un ajuste en su valor original de producción.

A medida que transcurre el tiempo, dichas mercancías o bienes de capital utilizados en la producción, disminuyen su valor independientemente de que se utilicen o no; es a este fenómeno que se le conoce como depreciación (Salazar, 1994).

En el caso de la maquinaria, la depreciación se puede dar por tres factores principales que son:

- Deterioro físico: se refiere a la incapacidad a la que llega la máquina para cumplir con su trabajo debido al desgaste de sus partes o sistemas.
- Obsolescencia: se refiere al desuso al que llega una máquina a causa de la mayor eficiencia con la que puede realizar el mismo trabajo una máquina más moderna.
- Insuficiencia: se refiere básicamente a la incapacidad de la máquina para realizar su trabajo debido al incremento en los volúmenes de producción demandados.

El cálculo de la depreciación es un proceso complicado cuya naturaleza es más estimativa que predictiva ya que al entrar en juego factores como los ya descritos, solo se puede conocer el verdadero valor del activo al ser retirado del servicio y debidamente valuado por un experto.

En el caso del presente trabajo se desconoce el precio de venta del equipo usado en cada año (por ser un prototipo), por lo cual Hunt (2001) propone para esta situación utilizar los valores del cuadro 3:

Cuadro 3. Porcentaje de depreciación en la maquinaria agrícola.

Máquina/ Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tractores, trilladoras, cosechadoras de maíz y arroz.	24	6	6	4	4	4	6	4	4	4
Otras máquinas	26	6	6	6	4	4	4	6	4	4

Fuente. Hunt, 2001

El método anterior da una estimación del valor de la máquina al final de su vida útil, pero el procedimiento tiene algunos sesgos al ser un método muy general de depreciación por lo que algunos autores recomiendan utilizar el método de depreciación por saldo doble decreciente (SDD) por ser el método que más se acerca a los valores de depreciación del equipo usado.

El método de SDD es un método de depreciación acelerada “que busca disminuir rápidamente el precio del activo para así disminuir el pago de impuestos los primeros años” (Salazar, 1994). Lo anterior se vuelve de vital importancia en épocas de alta inflación.

El cálculo del programa de depreciación por SDD se calcula de acuerdo a lo establecido por Salazar (1994).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pruebas de torque a dosificadores comerciales.

De la fórmula 1 se calculó la velocidad angular a la que se probaron los diferentes dispositivos dosificadores de semilla y fertilizante, partiendo de que las sembradoras trabajan a una velocidad promedio de 7 km/h (Donnell, 2001) y de que el diámetro de la rueda motriz de la sembradora versátil es de 0.51m, lo que indicó que la catarina D trabaja a 60 min^{-1} .

Como resultado de las prueba se obtuvieron 20 lecturas a cada uno de los regímenes de trabajo especificados. Ya con estos datos se calcularon los promedios de cada régimen a una velocidad de rotación del banco de pruebas de 60 min^{-1} como se muestra en la figura 26.

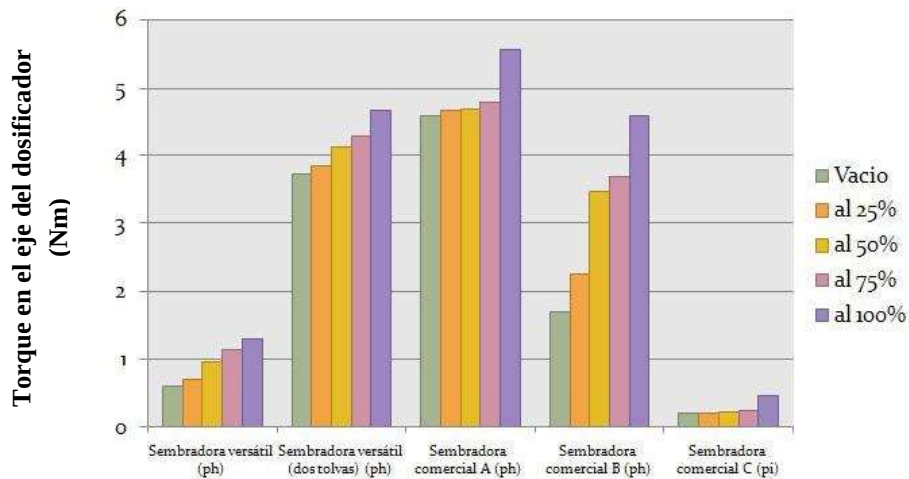


Figura 26. Datos de las tolvas semilleras a diferentes capacidades de llenado.

Nota: se omiten las marcas de las sembradoras por motivos comerciales.

Al estudiar los datos de la gráfica se pensaría que la mejor opción en cuanto a requerimientos de potencia era la configuración de plato inclinado ya que esta requiere

un menor torque que el resto. El problema con este tipo de dispositivo es que por su configuración ocupa mayor espacio que el resto y es poco compatible con las características de los fertilizadores, por lo que se justificó el uso del plato horizontal.

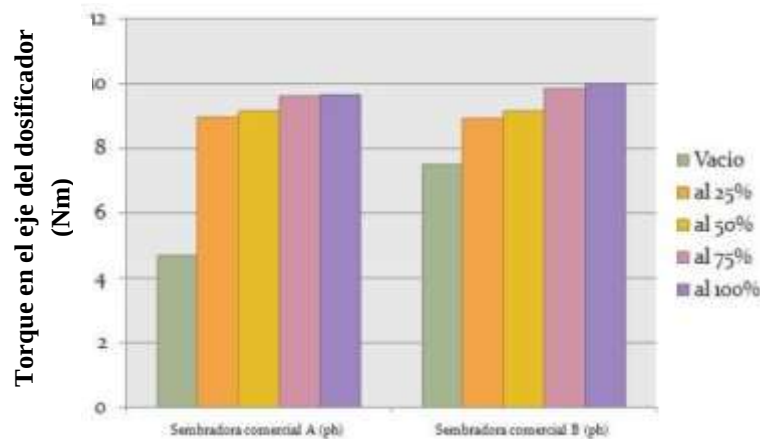


Figura 27. Datos de las tolvas fertilizadoras a diferentes capacidades de llenado.

Nota: se omiten las marcas de las sembradoras por motivos comerciales.

Al observar la figura 27 se determina que el torque que se debe tomar es el de los dispositivos fertilizadores ya que es más elevado que el de los dispositivos de semilla lo que lleva a concluir que el dispositivo adecuado es el dosificador comercial B.

Un punto a tomar en cuenta es que dentro de los datos de trabajo, existen algunos puntos críticos de torque que escapan del promedio tal y como se muestra en la siguiente gráfica del 100% de llenado de la tolva del dosificador B:

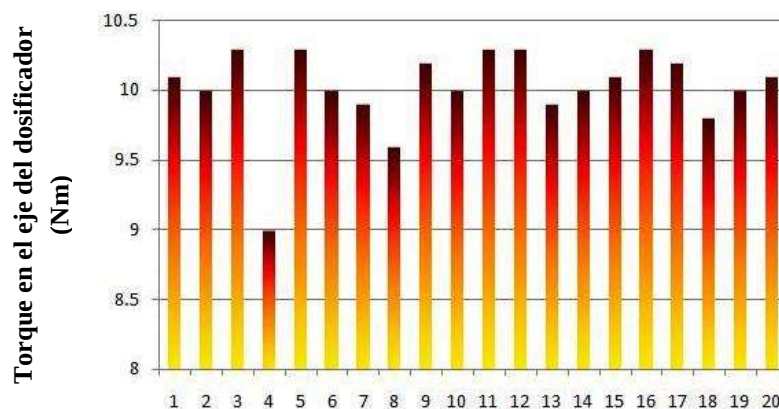


Figura 28. Gráfica del comportamiento del torque de la fertilizadora comercial B al 100% de su capacidad de llenado.

Al estudiar la figura 28 se encuentran picos en los valores del torque, los cuales son provocados por sobrecargas debidas a atoramientos, ya sea por terrones del fertilizante o por cualquier otra impureza dentro del sistema de transmisión, el cual al estar trabajando en un medio agresivo es susceptible a este tipo de problemas.

Con base en lo anterior se estableció que el valor de torque a tomar como dato de diseño fue el de 10.3 Nm para asegurar la integridad del sistema de transmisión del dispositivo aún en el caso de un atoramiento.

3.2. Características de la transmisión.

Cuadro 4. Datos del juego de engranes seleccionados

Pieza	No. Dientes	Clave de catalogo	Diámetro exterior		Diámetro del eje		Peso	
			pulg	mm	pulg	mm	lb	kg
Engrane	30	B5 1030-15	3.08	78.23	3/4	19.05	2.0	0.9072
Piñón	20	B5 1020-15	2.21	56.13	3/4	19.05	0.8	0.3629
Espesor o ancho de la cara que se prefiere (F)= 15.3 mm o menor								

Fuente. Manual de engranes Martin.

Este juego de engranes tiene la capacidad de transmitir hasta 298.28 W a una velocidad angular de 100 rpm, lo cual cubre los requerimientos de la transmisión de 0.09 hp a 60 min^{-1} de la sembradora versátil.

3.2.1. Fuerzas que actúan en los engranes.

Al aplicar la metodología descrita por Mott (2006) para el cálculo de las fuerzas que actúan en los engranes se construyó el siguiente cuadro con los resultados:

Cuadro 5. Fuerzas que actúan en los engranes.

Fuerza	Piñón		Engrane	
	libras	Newton	libras	Newton
Tangencial	108.25	481.51	108.25	481.51
Radial	32.78	145.82	21.86	97.21
Axial	21.86	97.21	32.78	145.82

3.2.2. Fuerzas sobre los rodamientos de los ejes.

Las fuerzas generadas en los apoyos de los ejes, que a su vez son transmitidas a los rodamientos que los sostienen, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Cargas que actúan sobre los rodamientos

Apoyo	Eje vertical (N)	Eje horizontal (N)
A	729.60	97.21
B	227.46	----
C	195.80	104.59
D	300.96	41.23

Los resultados de la aplicación de la metodología de selección de rodamientos del manual SKF en los apoyos A, B, C y D son los siguientes:

- El rodamiento A con una carga básica de 282201 N, se recomienda un rodamiento de contacto angular de ángulo pequeño.
- El rodamiento B con una carga básica de 754.16 N, se recomienda un rodamiento de bolas con contacto radial
- Los rodamientos C y D con cargas básicas de 794.34 N y 961.02 N, se recomienda un rodamiento de contacto angular de ángulo grande.

3.2.3. Geometría de los ejes y características de las chavetas.

Los resultados del cálculo de los ejes y sus chavetas se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Características constructivas del los ejes.

	Eje del piñón	Eje del engrane
Momento máximo	18472.89 N mm	15541.03 N mm
Diámetro del eje	19.05 mm	19.05 mm
Espesor de la chaveta (W)	4.76 mm	4.76 mm
Geometría de la chaveta	cuadrada	cuadrada
Altura de la cuerda (y)	0.30 mm	0.30 mm
Profundidad del chavetero en el eje (S)	16.36 mm	16.36 mm
Profundidad del chavetero de la masa (T)	21.23 mm	21.26 mm
Longitud de la chaveta (L)	23.02 mm	4.82 mm

3.3. Plato dosificador de fertilizante.

Para la construcción del rascador se partió de que la pala rascadora mediría 100 mm (suponiéndola recta). Si se introduce este dato en una función logarítmica simple de la forma $f(x)=\ln x$ se tiene una figura como la siguiente:

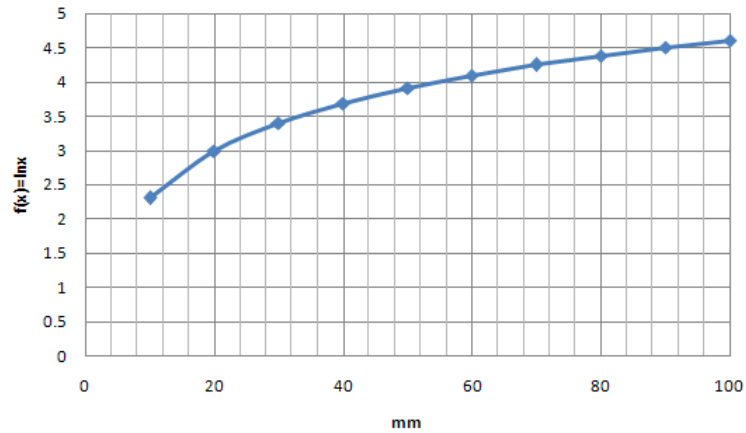


Figura 29. Construcción geométrica del rascador.

