



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Evaluación de Modelos de Dosificación  
Mecánicos de Doble Propósito de  
Semilla/Fertilizante para Aplicaciones de Alta  
Precisión.

Por:

**SAUL AVILA LANG**

**T E S I S**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el  
Título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

Evaluación de Modelos de Dosificación Mecánicos de Doble Propósito  
de Semilla/Fertilizante para Aplicaciones de Alta Precisión.

Por:

**SAUL AVILA LANG**

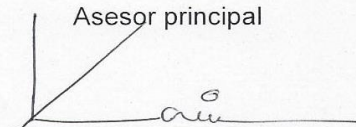
**TESIS**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador  
como requisito parcial para obtener el título de:

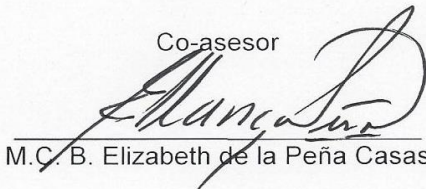
**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobado por el comité de Tesis

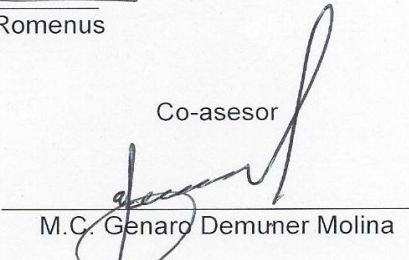
Asesor principal

  
Dr. Karim de Alba Romenus

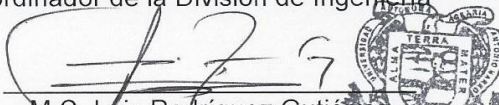
Co-asesor

  
M.C. B. Elizabeth de la Peña Casas

Co-asesor

  
M.C. Genaro Demuner Molina

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"  
Coordinador de la División de Ingeniería

  
M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014  
Coordinador de Ingeniería

## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradezco a Jehová mi Dios porque gracias a él he podido alcanzar esta meta, este propósito, que no fue nada fácil.*

*Como olvidar el día que Dios me dio la oportunidad de regresar al mundo del conocimiento científico, seis años después de que concluí mis estudios en la preparatoria.*

*Aún recuerdo la primera vez que pise la Universidad Antonio Narro, lejos de mi familia, lejos de mi tierra, con poco dinero en los bolsillos, acompañado de mi esposa amada pero alejados de nuestra hija Yasul. Con un corazón valiente que Dios me regaló el día que lo conocí y dispuesto a seguir esforzándome para poderle ofrecerle mejor calidad de vida a mi familia.*

*Para alcanzar la formación que hoy tengo, tuve que renunciar al confort que estaba acostumbrado, ahora ya no había agua caliente y me tenía que bañar con agua fría a media noche, para no dormirme, porque quería absorber todos los conocimientos que mis profesores me transmitían y de esa manera hacer valer el sacrificio que estaba haciendo.*

*Por eso te digo mi Dios que desde el día que te conocí cambiaste radicalmente mi vida y me diste la oportunidad de tener nueva vida; gracias por haber puesto todos los recursos necesarios para que yo pudiera concluir mi carrera profesional, aún y con mis hijas me sacaste adelante; gracias por haberme dado un poquito de tu inmensa inteligencia, sabiduría, conocimiento, paciencia, valentía y fuerza.*

*A mi madre María Lang Báez le agradezco la confianza y el apoyo, me ha demostrado su amor en el trayecto de mi vida corrigiendo mis errores y celebrando mis triunfos, gracias por estar siempre a mi lado cuando los he necesitado, por mostrarme en cada momento tu amor incondicional, tu apoyo y motivación para que estudiara y me desarrollara en todos los*

*aspectos de mi vida, te agradezco por haber cuidado a Yasul mientras yo me encontraba estudiando, gracias por haberme regalado mi laptop que fue de mucha ayuda para realizar mis trabajos, gracias por el apoyo moral y económico que me brindaste te lo agradezco de todo corazón; te amo mamá.*

*Agradezco a mi padre Miguel Ángel Avila García haberme dado la vida, haber tenido la intención de apoyarme económicamente durante mi carrera, gracias por el apoyo moral que siempre me brindaste y lo económico que me diste cuando me vine a la universidad por primera vez.*

*A mis hermanos Ruth y Uriel Avila Lang por ser parte de mi vida, por apoyarme, ayudarme a crecer y madurar juntos.*