Si se toma la configuración que describe la ecuación de la figura anterior, se tiene que los ángulos se comportaron de la siguiente manera:

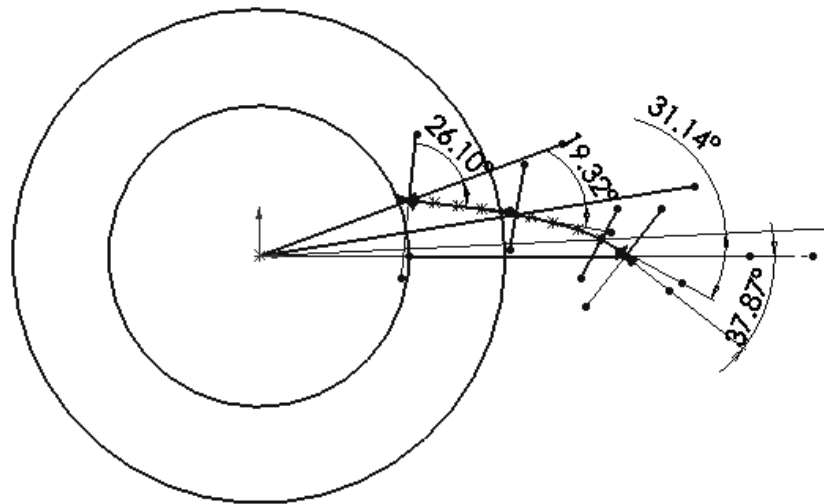


Figura 30. Esquema de la función logarítmica.

De la figura 30 se deduce que el comportamiento de los ángulos va decreciendo hasta llegar al punto número cinco después del cual los ángulos crecen, lo que contradice lo estipulado por la teoría.

Para solucionar lo anterior se optó por eliminar la trayectoria logarítmica del punto cuatro al uno y trazar una línea recta desde el punto cinco hasta el último punto, lo cual generó la figura 31:

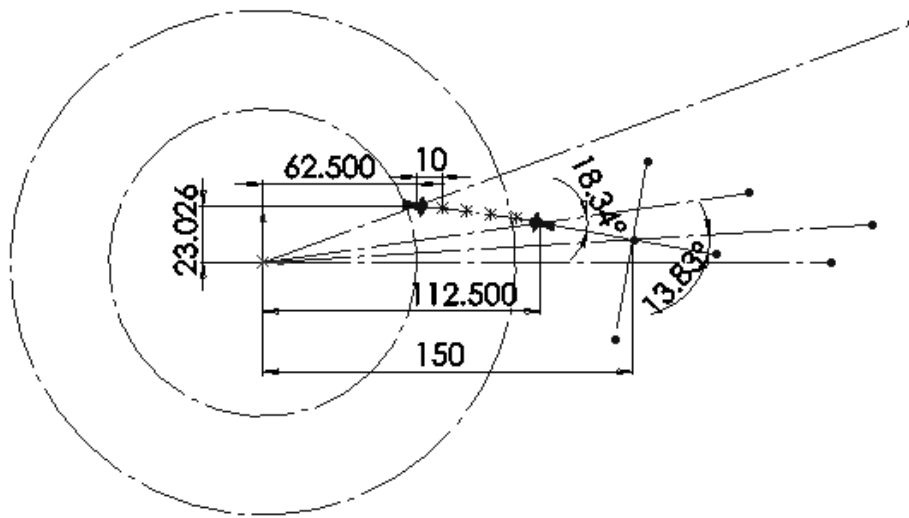


Figura 31. Esquema de la nueva forma del dedo.

De la figura anterior se tuvo que el comportamiento de los ángulos es el correcto y con esto aseguró un desplazamiento adecuado del fertilizante a lo largo del rascador.

El plato rascador proyectado tuvo un total de 12 dedos con un sentido de rotación anti horario. Todos los dedos con una altura de 20 mm.

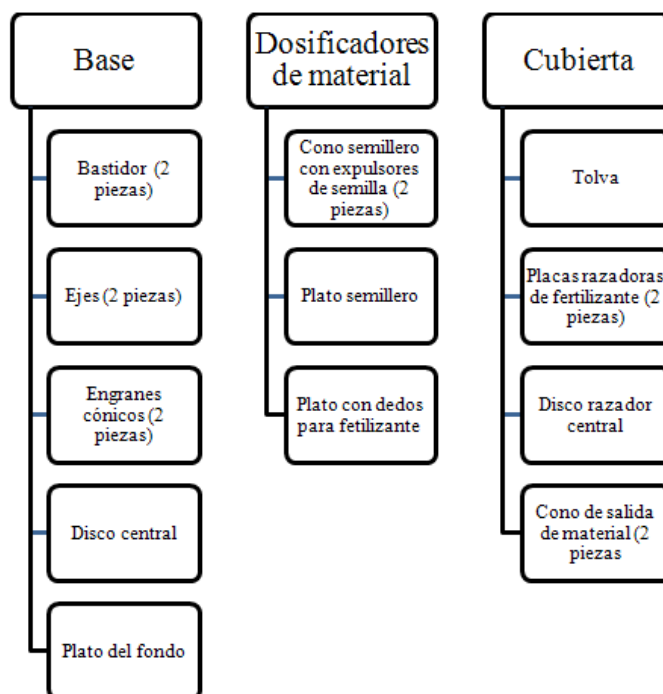
El área del orificio de salida del material debe ser de 95 mm^2 como mínimo para asegurar la salida de todo el material que arrastre el rascador.

La velocidad periférica del plato dosificador de semilla de 16 celdas fue de 0.55 m/s la cual se encuentra por debajo del valor de 0.73 m/s establecido por la literatura.

3.4. Construcción del dosificador versátil.

El dispositivo dosificador diseñado está integrado por un total de veintidós piezas, las cuales se dividieron en tres grupos de ensambles que se muestran a continuación:

Cuadro 8. Grupos de ensambles del dispositivo dosificador versátil.



- **Base**

- **El bastidor** está integrado por dos piezas que son el soporte general y un larguero móvil, ambos contruidos con solera de 50.8 mm. Estos elementos son los encargados de sostener el resto de los conjuntos de piezas.



Figura 32. Vista del ensamble de la base

- **Los ejes** fueron maquinadas en acero comercial (AISI 1018 cold roll).



Figura 33. Eje horizontal y vertical.

- **Los engranes** fueron los mencionados en resultados. A estas piezas se les maquinaron los orificios para las chavetas así como los opresores para estas.



Figura 34. Juego de engranes cónicos.

- **El disco central**, el cual es el encargado de dar movimiento a los platos semillero y fertilizador.



Figura 35. Disco central y seguro de los platos dosificadores.

- **El plato del fondo**, como su nombre lo indica, es el asiento del material a dosificar. Esta pieza cuenta con los dos orificios necesarios para satisfacer el requerimiento de sembrar o fertilizar en dos hileras.



Figura 36. Plato del fondo de la tolva.

- **Dosificadores de material**

- **El cono semillero** tiene la función de reducir el diámetro del fondo de la tolva y así ayudar al plato semillero a conducir la semilla de una manera adecuada.



Figura 37. Cono semillero.

- **El plato semillero** es el disco encargado de conducir la semilla hasta los orificios de salida, el cual tiene un total de 16 celdas. Cabe mencionar que el plato semillero es un plato comercial modificado.



Figura 38. Plato semillero comercial con 16 celdas.

- **El plato con dedos de fertilizante** tiene la capacidad de dosificar fertilizante de una manera adecuada gracias a la configuración curva de sus paletas.

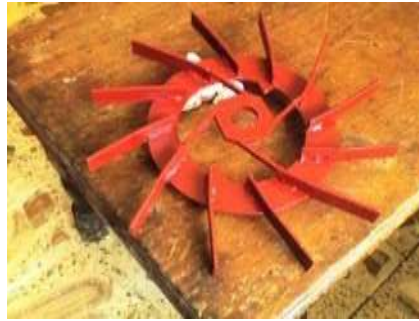


Figura 39. Plato dosificador de fertilizante

- **Cubierta.**

- **La tolva** fue construida con una inclinación en sus paredes de 85° para facilitar el flujo del material dentro de ella.

Además de lo anterior, la tolva cuenta con una abertura para que el operador pueda verificar el contenido de la misma.

Ya montada, la tolva tiene una capacidad de 40 kg de fertilizante y 26 kg de semilla de maíz.



Figura 40. Vista de la cubierta del dispositivo dosificador.

- **Las placas razadoras y el plato razador** están dentro de la tolva durante la dosificación del fertilizante y son retiradas durante la dosificación de la semilla. Estas piezas tienen la función de eliminar el exceso del material al momento de llegar a la salida, así como evitar que el flujo de fertilizante salga sin control por efecto de la gravedad.

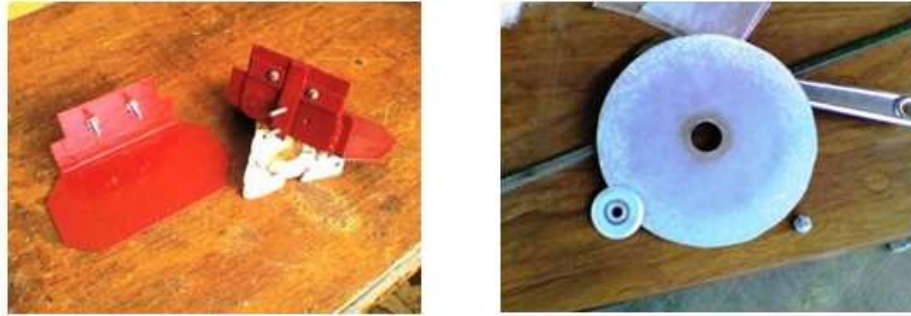


Figura 41. Placas razadoras y plato razador.

- **Los conos de salida de material** se montan en la parte inferior de la tolva, justo debajo del plato del fondo. Su función es la de recibir el material que sale de la tolva.



Figura 42. Conos de salida del material dosificado.

Para una mejor comprensión de la distribución de las piezas, a continuación se muestra un ensamble general de la máquina tanto en su configuración de dosificación de semilla, como de fertilizante:

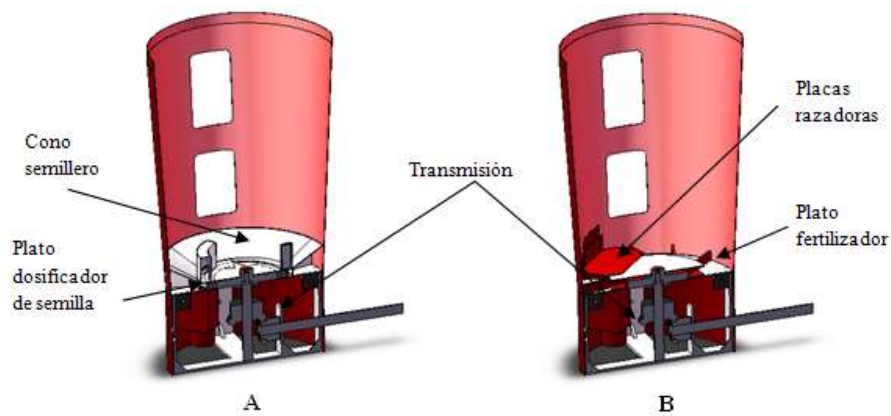


Figura 43. Ensamble del dispositivo dosificador de maíz (A) y fertilizante (B)

La estructura del dosificador está integrada por 17 piezas básicas de las cuales al dosificar el maíz se instala el cono semillero y el plato dosificador de semilla (figura 43A), los cuales se cambian por el plato fertilizador y las 2 placas razadoras en la configuración para dosificar fertilizante (figura 43B).

3.5. Características de los materiales de prueba.

Las características del superfosfato de calcio triple utilizado durante la prueba se muestran a continuación:

Cuadro 9. Contenido de humedad del fertilizante

Peso de fertilizante húmedo (g)	Peso de fertilizante seco (g)	Peso de la tara (g)	Diferencia de peso sin tara (g)	% de humedad
158.6	157.6	28.5	1.00	0.77%
152.4	151.4	28.2	1.00	0.81%
166.0	164.9	27.9	1.00	0.79%
Promedio				0.79%

La densidad del fertilizante tuvo un valor de 1.17 kg/L

Los resultados de la caracterización de la semilla utilizada en la prueba se muestran a continuación:

Cuadro 10. Cantidad de grano dañado e impurezas de la semilla.

Peso de la muestra	100 g
Semilla dañada (g)	Impureza (g)
2.9	0
2.4	0
3.3	0.3
3.7	0
4.2	0

La densidad de la semilla tuvo un valor de 0.69 kg/L, mientras que el peso promedio de 100 semillas fue de 36.72 g, el porcentaje de grano dañado naturalmente del 3.3% y las impurezas naturales tuvieron un valor del 0.06%.

Cuadro 11. Contenido de humedad de la semilla de maíz.

Peso de la semilla húmeda (g)	Peso de la semilla seca (g)	Peso de la tara (g)	Diferencia de peso sin tara (g)	% de humedad
119.2	114.6	27.9	4.60	5.04%
120.6	115.8	27.9	4.80	5.18%
119.1	114.6	28.5	4.50	4.97%
Promedio				5.06%

Los promedios de largo, ancho y espesor de la semilla tuvieron un valor de 13.44mm x 8.48mm x 4.71mm. Los datos completos se muestran en el anexo 7.

3.6. Resultados de las pruebas del dosificador versátil.

Una vez terminadas las pruebas al dispositivo, se realizó el análisis de los datos obtenidos para comprender las características del funcionamiento del dispositivo dosificador y compararlas con estándares establecidos. Para realizar el análisis de la de varianza de los datos, se utilizó el software SAS System 9 (Rebolledo, 2002).

3.6.1. Dosis de fertilizante.

En el análisis de los resultados del fertilizante se encontró que existía, además de la dosificación total de la tolva, un parámetro que fue la cantidad de fertilizante dosificada por salida y la relación que tiene con las fuentes de variación.

Para ilustrar lo anterior, la siguiente gráfica muestra el comportamiento de la dosificación de fertilizante por salida.



Figura 44. Comportamiento de la dosificación del fertilizante por salida.

La figura 44 muestra que existe una dosificación de material dividida en tres regiones definidas por la velocidad de avance de la máquina que es la fuente de variación que determina la entrega del material.

En el caso particular de las salidas, la variación que existe en la dosis entre ellas y su relación con la velocidad de avance se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Coeficiente de variación de la dosis de fertilizante entre salidas.

Velocidad (m/s)	Promedio salida 1 (kg/ 15s)	Promedio salida 2 (kg/15s)	Variación (%)
1.55	1.75	1.79	5.59
1.94	2.17	2.15	5.78
2.33	2.67	2.68	5.34

Como se observa, el mayor coeficiente de variación es de un valor de 5.78%, el cual se encontró por debajo del 10% de variación entre salidas permitido por la norma NMX-O-168-SCFI-2002.

El análisis de varianza de los datos de dosificación total de fertilizante (fe) de la tolva se muestra en el cuadro 13:

Cuadro 13. Análisis de la varianza para la variable dosis de fertilización.

Variable dependiente (fe)					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	35	71.71	2.05	46.31	<.0001
Error	72	3.18	0.04		
Total correcto	107	74.90			
	R-cuadrado	Coef Var	Desv Est	fe Media	
	0.96	4.75	0.21	4.43	

Donde
DF= grados de libertad

Las pruebas de Tukey para los datos de la dosificación de fertilizante se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 14. Pruebas de Tukey para llenado de tolva (Ll), ángulo de inclinación (AI) y velocidad de avance (VA) sobre la variable dosis de fertilización.

Fuente de variación		Media		
Llenado de la tolvas	50%	4.52	a	
	25%	4.48	a	
	100%	4.40	a	b
	75%	4.31		b
DMS $_{0.05} = 0.1506$				
Angulo de inclinación	10°	4.57	a	
	5°	4.50	a	
	0°	4.20		b
DMS $_{0.05} = 0.1186$				
Velocidad de avance	2.33 m/s	5.42	a	
	1.94 m/s	4.31	b	
	1.55 m/s	3.54	c	
DMS $_{0.05} = 0.1186$				

Del cuadro 14 se encontró que el llenado de tolva de 50% tuvo la media más alta, con una diferencia de 0.75%, 2.59% y 4.43% con los llenados de 25%, 100% y 75% respectivamente, existiendo una diferencia entre estos dos últimos de 1.91%.

Para el caso del ángulo de inclinación, se encontró que fue con el ángulo de inclinación de 10° que se tuvo la media más alta, con una diferencia de 1.53% y 8.22% con el ángulo de 5° y 10° respectivamente, mientras que existe una variación entre el ángulo de 5° y 0° de 6.79%.

Con la velocidad de 2.33 m/s se tuvo la media más alta con una diferencia de 20.48% y de 34.69% con las velocidades de 1.94 m/s y 1.56 m/s y una diferencia entre los dos últimos de 17.92%.

Las diferencias en la dosis de fertilizante se pueden representar como la cantidad de fertilizante dosificada por una salida en un metro de recorrido, lo que generó una dosificación de 74.05 g/m a 1.55 m/s, 76.13 g/m a 1.94 m/s y 77.54 g/m a 2.33 m/s.

Como análisis adicional se realizó un estudio para determinar cómo afectaba cada fuente de variación de manera individual, tal y como se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Análisis de varianza por fuente de variación sobre la variable dosis de fertilización.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Ll	3	0.65	0.22	4.91	0.0037
AI	2	2.87	1.44	32.49	<.0001
VA	2	64.59	32.29	729.94	<.0001

Donde

DF= grados de libertad

Anova SS= análisis de varianza de la suma de cuadrados.

Del cuadro anterior se estableció que para un nivel de significancia de 1% la variable dosis de fertilización presenta diferencia significativa debido a las fuentes de variación ángulo de inclinación (AI) y a la velocidad de avance (VA). Ahora, para ningún nivel de significancia se presentó diferencia significativa debido al llenado (Ll).

El comportamiento de los datos del experimento se describió por medio de un modelo de regresión múltiple que describe la dosificación del fertilizante de acuerdo a los datos obtenidos. El modelo de regresión múltiple para la dosis de fertilización es el siguiente:

$$Y_f = -0.3628 - [0.0014 * Ll] + [0.0318 * AI] + [2.4444 * VA] + [0.0001 * (Ll * AI)] - [0.0005 * (Ll * VA)]$$

Donde:

Y_f = dosificación de fertilizante (kg/15segundos)

Ll= llenado de la tolva (%)

AI= ángulo de inclinación (grados)

VA= velocidad de avance de la máquina (m/s)

Este modelo está caracterizado por un coeficiente de variación $CV= 6.39$ y una $R^2= 0.89$.

La prueba de dosificación por desplazamiento sirvió para comprobar la calidad con la que el dispositivo coloca el material en el terreno y comprobar que no existieran zonas a lo largo del recorrido donde no se depositara material o en otras donde se coloque en exceso.

La prueba dio como resultado una dosificación de fertilizante promedio de 68.47 g/m por salida.



Figura 45. Dosificación de fertilizante.

3.6.2. Dosis de semilla.

De la misma manera que en el caso del fertilizante, aquí se realizó un estudio de la dosificación de semilla por salida y la relación que tuvo con las fuentes de variación.

En la siguiente figura se observa mejor el comportamiento de la dosificación de semilla por salida obtenida en la prueba:



Figura 46. Comportamiento de la dosificación de semilla por salida.

En la figura 46, se observaron claramente tres zonas de dosificación definidas por la velocidad de avance.

Al mismo tiempo, se observó que la dosificación por salida se mantiene constante sin importar los diferentes ángulos y los llenados de la tolva, siendo la velocidad el parámetro que determinó el número de semillas.

El coeficiente de variación entre salidas, estuvo sujeto al mismo estándar establecido en la norma citada, por lo que se construyo el siguiente cuadro con los datos de la semilla:

Cuadro 16. Coeficiente de variación de la dosificación de semilla entre salidas.

Velocidad (m/s)	Promedio salida 1 (kg/15s)	Promedio salida 2 (kg/15s)	Coeficiente de variación de los datos (%)
1.55	131	132	1.97
1.94	163	166	2.77
2.33	195	193	1.81

Del cuadro 16 se encontró que el coeficiente de variación más alto fue de 2.77% lo cual se encuentro por debajo del límite establecido por la norma.

El análisis de la varianza de los datos de dosificación de la semilla (sem) se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 17. Análisis de la varianza para la variable dosis de semilla por la tolva.

Variable dependiente (sem)					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	35	288059.88	8230.28	110.60	<0.0001
Error	72	5358	74.4167		
Total correcto	107	293417.88			
	R-cuadrado	Coef Var	Desv Est	sem Media	
	0.98	2.64	8.63	326.60	

Donde
DF= grados de libertad

Las pruebas de Tukey para analizar las medias de la dosificación de semilla sometida a las fuentes de variación tuvieron los siguientes datos:

Cuadro 18. Pruebas de Tukey para llenado de tolva (Ll), ángulo de inclinación (AI) y velocidad de avance (VA) sobre la variable dosificación de semilla.

Fuente de variación		Media		
Llenado de la tolvas	50%	329	a	
	25%	326	a	
	75%	326	a	
	100%	325	a	
DMS _{0.05} = 6.175				
Angulo de inclinación	0°	333	a	
	5°	324		b
	10°	323		b
DMS _{0.05} = 4.8659				
Velocidad de avance	2.33 m/s	388	a	
	1.94 m/s	329	b	
	1.55 m/s	263	c	
DMS _{0.05} = 4.8659				

Del cuadro 18 se encontró que el llenado de tolva de 50% se tuvo la media más alta, con una diferencia de 0.69%, 1.06% y 1.28% con los llenados de 25%, 75% y 100% respectivamente.

Para el ángulo de inclinación se encontró que fue el ángulo de 0° que se tuvo la media más alta, con una diferencia de 2.67% y de 3.04% con los ángulos de 5° y 10° respectivamente, existiendo una diferencia entre los dos últimos de 0.39%. Estos valores se encuentran dentro del porcentaje de variación por efecto del cambio de ángulo a 10° permitido por la norma NMX-O-168-SCFI-2002.

La velocidad de avance presentó la media más alta a 2.33 m/s lo que dio una diferencia de 15.24% y de 32.21% con las velocidades de 1.94 m/s y 1.56 m/s respectivamente, existiendo una diferencia entre los dos últimos de 20.14%.

Esta dosificación se llevó a la forma de número de semillas por metro lo cual da como resultado una dosificación promedio de 11 semillas/m (cinco por hilera) para las tres velocidades de prueba.

El porcentaje de grano dañado por la máquina tuvo un valor promedio del 2.81% ya descontando el porcentaje de grano dañado naturalmente. Este porcentaje se encuentra por debajo del 5% establecido por la norma NMX-O-168-SCFI-2002.

El análisis para determinar cómo afectaban las fuentes de variación a la dosificación de semilla se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. Análisis de varianza por fuente de variación sobre la variable dosificación de semilla.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
LI	3	277.06	92.35	1.24	0.3012
AI	2	2200.46	1100.23	14.78	<0.0001
VA	2	283306.13	141653.06	1903.51	<0.0001

Donde

DF= grados de libertad

Anova SS= análisis de varianza de la suma de cuadrados.

Del cuadro 19 se estableció que para un nivel de significancia del 1%, la variable dosis de fertilización presenta diferencia significativa debido a las fuentes de variación ángulo de inclinación (AI) y velocidad de avance (VA). Ahora, para ningún nivel de significancia se presentó diferencia significativa debido al llenado (LI).

De igual manera que para el fertilizante, se construyó un modelo matemático que describió la dosificación de semilla bajo la acción de las diversas fuentes de variación. El modelo se muestra a continuación:

$$Y_s = 13.5171 + [0.1006 * LI] - [1.2667 * AI] + [165.5983 * VA] \\ + [0.004 * (LI * AI)] - [0.0775 * (LI * VA)]$$

El modelo de regresión múltiple, tuvo un CV= 2.78 y una R²= 0.97.

La prueba de dosificación por desplazamiento para semilla dio como resultado una dosificación promedio por salida de 5 semillas por metro (sin duplicidad de semillas por golpe) a una distancia de 20 cm entre semillas e hileras.

Lo anterior coincidió con lo establecido por Luque (2008), ya que con estos valores se obtiene una población de aproximadamente 125 mil semillas por hectárea en camas de siembra de 80 cm y separación entre hileras de entre 20 y 60 cm.



Figura 47. Dosificación de semilla.

La dosis de la semilla se puede variar por medio del cambio del plato semillero tal y como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 20. Número de semillas por metro.

Número de celdas	Velocidad de avance de la máquina (m/s)			Separación entre semillas
	1.55	1.94	2.33	
14	4	4	4	25
16	5	5	5	20
18	6	6	6	17
20	7	7	7	14
22	8	8	8	13

3.7. Indicadores económicos del dosificador versátil.

El estudio económico del dispositivo dio una idea general de la conveniencia de la modificación de la sembradora versátil original con el dispositivo dosificador versátil así como las posibilidades del pago de la deuda que se contraería al llevar a cabo el proyecto.