*A mis abuelitos el Sr. Agustín Lang y la Sra. Beatriz de Lang gracias a los valores que heredé de ustedes, he podido llevar una vida recta y seguiré luchando por el legado que nos dejaron.*

*A mis, tíos y toda mi familia pero en especial a mi tío Adolfo que aunque ya no está con nosotros siempre me motivo a seguir adelante, me enseñó que la vida siempre se debe de vivir con honestidad y rectitud.*

*A mi Suegra Gloria Bermúdez por todo su apoyo tanto económico como moral, pero sobre todo por apoyarnos cuidando a Yasul cuando nos tuvimos que venir y por siempre velar que a las niñas no les falte nada.*

*A mi esposa por su paciencia, amor y comprensión, amor hoy hemos alcanzado un triunfo más porque los dos somos uno y mis logros son tuyos también; Dios padre nos ha bendecido con amor y nos ha permitido compartir alegrías, tristezas, necesidades, carencias, pero nunca hemos estado solos, Dios siempre ha estado con nosotros y siempre nos hemos tenido uno al otro para fortalecernos y seguir caminando. Hoy Dios está bendiciendo el trabajo de nuestras manos y los sacrificios que hicimos, y sé que seremos guiados por nuestro Señor Jesucristo hacia el éxito porque después de la prueba vendrá la bendición.*

*A mis hijas Yasul Avila Chávez y Yicel Avila Chávez que tuvieron que soportar largas horas sin la compañía de su padre, sin poder entender a su corta edad el por qué prefería estar frente a la computadora o sentado todo el día en una mesa con poca luz o congelándome en tiempo de fríos en la biblioteca y no acostado con ellas o jugando, disfrutando de esas gracias que hacen por primera vez o celebrando sus triunfos de la escuela. A pesar de todo esto, cada vez que podíamos aprovechar los momentos en los que una sola de sus sonrisas me llenaba de ánimo y fuerza para seguir adelante, para que el día de mañana no les falte nada.*

*A mi Alma Mater por abrirme las puertas al conocimiento cuando yo creía que ya no había una oportunidad más, gracias por darme las armas para luchar, gracias por permitirme ser un Ingeniero y por haberme dado la facilidad de ordenar mis conocimientos para servir a la sociedad, por estos 4 años de beca y comedor, este trabajo es el reflejo de lo invertido en mí, de mi parte trate de que no fuera en vano, muchas gracias.*

*A mi asesor, Dr. Santos G. Campos Magaña por sus conocimientos, su orientación, su persistencia, su disposición y su motivación han sido fundamentales para mi formación, ha inculcado en mí el sentido de responsabilidad y ha sido capaz de ganarse mi admiración, gracias por todo su apoyo durante el tiempo que dedicó al desarrollo de este proyecto de investigación y por el tiempo compartido en el salón de clases.*

*Al Dr. Karim de Alba Romenus por su gran disposición para asesorarme en la redacción y escritura de esta Tesis.*

*Al Dr. Jesús Valenzuela García por su enseñanza, sus conocimientos y sobre todo por todo su apoyo y amistad. Las personas que dan reciben más de lo que dieron, gracias por todo el apoyo que aunque usted no lo supiera fue y ha sido cuando más lo he necesitado, gracias por enseñarme que un gran maestro no sólo enseña sino que también apoya.*

*A la M.C Blanca Elizabeth de la Peña Casas por las enseñanzas que me ha brindado, sé que me serán de mucha utilidad para el futuro.*

*A M.C. Héctor Uriel Serna Fernández por fomentar mi educación, por enseñarme que la perseverancia es la clave del éxito, gracias por todos los conocimientos que compartió conmigo, por su paciencia, su experiencia y sobre todo su amistad.*

*A M.C Juan Antonio Guerrero Hernández por su entrega en mi aprendizaje, por compartir su sabiduría y por impulsarme a ser cada día mejor, por enseñarme que me puedo llevar 2 días en un problema pero que si me esfuerzo, obtendré el resultado que espero.*

*A mis profesores del Departamento de Maquinaria Agrícola el Ing. Juan Arredondo Valdéz, Dr. Martín Cadena Zapata, Ing. Tomas Gaytán Muñiz, Ing. Jorge Flores Berrueto. Ing. Rosendo González Garza, M.C. Mario A. Méndez Dorado, M.C. Genaro Demuner Molina, y a todos los profesores de los distintos departamentos que me compartieron sus conocimientos y experiencias en el trayecto de estos cuatro años y medio, porque también son parte de este logro, el cual les comparto, ya que ustedes también lo trabajaron y espero que su esfuerzo, empeño y sacrificio se vea reflejado en este trabajo, muchas gracias.*