3.7.1. Costos fijos y costos variables.

Los costos fijos y variables del proyecto con la máquina sembradora versátil modificada, la sembradora versátil original y la maquinaria comercial propuestas se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 21. Costos fijos del proyecto con diferentes máquinas sembradoras.

Sembradora versátil modificada.				
Concepto	Unidad	Cantidad	C.U (\$)	Total (\$)
Máquina sembradora versátil.	Lote	1	40000	40000
Operación de barbecho.	\$/ha	1	900	900
Operación de rastreo.	\$/ha	1	800	800
Operación de nivelación.	\$/ha	1	800	800
Canalización de cabeceras.	\$/ha	1	700	700
Total.				43200
Sembradoras comerciales.				
Concepto	Unidad	Cantidad	C.U (\$)	Total (\$)
Máquina sembradora comercial para maíz en doble hilera.	Lote	1	84331.81	84331.81
Máquina sembradora comercial para trigo.	Lote	1	106084.16	106084.16
Operación de barbecho.	\$/ha	1	900	900
Operación de rastreo.	\$/ha	1	800	800
Operación de nivelación.	\$/ha	1	800	800
Canalización de cabeceras.	\$/ha	1	700	700
Total				193615.97
Sembradora versátil original.				
Máquina sembradora versátil original.	Lote	1	30000	30000
Máquina fertilizadora comercial.	Lote	1	42971.64	42971.64
Operación de barbecho.	\$/ha	1	900	900
Operación de rastreo.	\$/ha	1	800	800
Operación de nivelación.	\$/ha	1	800	800
Canalización de cabeceras.	\$/ha	1	700	700
Total				76171.64

Los costos variables para el experimento fueron los mismos para las tres propuestas de maquinaria, solo que en el caso de la versátil original se añadió una labor de fertilización con un costo de \$600, el cual se debe sumar al resultado del cuadro 22:

Cuadro 22. Costos variables del proyecto con diferentes máquinas sembradoras.

Costos variables				
Operación de siembra.	\$/ha	2	600	1200
Aplicación de herbicida.	\$/ha	2	700	1400
Aplicación de plaguicidas.	\$/ha	2	700	1400
Cosecha	\$/ha	2	800	1600
Flete	\$/viaje	2	600	1200
Semilla de maíz. *	Costal	3	2000	6000
Semilla de trigo.	Kg/ha	180	7.50	1350
Fertilizante urea.	Kg/ha	100	8.50	850
Riego. **	\$/ha	12	480	5760
Limpieza de canales	\$/ha	2	600	1200
Mano de obra. ***	Lote	2	18000	36000
Total				57960

*Costal con 60 000 semillas.

**Considerando un riego al momento de la siembra y cinco riegos de auxilio para cada cultivo. Los riegos tienen un costo de bombeo de \$80 por hora considerando que una hectárea se riega en un promedio de seis horas.

***Considerando atención diaria al cultivo siendo un total de 240 días repartidos entre ambos cultivos, con un precio del jornal de \$150 diarios.

Las tarifas de las operaciones agronómicas son por hectárea y todas incluyen el costo del operador, las máquinas (tractor e implemento) y el diesel, excepto la operación de siembra ya que en ella se descuenta el costo de la máquina.

3.7.2. Cálculo de la TR.

De los cuadros 21 y 22 se encontraron los siguientes costos y beneficios:

Cuadro 23. Resumen de costos y beneficios del proyecto.

Concepto	Sembradora versátil modificada (\$)	Sembradora Comerciales (\$)	Sembradora versátil original (\$)
Costo total inicial para establecer el ciclo de siembra de maíz	73905	224320.97 ²	106876.64 ³
Costo para establecer el ciclo de siembra de trigo.	27255	27255	27855
Ganancia por la venta del maíz al final del ciclo (120 días).	8369 ¹	8369 ¹	7769 ¹
Ganancia por la venta del trigo al final del ciclo (120 días).	25070 ¹	25070 ¹	25070 ¹

1) Ya descontando el costo de establecimiento del siguiente cultivo.

2) Incluido el costo de la sembradora de grano fino y la sembradora a doble surco de maíz.

3) Incluye el costo de la sembradora versátil original y de la máquina fertilizadora

El cálculo del $CAUE_I$ y de la TR para las diferentes propuestas de proyecto se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 24. Tasa de rendimiento de los diferentes proyectos de siembra.

Concepto	Sembradora versátil modificada	Sembradora Comerciales	Sembradora versátil original
CAUE_I (\$)	42442.72	42442.72	41569.72
TR (%)	56.79	13.66	37.26

Del cuadro 24 se observó que las tres propuestas de maquinaria cumplieron con la condición $TR > TMAR$.

De lo anterior se hizo evidente que la mejor opción es la del proyecto con la sembradora versátil modificada pues es la que tuvo la TR mas alta.

3.7.3. Proceso de pago de la deuda de la opción seleccionada.

El flujo de capital para el pago de la deuda en el periodo de 10 años del proyecto de la sembradora versátil modificada se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 25. Proceso de pago de deuda del proyecto.

Año	Flujo de caja	inv no recuperada al inicio del año	rendimiento de la inv no rec	pago de la inv al final del año	inv no rec al final del año
0	-73905				
1	42442.7	73905	41969.858	472.862	73432.138
2	42442.7	73432.138	41701.325	741.395	72690.744
3	42442.7	72690.744	41280.295	1162.425	71528.319
4	42442.7	71528.319	40620.167	1822.553	69705.766
5	42442.7	69705.766	39585.159	2857.561	66848.205
6	42442.7	66848.205	37962.380	4480.340	62367.865
7	42442.7	62367.865	35418.043	7024.677	55343.188
8	42442.7	55343.188	31428.804	11013.916	44329.272
9	42442.7	44329.272	25174.119	17268.601	27060.671
10	42442.7	27060.671	15367.465	27075.255	-14.584
		TOTAL	350507.616		

En la columna cuatro del cuadro 25 se observó que el rendimiento total del préstamo durante los cinco años fue de \$350507.62, el cual es menor que los \$43448.75 por año (58.79% de rendimiento sobre el préstamo original), mientras que en la columna 6, al final de los 10 años ya se pago el préstamo.

3.7.4. Depreciación de la maquinaria seleccionada.

Del cuadro 3 se tomaron los porcentajes de depreciación para otras máquinas con lo cual se generó el siguiente cuadro de resultados:

Cuadro 26. Depreciación de la sembradora versátil modificada.

Año	Costo (\$)	% Depreciación	Depreciación	Valor en libros (\$)
0				40000
1	40000	26	10400.000	29600
2	40000	6	2400.000	27200
3	40000	6	2400.000	24800
4	40000	6	2400.000	22400
5	40000	4	1600.000	20800
6	40000	4	1600.000	19200
7	40000	4	1600.000	17600
8	40000	6	2400.000	15200
9	40000	4	1600.000	13600
10	40000	4	1600.000	12000

Observando el cuadro 26 se encontró que la mayor depreciación de la máquina ocurre durante el primer año de trabajo. Además de esto, se encontró que al final del periodo de evaluación (10 años) se tuvo un valor de salvamento (o reventa) de \$12000.

Pero como se mencionó en su momento, este método de depreciación da un valor muy general de la maquinaria al final de su vida útil, por lo que se aplico el método del SDD como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 27. Programa de depreciación por saldo doble decreciente.

Año	Depreciación anual (\$)	Valor en libros después del cargo (\$)
0		40000
1	8000	32000
2	6400	25600
3	5120	20480
4	4096	16384
5	3276.8	13107.2
6	2621.44	10485.76
7	2097.15	8388.61
8	1677.72	6710.89
9	1342.18	5368.71
10	1073.74	4294.97

Como se observa en el cuadro 27, el valor de depreciación por el saldo doble decreciente al final del periodo de 10 años es de \$4294.97, siendo mucho menor que el valor generado en el primer método de depreciación planteado el cual fue de \$12000.

Los cálculos anteriores se pueden utilizar de la siguiente manera: se toma el valor de \$12000 como el valor de recuperación que se desea obtener al final de la explotación, para luego regresar al cálculo del SDD y observar, de una manera más exacta, que la sembradora versátil modificada se depreció al valor de recuperación en un periodo de 5 años.

Con lo planteado anteriormente, se puede escoger entre dos posibles soluciones:

1. Al cabo de los cinco años vender la máquina por el valor de salvamento que se genera y reinvertir ese dinero en la construcción de otro equipo con características explotativas superiores.
2. Si no se tiene una opción mejor de implemento, se puede dejar que la sembradora trabaje su periodo de 10 años y venderla por el valor obtenido de \$4294.97 al final del periodo y realizar una inversión como la inicial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La dosificación de la semilla y/o el fertilizante se realiza a doble hilera sobre la cama de siembra solo con la modificación de dos piezas del interior se la tolva.

Las pruebas de banco indicaron que la entrega de fertilizante y semilla de maíz a doble hilera tuvo una variación máxima entre salidas del 5.78% para fertilizante y 2.77% para el maíz, con un porcentaje de grano dañado por la máquina del 2.81%.

Así mismo, de las pruebas se encontró que para la dosificación de fertilizante existen diferencias significativas mayores al 5% en debido al llenado de tolva al 75%, en el ángulo de 0° y en las tres velocidades de avance, mientras que para la semilla se encontró diferencia mínima significativa en la dosificación mayor al 5% en el ángulo de 0° y entre las tres velocidades de avance.

Las pruebas de campo indicaron una dosificación a la velocidad normal de trabajo de 5 semillas/m por salida con una semilla por golpe y una dosificación de fertilizante de 68.47 g/m por salida en una franja homogénea a lo largo del recorrido.

Los modelos matemáticos calculados a partir de las pruebas de banco describen el comportamiento del dosificador bajo la acción de las fuentes de variación con unos valores de $R^2 = 0.97$ para la dosificación del maíz y $R^2 = 0.89$ para el fertilizante con lo que se predice el resultado de la dosificación sin necesidad de llevar la máquina al campo de una manera precisa.

Los indicadores económicos mostraron un claro beneficio al realizar la modificación de la sembradora versátil original con el dosificador diseñado generando una tasa de rendimiento del 56.79 % lo que genera un CAUE_I de \$42442.72 al año en el proyecto de explotación de 10 años, lapso en el cual es cubierta la inversión inicial.

El proceso de depreciación ofrece la opción de invertir en otra máquina con características superiores o continuar la explotación con la misma máquina pues se proponen valores de rescate a los 5 años de \$12000 o siguiendo el método de saldo doble decreciente de \$4294.97 al final de los 10 años

Como recomendación, se sugiere incorporar a la estructura del dosificador unas compuertas que regulen la salida de material de la tolva para poder controlar de mejor manera el flujo del fertilizante, además de estudiar un nuevo sistema de transmisión que abarate los costos del actual.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físico mecánicas de algunos cultivos

Cultivo	Dimensiones (mm)			Masa 1000 granos (g)	Masa volumétrica (Kg/dm ³)	Densidad (g/cm ³)	Coef. de fricción interno	Coeficiente de fricción externo			Angulo de rozami ento interno
	Largo	ancho	espesor					En madera	En acero	En pavim ento	
Trigo	4.8- 8.6	1.6-4.0	1.5-3.8	20-40	0.76	1.35	0.47	0.4	0.37	0.40	30-33
Maíz	5.5- 13.6	5.0- 11.5	2.5-8.0	286	0.73	1.35	0.53	0.35	0.37	0.42	31
Arroz	5.0- 7.0	2.5-2.8	2.0-2.5	19	0.52	1.15	0.51	0.44	0.37	0.43	---
Chíchar o	4.0- 9.5	4.0-3.0	3.0-9.0	135	0.85	1.40	0.55	0.32	0.37	0.30	28-34
Lenteja	5.2- 8.5	5.0-8.0	2.0-4.0	30	0.80	1.35	---	---	---	---	---
Soya	6.0- 8.0	4.5-8.0	4.0-7.0	186	---	1.18	---	---	---	---	---
Alfalfa	2.3- 2.8	1.1-2.0	0.6-1.3	185	0.8	1.10	---	0.42	---	---	33
Frijol	7.2- 18.5	4.7- 11.0	2.7- 10.0	265	---	1.2	---	0.48	---	---	32

Fuente: Ramírez, 1993.

Anexo 2. Características de los abonos minerales.

			Estado físico	Densidad (kg/L)	Higroscopicidad
Nitrogenados	Amoniacales	Sulfato amónico Cianamida cálcica	Cristalizado Polvo o granulado	1.08 1.00-1.05	Débil Nula
		Fosfato amónico Urea	Cristalizado Granulado	1.00 0.71	Nula Nula
	Nítricos	Nitrato de cal Nitrato sódico	Triturado Cristalizado Cristalizado	1.00 1.25 1.00	Elevada Débil Débil
		Nitrato potásico			
	Amoniaco-nítricos	Nitrato amónico	Granulado	1.25	Alta
Fosfatados		Superfosfato			
		Escorias	Polvo	1.00	Débil
		Fosfatos naturales	Polvo Polvo	2.00 1.28	Débil Nula
Potásicos		Cloruro potásico	Cristalizado	1.00	Débil
		Sulfato potásico	Cristalizado	0.90	Débil

Fuente: Ortiz, 1994

Anexo 3. Propiedades físico-mecánicas de algunos fertilizantes granulares.

	Contenido de humedad. (%)	Masa volumétrica. (kg/m ³)	Angulo de reposo. (grados)	Angulo de ruptura. (grados)	Orificio de auto contención. (mm)
Súper fosfato triple	16	1183.98	31.94	33.69	11.4
Sulfato de amonio	17.4	1082.12	29.38	29.73	9
Urea	2.6618.5	732.76	29.57	33.63	10.62

Fuente: Elizalde, 1993

Anexo 4. Clasificación de los dispositivos dosificadores de semilla en base a la cantidad de semilla que entregan

Dosificadores de semilla				
Mecánicos			Neumáticos	
Mono grano	A chorrillo	Al voleo	Mono grano	Multi-grano
De plato vertical, de plato inclinado, de plato horizontal y de correa	De paletas, rueda dentada y de cilindro acanalado	Centrífugas y en bandas	Por depresión y por presión	Por soplado
Maíz Frijol Judías Cacahuete Garbanzo Haba Calabaza Algodón	Trigo Cebada Avena Arroz Pastos Sorgo Alfalfa	Pastos Arroz Cokia Alfalfa	Maíz Frijol Judías Cacahuete Garbanzo Haba Calabaza Algodón Melón Sadia Chile	Sorgo Zanahoria Cacahuete Algodón Pastos Cokia Cebolla Tomate Calabaza Cilantro Rábano

Anexo 5. Clasificación de los dispositivos dosificadores de fertilizante de acuerdo a su estado y a la forma de entregarlo

Dosificadores de fertilizante							
Fertilizante sólido				Fertilizante líquido		Fert. gaseoso	
Distribuidores por gravedad			Distribuidores centrífugos	Distribuidor neumático	Flujo forzado	Flujo natural	
Tornillo sin fin	Rodillo	Rejilla, cadenas, platos, fondo móvil y tolva central	1 y 2 Discos estrella alimentados por gravedad, 1 y 2 Discos estrella alimentador activo, Tubo oscilante	Rodillo acanalado, rueda dentada	Bomba alta presión, bomba de desplazamiento positivo	Flujo por gravedad	Tanque de alta presión
Fosfato amónico Urea Fosfatos naturales	Sulfato de amonio Cianamida cálcica Nitrato sódico Nitrato potásico Súper fosfato Fosfatos naturales Cloruro potásico Sulfato potásico	Nitrato de cal Nitrato de amonio Fosfato amónico Urea Fosfatos naturales Sulfato de amonio Cianamida cálcica Nitrato sódico Nitrato potásico Súper fosfato Fosfatos naturales Cloruro potásico Sulfato potásico	Sulfato amónico Cianamida cálcica (granular) Fosfato amónico Urea Nitrato sódico Cloruro potásico Sulfato potásico	Sulfato amónico Cianamida cálcica (granular) Fosfato amónico Urea Nitrato sódico Cloruro potásico Sulfato potásico	KNO ₃ (NH ₂) ₂ CO (NH ₄)H ₂ PO ₄		Amoniac o anhidro (NH ₃)

Anexo 6. Datos obtenidos en las pruebas de dosificación de fertilizante

Número de repetición: 1 de 3

Insumo: Súper fosfato de calcio triple

Capacidad de la tolva: 40 kg

PENDIENTE			0°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	3.99	1.70	3.38	1.58	4.95	2.27
		2.29		1.27		2.68
50	4.65	2.50	3.41	1.80	5.14	2.58
		2.15		1.60		2.55
75	4.30	2.06	3.11	1.63	4.85	2.34
		2.24		1.99		2.50
100	4.13	2.09	3.54	1.90	4.92	2.50
		2.05		1.64		2.42
PENDIENTE			5°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.37	1.79	3.39	1.65	5.58	2.62
		2.59		1.75		2.46
50	4.71	2.45	3.33	1.65	5.94	2.41
		2.26		1.73		3.03
75	4.25	2.22	3.22	1.64	5.60	2.71
		2.03		1.58		2.40
100	4.31	2.14	3.32	1.70	5.86	3.03
		2.18		1.62		2.83
PENDIENTE			10°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.29	2.12	3.99	1.98	5.86	2.92
		2.16		2.02		2.94
50	4.21	2.10	3.84	1.92	5.49	2.59
		2.12		1.97		2.90
75	4.25	2.10	3.81	1.97	5.76	2.86
		2.15		1.84		2.90
100	4.27	2.14	3.75	1.87	6.07	3.01
		2.15		1.88		3.06

Los datos obtenidos son en kilogramos de fertilizante en 15 segundos.

Anexo 6. (continuación)

Número de repetición: 2 de 3

Insumo: Súper fosfato de calcio triple

Capacidad de la tolva: 40 kg

PENDIENTE			0°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.35	2.17	3.21	1.55	4.69	2.59
		2.28		1.66		2.11
50	4.24	2.25	3.50	1.25	5.43	2.66
		1.93		1.65		2.77
75	4.02	1.95	2.99	1.54	4.52	2.20
		2.07		1.44		2.22
100	3.93	2.02	3.63	1.92	5.18	2.62
		1.91		1.72		2.56
PENDIENTE			5°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.37	2.55	3.48	1.70	5.87	2.87
		1.83		1.78		3.00
50	4.76	2.45	3.74	1.91	5.66	2.85
		2.30		1.83		2.82
75	4.39	2.17	3.10	1.50	5.78	2.82
		2.22		1.52		2.96
100	4.32	2.16	3.47	1.69	5.57	2.88
		2.16		1.78		2.69
PENDIENTE			10°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.40	2.21	4.01	2.01	5.86	2.98
		2.12		2.00		2.88
50	4.26	2.10	3.79	1.90	5.62	2.99
		2.16		1.89		2.64
75	4.24	2.13	3.83	1.93	4.86	2.00
		2.16		1.90		2.26
100	4.19	2.08	3.80	1.90	5.72	2.97
		2.11		1.90		2.75

Los datos obtenidos son en kilogramos de fertilizante en 15 segundos.

Anexo 6. (continuación)

Número de repetición: 3 de 3

Insumo: Súper fosfato de calcio triple

Capacidad de la tolva: 40 kg

PENDIENTE			0°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.72	2.06	3.77	1.74	5.15	2.65
		2.66		2.04		2.51
50	4.24	2.29	3.54	1.65	5.01	2.45
		1.95		1.89		2.56
75	4.00	2.18	3.65	1.71	5.11	2.50
		1.82		1.94		2.61
100	4.02	2.10	3.47	1.82	4.37	2.16
		1.92		1.65		2.21
PENDIENTE			5°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.38	2.25	3.62	1.86	5.66	2.75
		2.13		1.77		2.91
50	4.42	2.30	3.21	1.52	5.52	2.88
		2.12		1.69		2.64
75	4.60	2.35	3.22	1.58	5.73	2.85
		2.25		1.65		2.87
100	4.38	2.20	3.48	1.76	5.55	2.71
		2.18		1.73		2.84
PENDIENTE			10°			
BLOQUE (llenado en %)	TRATAMIENTO (velocidad en m/s) [km/h]					
	1 944 [7]		1.556 [5.6]		2.333 [8.4]	
25	4.33	2.23	3.72	2.01	5.57	2.91
		2.10		1.71		2.65
50	4.42	2.23	3.90	1.97	5.83	2.90
		2.20		1.98		2.94
75	4.32	2.15	3.40	1.53	5.55	2.55
		2.17		1.88		2.01
100	4.24	2.16	3.83	1.96	5.40	2.64
		2.13		1.89		2.76

Los datos obtenidos son en kilogramos de fertilizante en 15 segundos.

Anexo 7. Dimensiones generales de la semilla sometida a prueba

	Largo	Ancho	Espesor		Largo	Ancho	Espesor
1	13.43	7.91	4.46	51	13.28	8.06	4.51
2	12.39	8.67	4.32	52	14.02	8.50	4.37
3	14.18	8.90	4.64	53	12.47	9.09	4.49
4	12.91	8.68	4.36	54	12.82	9.05	5.29
5	13.42	8.37	5.72	55	13.22	9.21	5.06
6	13.36	8.56	4.92	56	15.05	8.50	4.52
7	13.13	8.71	4.66	57	13.79	7.56	5.20
8	12.20	8.95	4.57	58	14.25	8.54	4.56
9	14.22	8.23	5.08	59	15.03	8.98	4.19
10	15.34	8.75	4.60	60	13.89	9.20	4.27
11	13.75	8.63	5.29	61	13.87	9.00	4.31
12	14.60	8.25	4.79	62	13.34	8.52	6.01
13	14.47	8.72	4.66	63	13.58	8.63	5.07
14	12.57	7.32	4.95	64	12.23	7.93	4.43
15	13.85	8.58	4.52	65	13.14	8.47	4.07
16	12.96	8.90	4.23	66	12.26	8.45	3.41
17	12.84	8.87	4.04	67	13.36	7.84	3.93
18	14.18	9.09	4.12	68	12.83	8.00	3.71
19	13.86	8.50	4.40	69	13.11	8.14	4.86
20	14.14	8.02	4.32	70	12.65	8.70	3.89
21	13.82	8.52	4.10	71	14.28	8.54	5.60
22	12.94	9.18	4.76	72	12.02	8.78	4.98
23	14.03	8.63	4.68	73	13.07	8.12	5.57
24	12.63	8.48	4.72	74	12.01	7.80	4.50
25	13.69	8.36	5.05	75	12.78	7.90	5.26
26	14.29	8.60	5.36	76	13.55	7.82	5.85
27	15.10	8.58	4.23	77	12.81	8.29	4.46
28	12.03	7.59	5.29	78	12.45	9.50	4.48
29	14.07	9.09	3.92	79	14.22	8.39	5.18
30	14.04	9.15	4.80	80	13.32	8.14	6.26
31	12.14	8.13	4.56	81	13.76	8.28	6.39
32	13.82	8.04	4.33	82	12.48	8.59	4.11
33	13.14	8.25	4.17	83	13.87	9.07	4.74
34	13.42	8.74	3.99	84	13.34	9.28	4.43
35	12.85	7.79	5.05	85	13.82	8.40	4.97
36	13.66	7.45	4.83	86	14.28	7.93	5.23
37	13.21	8.39	5.53	87	12.45	8.25	5.02
38	13.89	8.32	5.37	88	13.16	8.00	6.07
39	14.17	8.74	4.72	89	12.57	8.16	4.39
40	14.91	8.92	4.45	90	12.56	8.31	5.57
41	12.82	8.48	4.55	91	12.59	8.37	4.62
42	13.06	8.57	4.37	92	13.49	8.80	4.54
43	14.16	8.61	5.18	93	13.29	7.91	4.43
44	12.98	8.72	4.37	94	12.56	9.03	4.76
45	14.98	8.30	4.19	95	14.64	8.14	6.12
46	13.40	8.03	4.90	96	15.40	8.66	4.65
47	13.57	7.88	4.85	97	12.98	8.46	4.62
48	12.19	8.58	4.58	98	14.02	8.51	3.97
49	13.25	8.58	3.25	99	13.57	8.81	4.46
50	13.21	9.06	4.61	100	13.49	8.72	4.10
Promedio					13.44	8.48	4.71

Anexo 8. Datos obtenidos en la prueba de dosificación de semilla de maíz

A= 0°		V= 60 rpm		Ll= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 175	R/S= 2.1	No. s= 164	R/S= 3.1	No. s= 167
D= 4.8 g	P. m= 68.5 g	D= 1.7 g	P. m= 61.6 g	D= 6.3 g	P. m= 66.1 g
R/S= 1.2	No. s= 172	R/S= 2.2	No. s= 167	R/S= 3.2	No. s= 163
D= 2.5 g	P. m= 65.2 g	D= 4.4 g	P. m= 64.9 g	D= 4.2 g	P. m= 63.9 g
A= 0°		V= 60 rpm		Ll= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 173	R/S= 2.1	No. s= 169	R/S= 3.1	No. s= 164
D= 3.9 g	P. m= 75.4 g	D= 4.9 g	P. m= 62.5 g	D= 6.8 g	P. m= 68.9 g
R/S= 1.2	No. s= 178	R/S= 2.2	No. s= 162	R/S= 3.2	No. s= 176
D= 4.7 g	P. m= 73.9 g	D= 4.3 g	P. m= 67.0 g	D= 5.5 g	P. m= 72.9 g
A= 0°		V= 60 rpm		Ll= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 169	R/S= 2.1	No. s= 167	R/S= 3.1	No. s= 168
D= 6.1 g	P. m= 71.4 g	D= 3.8 g	P. m= 70.4 g	D= 6.5 g	P. m= 69.0 g
R/S= 1.2	No. s= 180	R/S= 2.2	No. s= 177	R/S= 3.2	No. s= 173
D= 2.8 g	P. m= 73.3 g	D= 5.4 g	P. m= 88.4 g	D= 3.4 g	P. m= 80.1 g
A= 0°		V= 60 rpm		Ll= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 160	R/S= 2.1	No. s= 160	R/S= 3.1	No. s= 165
D= 4.5 g	P. m= 179 g	D= 4.4 g	P. m= 65.0 g	D= 4.0 g	P. m= 67.0 g
R/S= 1.2	No. s= 179	R/S= 2.2	No. s= 170	R/S= 3.2	No. s= 182
D= 3.3 g	P. m= 73.5 g	D= 4.2 g	P. m= 69.5 g	D= 4.7 g	P. m= 74.0 g
Peso promedio por salida			69.90 g		
No. de semillas promedio por salida			170		
Grano dañado promedio			3.08 %		

Donde:

A= ángulo de inclinación de la sembradora

Ll= llenado de la tolva

D= grano dañado (g)

P. m= peso de la muestra (g)

V= velocidad de rotación del eje motriz de la sembradora (min^{-1})

R/S= numero de repetición/ salida

No. s=numero de semillas

Anexo 8. (continuación)

A= 0°		V= 48 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 124	R/S= 2.1	No. s= 138	R/S= 3.1	No. s= 137
D= 4.5 g	P. m= 51.3 g	D= 1.5 g	P. m= 64.3 g	D= 4.5 g	P. m= 62.5 g
R/S= 1.2	No. s= 130	R/S= 2.2	No. s= 136	R/S= 3.2	No. s= 137
D= 0.7 g	P. m= 52.6 g	D= 3.1g	P. m= 55.5 g	D= 2.7 g	P. m= 54.9 g
A= 0°		V= 48 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 133	R/S= 2.1	No. s= 136	R/S= 3.1	No. s= 138
D= 0.5 g	P. m= 54.3 g	D= 2.1 g	P. m= 53.9 g	D= 1.9 g	P. m= 57.1 g
R/S= 1.2	No. s= 130	R/S= 2.2	No. s= 137	R/S= 3.2	No. s= 134
D= 1.7 g	P. m= 50.6 g	D= 2.5 g	P. m= 53.4 g	D= 3.2 g	P. m= 57.2 g
A= 0°		V= 48 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 124	R/S= 2.1	No. s= 130	R/S= 3.1	No. s= 132
D= 3.9 g	P. m= 50.5 g	D= 4.6 g	P. m= 56.7 g	D= 3.0 g	P. m= 52.2 g
R/S= 1.2	No. s= 113	R/S= 2.2	No. s= 133	R/S= 3.2	No. s= 138
D= 5.2 g	P. m= 48.6 g	D= 3.2 g	P. m= 56.3 g	D= 7.2 g	P. m= 55.4 g
A= 0°		V= 48 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 135	R/S= 2.1	No. s= 135	R/S= 3.1	No. s= 139
D= 2.1 g	P. m= 56.9	D= 2.0 g	P. m= 57.1 g	D= 3.0 g	P. m= 55.0 g
R/S= 1.2	No. s= 132	R/S= 2.2	No. s= 135	R/S= 3.2	No. s= 140
D= 3.2 g	P. m= 56.3 g	D= 2.4 g	P. m= 56.5 g	D= 3.2 g	P. m= 55.6 g
Peso promedio por salida			55.32 g		
No. de semillas promedio por salida.			133		
Grano dañado promedio			2.12 %		

Anexo 8. (continuación)

A= 0°		V= 72 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 198	R/S= 2.1	No. s= 188	R/S= 3.1	No. s= 205
D= 5.1 g	P. m= 79.5 g	D= 5.0 g	P. m= 77.6 g	D= 4.1 g	P. m= 80.0 g
R/S= 1.2	No. s= 176	R/S= 2.2	No. s= 205	R/S= 3.2	No. s= 202
D= 5.6 g	P. m= 72.7 g	D= 2.0 g	P. m= 80.6	D= 3.1 g	P. m= 80.3 g
A= 0°		V= 72 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 205	R/S= 2.1	No. s= 221	R/S= 3.1	No. s= 195
D= 5.7 g	P. m= 84.1 g	D= 5.0 g	P. m= 86.4 g	D= 4.0 g	P. m= 81.7
R/S= 1.2	No. s= 205	R/S= 2.2	No. s= 210	R/S= 3.2	No. s= 195
D= 5.1 g	P. m= 79.7 g	D= 2.9 g	P. m= 83.0 g	D= 5.6 g	P. m= 79.7 g
A= 0°		V= 72 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 194	R/S= 2.1	No. s= 192	R/S= 3.1	No. s= 213
D= 5.4 g	P. m= 78.6 g	D= 5.3 g	P. m= 78.0 g	D= 4.3 g	P. m= 84.5 g
R/S= 1.2	No. s= 192	R/S= 2.2	No. s= 182	R/S= 3.2	No. s= 198
D= 4.2 g	P. m= 78.0 g	D= 5.2 g	P. m= 74.0 g	D= 4.9 g	P. m= 79.3 g
A= 0°		V= 72 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 184	R/S= 2.1	No. s= 212	R/S= 3.1	No. s= 193
D= 5.9 g	P. m= 76.1 g	D= 5.2 g	P. m= 86.0 g	D= 3.7 g	P. m= 78.5 g
R/S= 1.2	No. s= 180	R/S= 2.2	No. s= 179	R/S= 3.2	No. s= 196
D= 5.0 g	P. m= 73.3 g	D= 4.5 g	P. m= 75.5 g	D= 5.7 g	P. m= 78.4 g
Peso promedio por salida			79.40 g		
No. de semillas promedio por salida			196		
Grano dañado promedio			2.60 %		

Anexo 8. (continuación)

A= 5°		V= 60 rpm		Ll= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 168	R/S= 2.1	No. s= 160	R/S= 3.1	No. s= 160
D= 3.9 g	P. m= 67.7 g	D= 4.6 g	P. m= 62.1 g	D= 4.4 g	P. m= 63.4 g
R/S= 1.2	No. s= 150	R/S= 2.2	No. s= 172	R/S= 3.2	No. s= 174
D= 5.1 g	P. m= 61.0 g	D= 3.5 g	P. m= 67.5 g	D= 4.3 g	P. m= 66.8 g
A= 5°		V= 60 rpm		Ll= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 167	R/S= 2.1	No. s= 161	R/S= 3.1	No. s= 160
D= 5.6 g	P. m= 67.9 g	D= 4.8 g	P. m= 65.4 g	D= 5.5 g	P. m= 65.9 g
R/S= 1.2	No. s= 168	R/S= 2.2	No. s= 157	R/S= 3.2	No. s= 160
D= 3.4 g	P. m= 66.4 g	D= 5.1 g	P. m= 61.2 g	D= 5.6 g	P. m= 65.3 g
A= 5°		V= 60 rpm		Ll= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 161	R/S= 2.1	No. s= 155	R/S= 3.1	No. s= 161
D= 4.3 g	P. m= 63.3 g	D= 5.5 g	P. m= 62.0 g	D= 3.3 g	P. m= 63.0 g
R/S= 1.2	No. s= 158	R/S= 2.2	No. s= 163	R/S= 3.2	No. s= 164
D= 4.0 g	P. m= 59.6 g	D= 4.0 g	P. m= 63.6 g	D= 4.9 g	P. m= 65.3 g
A= 5°		V= 60 rpm		Ll= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 156	R/S= 2.1	No. s= 160	R/S= 3.1	No. s= 165
D= 4.0 g	P. m= 61.4 g	D= 3.1 g	P. m= 61.7 g	D= 4.8 g	P. m= 66.3 g
R/S= 1.2	No. s= 163	R/S= 2.2	No. s= 150	R/S= 3.2	No. s= 161
D= 4.9 g	P. m= 64.8 g	D= 4.6 g	P. m= 59.9 g	D= 3.8 g	P. m= 62.4 g
Peso promedio por salida			63.91 g		
No. de semillas promedio por salida			161		
Grano dañado promedio			3.68 %		

Donde:

A= ángulo de inclinación de la sembradora

Ll= llenado de la tolva

D= grano dañado (g)

P. m= peso de la muestra (g)

V= velocidad de rotación del eje motriz de la sembradora (min^{-1})

R/S= numero de repetición/ salida

No. s=numero de semillas

Anexo 8. (continuación)

A= 5°		V= 48 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 120	R/S= 2.1	No. s= 128	R/S= 3.1	No. s= 132
D= 5.5 g	P. m= 48.6 g	D= 4.5 g	P. m= 51.8 g	D= 3.8 g	P. m= 53.2 g
R/S= 1.2	No. s= 131	R/S= 2.2	No. s= 132	R/S= 3.2	No. s= 137
D= 3.2 g	P. m= 50.4 g	D= 2.6 g	P. m= 51.0 g	D= 2.9 g	P. m= 53.3 g
A= 5°		V= 48 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 136	R/S= 2.1	No. s= 133	R/S= 3.1	No. s= 136
D= 3.4 g	P. m= 53.3 g	D= 4.1 g	P. m= 53.3 g	D= 2.7 g	P. m= 51.6 g
R/S= 1.2	No. s= 125	R/S= 2.2	No. s= 135	R/S= 3.2	No. s= 137
D= 2.9 g	P. m= 46.5 g	D= 4.5 g	P. m= 54.5 g	D= 2.0 g	P. m= 53.7 g
A= 5°		V= 48 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 130	R/S= 2.1	No. s= 132	R/S= 3.1	No. s= 134
D= 5.4 g	P. m= 54.4 g	D= 4.7 g	P. m= 53.4 g	D= 5.2 g	P. m= 55.6 g
R/S= 1.2	No. s= 127	R/S= 2.2	No. s= 137	R/S= 3.2	No. s= 127
D= 2.2 g	P. m= 50.1 g	D= 2.7 g	P. m= 51.4 g	D= 2.6 g	P. m= 51.0 g
A= 5°		V= 48 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 135	R/S= 2.1	No. s= 124	R/S= 3.1	No. s= 129
D= 5.1 g	P. m= 54.4 g	D= 4.1 g	P. m= 49.6 g	D= 4.3 g	P. m= 52.4 g
R/S= 1.2	No. s= 131	R/S= 2.2	No. s= 136	R/S= 3.2	No. s= 134
D= 2.6 g	P. m= 50.7 g	D= 4.8 g	P. m= 54.7 g	D= 1.4 g	P. m= 53.0 g
Peso promedio por salida			52.16 g		
No. de semillas promedio por salida			132		
Grano dañado promedio			3.67 %		

Anexo 8. (continuación)

A= 5°		V= 72 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 191	R/S= 2.1	No. s= 191	R/S= 3.1	No. s= 193
D= 2.6 g	P. m= 71.2 g	D= 7.4 g	P. m= 77.5 g	D= 7.6 g	P. m= 78.5 g
R/S= 1.2	No. s= 194	R/S= 2.2	No. s= 192	R/S= 3.2	No. s= 191
D= 4.1 g	P. m= 74.4 g	D= 4.3 g	P. m= 75.6 g	D= 6.1 g	P. m= 77.1 g
A= 5°		V= 72 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 196	R/S= 2.1	No. s= 189	R/S= 3.1	No. s= 192
D= 6.3 g	P. m= 79.4 g	D= 6.1 g	P. m= 77.2 g	D= 4.4 g	P. m= 73.4 g
R/S= 1.2	No. s= 197	R/S= 2.2	No. s= 193	R/S= 3.2	No. s= 198
D= 4.8 g	P. m= 76.2 g	D= 4.9 g	P. m= 76.7 g	D= 5.6 g	P. m= 78.3 g
A= 5°		V= 72 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 194	R/S= 2.1	No. s= 196	R/S= 3.1	No. s= 197
D= 6.5 g	P. m= 75.3 g	D= 7.7 g	P. m= 78.7 g	D= 4.1 g	P. m= 76.7 g
R/S= 1.2	No. s= 195	R/S= 2.2	No. s= 190	R/S= 3.2	No. s= 190
D= 5.8 g	P. m= 77.0 g	D= 5.8 g	P. m= 74.3 g	D= 8.4 g	P. m= 78.1 g
A= 5°		V= 72 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 192	R/S= 2.1	No. s= 192	R/S= 3.1	No. s= 192
D= 8.1 g	P. m= 78.8 g	D= 7.1 g	P. m= 79.9 g	D= 5.2 g	P. m= 76.3 g
R/S= 1.2	No. s= 192	R/S= 2.2	No. s= 193	R/S= 3.2	No. s= 193
D= 6.9 g	P. m= 82.3 g	D= 8.5 g	P. m= 87.1 g	D= 5.6 g	P. m= 76.4 g
Peso promedio por salida			77.35 g		
No. de semillas promedio por salida			193		
Grano dañado promedio			4.45 %		

Anexo 8. (continuación)

A= 10°		V= 60 rpm		Ll= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 160	R/S= 2.1	No. s= 169	R/S= 3.1	No. s= 160
D= 3.2 g	P. m= 62.3 g	D= 2.6 g	P. m= 64.5 g	D= 2.0 g	P. m= 61.5 g
R/S= 1.2	No. s= 162	R/S= 2.2	No. s= 161	R/S= 3.2	No. s= 162
D= 3.3 g	P. m= 61.9 g	D= 1.8 g	P. m= 60.7 g	D= 1.6 g	P. m= 62.3 g
A= 10°		V= 60 rpm		Ll= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 162	R/S= 2.1	No. s= 159	R/S= 3.1	No. s= 164
D= 5.1 g	P. m= 64.9 g	D= 6.8 g	P. m= 67.1 g	D= 5.4 g	P. m= 63.1 g
R/S= 1.2	No. s= 163	R/S= 2.2	No. s= 162	R/S= 3.2	No. s= 163
D= 3.8 g	P. m= 65.6 g	D= 2.5 g	P. m= 62.9 g	D= 2.3 g	P. m= 62.7 g
A= 10°		V= 60 rpm		Ll= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 162	R/S= 2.1	No. s= 162	R/S= 3.1	No. s= 162
D= 0.9 g	P. m= 60.9 g	D= 3.0 g	P. m= 62.9 g	D= 2.2 g	P. m= 62.2 g
R/S= 1.2	No. s= 157	R/S= 2.2	No. s= 165	R/S= 3.2	No. s= 163
D= 6.2 g	P. m= 65.4 g	D= 1.6 g	P. m= 62.8 g	D= 4.9 g	P. m= 66.2 g
A= 10°		V= 60 rpm		Ll= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 161	R/S= 2.1	No. s= 160	R/S= 3.1	No. s= 162
D= 4.2 g	P. m= 64.6 g	D= 5.0 g	P. m= 64.2 g	D= 2.8 g	P. m= 62.6 g
R/S= 1.2	No. s= 155	R/S= 2.2	No. s= 164	R/S= 3.2	No. s= 165
D= 4.5 g	P. m= 62.3 g	D= 4.0 g	P. m= 62.9 g	D= 3.0 g	P. m= 62.9 g
Peso promedio por salida			63.79 g		
No. de semillas promedio por salida			163		
Grano dañado promedio			0.85 %		

Donde:

A= ángulo de inclinación de la sembradora

Ll= llenado de la tolva

D= grano dañado (g)

P. m= peso de la muestra (g)

V= velocidad de rotación del eje motriz de la sembradora (min^{-1})

R/S= numero de repetición/ salida

No. s=numero de semillas

Anexo 8. (continuación)

A= 10°		V= 48 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 126	R/S= 2.1	No. s= 131	R/S= 3.1	No. s= 130
D= 3.0 g	P. m= 51.2 g	D= 2.3 g	P. m= 52.2 g	D= 4.0 g	P. m= 52.3 g
R/S= 1.2	No. s= 129	R/S= 2.2	No. s= 129	R/S= 3.2	No. s= 133
D= 2.3 g	P. m= 50.5 g	D= 2.8 g	P. m= 51.9 g	D= 2.2 g	P. m= 52.5 g
A= 10°		V= 48 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 130	R/S= 2.1	No. s= 130	R/S= 3.1	No. s= 128
D= 1.6 g	P. m= 50.5 g	D= 2.0 g	P. m= 51.2 g	D= 1.2 g	P. m= 48.3 g
R/S= 1.2	No. s= 129	R/S= 2.2	No. s= 130	R/S= 3.2	No. s= 129
D= 1.6 g	P. m= 50.1 g	D= 1.6 g	P. m= 49.7 g	D= 2.5 g	P. m= 50.7 g
A= 10°		V= 48 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 129	R/S= 2.1	No. s= 129	R/S= 3.1	No. s= 129
D= 2.4 g	P. m= 50.1 g	D= 4.2 g	P. m= 52.4 g	D= 1.7 g	P. m= 49.9 g
R/S= 1.2	No. s= 129	R/S= 2.2	No. s= 128	R/S= 3.2	No. s= 130
D= 3.3 g	P. m= 50.2 g	D= 3.2 g	P. m= 51.5 g	D= 1.3 g	P. m= 50.0 g
A= 10°		V= 48 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 128	R/S= 2.1	No. s= 129	R/S= 3.1	No. s= 129
D= 2.5 g	P. m= 50.4 g	D= 2.5 g	P. m= 50.5 g	D= 1.6 g	P. m= 49.5 g
R/S= 1.2	No. s= 131	R/S= 2.2	No. s= 130	R/S= 3.2	No. s= 129
D= 1.5 g	P. m= 49.8 g	D= 3.2 g	P. m= 51.0 g	D= 4.0 g	P. m= 53.0 g
Peso promedio por salida			50.81g		
No. de semillas promedio por salida			129		
Grano dañado promedio			1.51 %		

Anexo 8. (continuación)

A= 10°		V= 72 rpm		LI= 25%	
R/S= 1.1	No. s= 195	R/S= 2.1	No. s= 191	R/S= 3.1	No. s= 193
D= 8.0 g	P. m= 81.3 g	D= 6.3 g	P. m= 77.2 g	D= 7.4 g	P. m= 79.2 g
R/S= 1.2	No. s= 192	R/S= 2.2	No. s= 193	R/S= 3.2	No. s= 193
D= 5.9 g	P. m= 77.7 g	D= 5.4 g	P. m= 76.6 g	D= 5.0 g	P. m= 76.9 g
A= 10°		V= 72 rpm		LI= 50%	
R/S= 1.1	No. s= 192	R/S= 2.1	No. s= 192	R/S= 3.1	No. s= 192
D= 3.9 g	P. m= 74.5 g	D= 4.4 g	P. m= 74.3 g	D= 2.3 g	P. m= 73.1 g
R/S= 1.2	No. s= 194	R/S= 2.2	No. s= 190	R/S= 3.2	No. s= 191
D= 2.8 g	P. m= 74.3 g	D= 3.5 g	P. m= 73.3 g	D= 2.8 g	P. m= 72.1 g
A= 10°		V= 72 rpm		LI= 75%	
R/S= 1.1	No. s= 193	R/S= 2.1	No. s= 196	R/S= 3.1	No. s= 195
D= 6.2 g	P. m= 76.8 g	D= 6.8 g	P. m= 80.0 g	D= 4.9 g	P. m= 78.5 g
R/S= 1.2	No. s= 192	R/S= 2.2	No. s= 194	R/S= 3.2	No. s= 195
D= 6.1 g	P. m= 79.1 g	D= 5.5 g	P. m= 78.1 g	D= 4.3 g	P. m= 77.9 g
A= 10°		V= 72 rpm		LI= 100%	
R/S= 1.1	No. s= 190	R/S= 2.1	No. s= 192	R/S= 3.1	No. s= 194
D= 5.3 g	P. m= 73.9 g	D= 4.7 g	P. m= 74.4 g	D= 7.3 g	P. m= 80.5 g
R/S= 1.2	No. s= 192	R/S= 2.2	No. s= 193	R/S= 3.2	No. s= 195
D= 4.3 g	P. m= 75.8 g	D= 4.3 g	P. m= 75.3 g	D= 6.9 g	P. m= 79.0 g
Peso promedio por salida			70.66 g		
No. de semillas promedio por salida			193		
Grano dañado promedio			3.30 %		

Anexo 9. Cálculo del modelo de regresión múltiple para la dosificación de fertilizante

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Número de observaciones 108

Variable dependiente: fertilizante

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr>F
Modelo	5	66.73045685	13.34609137	166.64	< 0.0001
Error	102	8.16933111	0.08009148		
Total correcto	107	74.89978796			
	R- cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.890930	6.394108	0.283004	4.426019	

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>f
Ll	1	0.27247574	0.27247574	3.40	0.0680
AI	1	2.54251250	2.54251250	31.75	< 0.0001
VA	1	63.90151250	63.90151250	797.86	< 0.0001
Ll*AI	1	0.01213361	0.01213361	0.15	0.6979
Ll*VA	1	0.00182250	0.00182250	0.02	0.8804

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>f
Ll	1	0.00397468	0.00397468	0.05	0.8242
AI	1	0.30294815	0.30294815	3.78	0.0545
VA	1	10.90613333	10.90613333	136.17	< 0.0001
Ll*AI	1	0.01213361	0.01213361	0.15	0.6979
Ll*VA	1	0.00182250	0.00182250	0.02	0.8804

Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor t	PR > [t]
Término in	-0.362777778	0.41985009	-0.86	0.3896
Ll	-0.001366097	0.00613230	-0.22	0.8242
AI	0.031777778	0.01633927	1.94	0.0545
VA	2.444444444	0.20947777	11.67	< 0.0001
Ll*AI	0.000092889	0.00023865	0.39	0.6979
Ll*VA	-0.000461538	0.00305962	-0.15	0.8804

Ángulo de inclinación en grados

Llenado de la tolva en porciento

Velocidad de avance en m/s

Anexo 10. Cálculo del modelo de regresión múltiple para la dosificación de semilla.

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Número de observaciones 108

Variable dependiente: semilla

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr>F
Modelo	5	285000.7852	57000.1570	690.74	< 0.0001
Error	102	8417.0944	82.5205		
Total correcto	107	293417.8796			
	R- cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.971314	2.781393	9.084081	326.6019	

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>f
Ll	1	73.3352	73.3352	0.89	0.3481
AI	1	1850.3472	1850.3472	22.42	< 0.0001
VA	1	283002.7222	283002.7222	3429.48	< 0.0001
Ll*AI	1	23.0028	23.0028	0.28	0.5987
Ll*VA	1	51.3778	51.3778	0.62	0.4319

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>f
Ll	1	21.56828	21.56828	0.26	0.6103
AI	1	481.33333	481.33333	5.83	0.0175
VA	1	50052.08333	50052.08333	606.54	< 0.0001
Ll*AI	1	23.00278	23.00278	0.28	0.5987
Ll*VA	1	51.37778	51.37778	0.62	0.4319

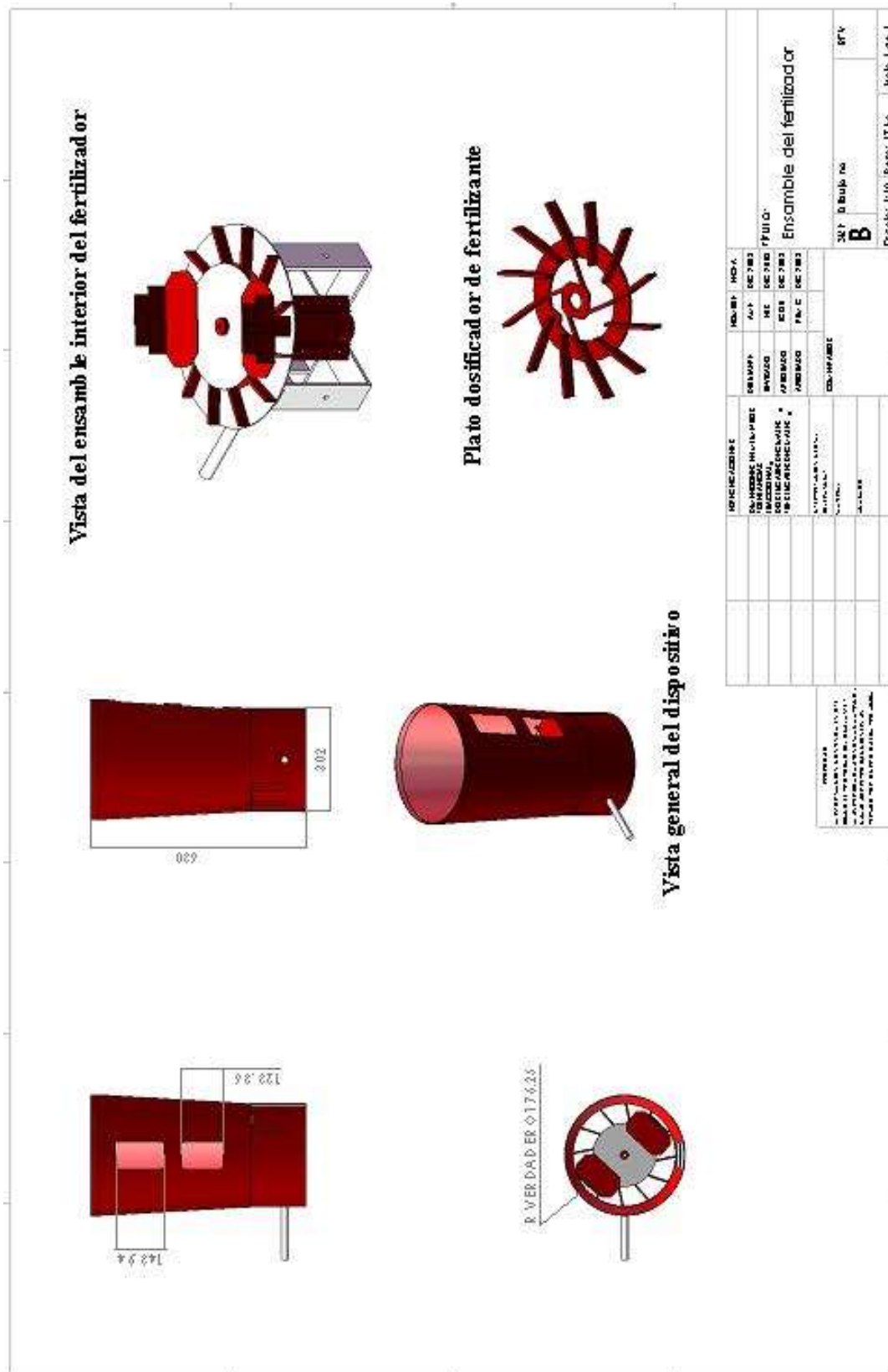
Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor t	PR > [t]
Término in	13.5170940	13.47665485	1.00	0.3182
Ll	0.1006325	0.19683914	0.51	0.6103
AI	-1.2666667	0.52446968	-2.42	0.0175
VA	165.5982906	6.72397026	24.63	< 0.0001
Ll*AI	0.0040444	0.00766037	0.53	0.5987
Ll*VA	-0.0774929	0.09820987	-0.79	0.4319

Ángulo de inclinación en grados

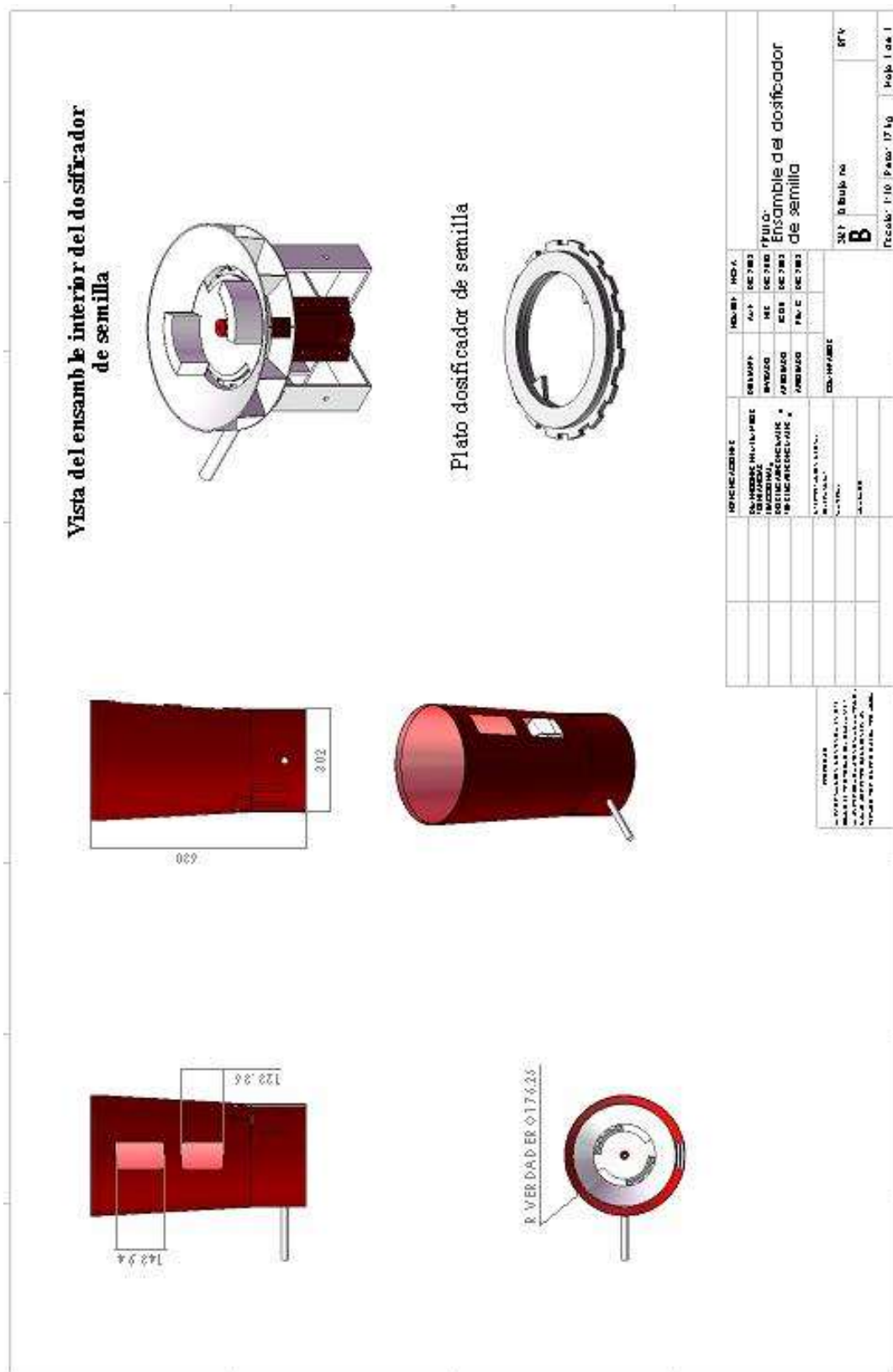
Llenado de la tolva en porciento

Velocidad de avance en m/s

Anexo 11. Ensamble del fertilizador.



Anexo 12. Ensamble del dosificador de semilla



LITERATURA CITADA

Aquino M, P., R J Peña., J I Ortiz M. 2008. México y el CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp: 25-32.

Barragán G, S., O Ramos H., G Villalobos Ll., S Llamas Z., C A Ortega V., J M Garibay C. 2006. Diseño mecánico de un prototipo de sembradora de maíz. Ingeniare-Revista Chilena de Ingeniería. v 14, n.2: 130-134.

Blank, L T. y A. J Tarkin. 1993. Ingeniería económica. 3a ed. Ed. McGRAW-HILL, México. pp: 120-121.

Bracy, R P and Parish, R L. 1998. Seeding uniformity of precision seeders. Hort Technology. v. 8: 182-185.

Candelón, P. 1971. Las máquinas agrícolas. De la Vega, J. I y M Mingot S. (trad). ed. Mundi-Prensa, Madrid. pp: 151-222.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2004. El futuro de los agricultores depende de las camas permanentes. Informe anual del CIMMYT 2002-2003: Innovación para el desarrollo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp: 24-25.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2005. El cultivo en camas elevadas: Los hechos. Informe anual del CIMMYT 2003-2004: Agregar valor para el desarrollo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp: 20-23.

Compañía acerera Fortuna. 1992. Manual de aceros fortuna. Centro de servicio en aceros especiales. 5ª. México. pp: 10-16, 20-21.

Culpin, C. 1984. Maquinaria agrícola. Bernat J, C. (trad). ed. Ediciones Gea, Barcelona. pp: 87-183.

Domínguez, J., M Ressa J., D Jorajuria, H Balbuena R., G Mendivil. 2000. Reología del suelo traficado bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. In. Avances en Ingeniería Agrícola. ed. Facultad de Agronomía. ISBN 950-29-0593-8. pp: 110-115.

Durán G, H. M. 2001. Efecto de las condiciones físicas del suelo y de las rejas de sembradora de cereales en el valor de la fuerza que provoca su roturación pasiva. Interciencia 26, n. 009: 391-393.

Elizalde V, A y C Rojas M. 1993. Desarrollo de un cultivador fertilizador para cultivos en hileras. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 24-27.

FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de suelos, n. 66. Roma Italia.

Flores, R. J. 2007. Pruebas a un prototipo de una sembradora versátil para operar en camas permanentes. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 3-10.

García F, J y R García D. 1983. Maquinas agrícolas. 2ª. Ed. Marcombo Boixareu Editores, Barcelona. pp: 143-171.

Govaerts, B y K D Sayre. 2008. Agricultura de conservación, hacia un proceso integrado de agricultura sostenible. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 8p.

Griffith D, R and S. B Parsons. 2000. Energy requirements for various tillage-planting systems. NCR-202. Purdue University. Cooperative Extension Service. West Lafayette, In 47907: 1-14.

Hunt, D. 2001. Maquinaria agrícola. 10a. ed. Limusa, México. pp: 14, 141-162.

Infante G, S y G. P Zarate de L. 2000. Métodos estadísticos, Un enfoque interdisciplinario. 6ª. ed. Trillas, México. pp: 401-462.

Limón O, A., J. G Ochoa B, R Jiménez R, E Espitia R. 2006. Sistema de siembra en camas permanentes para trigo; equipo de siembra necesario y manejo básico del cultivo. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias, Centro de investigación regional centro. Folleto Técnico 26: 16p.

Liu, W., Tollenar, M., Stewart G., Deen, W. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. Crop Science, v.44: 847-854.

Luque S, E J. 2008. Avanzan en técnica para incrementar producción de maíz. Centro de validación y transferencia de tecnología de Sinaloa A.C., Fundación Produce Sinaloa A.C. México. 3p.

Martínez G, A. 1988. Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. ed. Trillas, México. pp: 44-92, 128-129.

Moreno R, D y A Aragón R. 1991. Adaptación de un nuevo dosificador de semillas sobre la sembradora "Z". In: Memoria del I Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. 25-27 de noviembre. Chapingo, Texcoco Edo. de México.

Mott, R. L. 2006. Diseño de elementos de máquinas. Gonzales y Pozo, V (trad). 4ª. Ed. Pearson, México. pp: 449-490, 530-574.

Musa, B. A. 2006. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. Sci. Agric (Piracicaba, Braz). v. 65, n, 3: 318-322.

Nielsen R, L. 1991. Stand establishment variability in corn. Master dissertation. Purdue University. 10p.

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. Publicado en el diario oficial de la federación en 2002. 23p.

Ortiz- Cañavate, J. 1989 Técnica de la mecanización agraria. 3ª. ed. Mundi-Prensa, Madrid. pp: 251-312.

Ortiz- Cañavate, J. 1993. Las máquinas agrícolas. 4ª. ed. Mundi-Prensa, Madrid. pp: 95-108, 125-146.

Principi, M. A., R Mattana R., P Cardinali O., L Colodro J. 2007. Experimentación de un prototipo para siembra directa de grano fino de soja. Revista de Investigaciones Agropecuaria. v. 36, n. 001: 83-96.

Ramírez M, J. 1993. Diseño de un dosificador para sembradora unitaria. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 3-10.

Rebolledo R, H H. 2002. Manual SAS por computadora. Análisis estadístico de datos experimentales. ed Trillas, México. pp : 52-100, 123-165.

Reinaldo G, L y A Albornoz. 1994. Adaptación experimental de una sembradora para siembra directa. Revista Científica Agronomía Tropical. v. 45, n. 1: 73-84.

Salazar M, R. 1994. Análisis económico en el campo de la ingeniería. Universidad Autónoma Chapingo, México. 198p.

Silveira R, J. A. 1982. Teoría y cálculo de máquinas agrícolas. ed. Pueblo y educación, Ciudad de La Habana, Cuba. pp: 97-165.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

Catálogo de aceros AISI; www.AISI.com

Manual de rodamientos SKF; www.skf.com.mx