*Al M.C. Gerardo Sánchez Martínez que tuvo la fuerza y el poder para transformar mi vida, su actuar me transformo, me hizo creer que mi sueño que acababa de comenzar terminaría, pero gracias a Dios padre que es mi coach en el ring, me permitió dar la pelea y salir victorioso, gracias por todo, porque gracias a eso ahora soy más fuerte y se matemáticas, muchas gracias.*

*Al M.C. Sergio Sánchez Martínez que me brindo su confianza, para obtener los conocimientos que hoy tengo en programación, gracias por su dedicación y empeño que puso en mí porque gracias a eso provocó en mí el nunca rendirme ante un problema.*

*Al Ing. Manuel De León Gámez por enseñarme a usar las herramientas con las que cuento, por sembrar el conocimiento dando lo mejor de sí, para que yo tuviera lo que nadie me podrá quitar, el conocimiento.*

*De igual manera quiero expresar mi gratitud para las personas e instituciones que me apoyaron para la realización de este proyecto, en primer lugar al Ir. Jelle Van Loon Líder de Mecanización Inteligente de CIMMYT por sus apoyo, experiencia, orientación, sus rigurosas y agudas críticas así como sus pacientes y atentas observaciones, fueron centrales para el desarrollo del proyecto pero sobre todo que sirvió para culminar este último paso en mi carrera, del mismo modo agradezco a CIMMYT por permitirme desarrollar el proyecto en sus instalaciones y con su recurso económico. Así mismo, quiero agradecer a CENEMA por permitirme el acceso a sus instalaciones para hacer uso del equipo para realizar una fase importante en este trabajo.*

*A mis amigos y compañeros de generación del departamento de Maquinaria Juan Manuel Sánchez Flores (Meño), hemos compartido muchos momentos, aprendí que se puede vivir sin dinero pero no sin amigos, gracias por acompañarme en las desveladas antes de los exámenes, gracias por aguantar mi ritmo de trabajo y por congelarte por las noches y acalorarte en las tardes, sufrías a mi lado las inclemencias del clima cuando yo tenía que estar estudiando y cuidando a mis hijas, nunca te rajaste y siempre estuviste ahí, gracias. Fernando Jiménez eres un gran amigo, gracias por los momentos que juntos pasamos, en esas carnes asadas o algunas veces que vimos películas. Al igual que Yair Ramírez gracias por todas las veces que reímos juntos y estudiantes en compañía mía.*

*A Héctor Ibarra Lozano carnal tú has estado conmigo en los momentos más difíciles, gracias por todo tu apoyo, gracias por ser mi hermano y seguirme en todas mis locuras y aventuras gracias.*

*Con mucho respeto y admiración Saul Avila Lang*

## **DEDICATORIAS**

*Este trabajo está dedicado con todo mi ser a JEHOVA, rey de reyes y señor de señores por darme la oportunidad de concluir mis estudios profesionales, que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer, al que me ha dado la sabiduría cuando creía que no entendía, al que ha creído en mí siempre, al que es mi ejemplo de superación, humildad, sacrificio y sobre todo de amor. De igual manera, dedico esta tesis a mis padres, por sembrar en mí valores, que hoy en día forman parte de mi vida cotidiana; a mi madre que a pesar de las adversidades ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, que me han ayudado a salir adelante. A mi padre que aunque no está a mi lado siempre, me ha enseñado a ser fuerte y unido a mi familia, me ha mostrado que la vida es un reto, un desafío y un regalo. A mis hermanos Ruth y Uriel que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicionalmente en todo momento este es el resultado de su esfuerzo. A mi esposa por estar conmigo siempre, que me comprendió cuando más lo necesitaba, por su paciencia, por hacer mis sueños suyos y por arriesgarse a soñar conmigo. Pero está dedicada en especial para mis hijas Yasul y Yicel que han sido mi mayor motivación para nunca rendirme, que día con día me impulsa a seguir esforzándome para ser una excelente persona y poder llegar a ser un ejemplo para ellas.*

*A mis abuelos, tíos y toda mi familia pero en especial a mi tío Adolfo que aunque ya no está con nosotros siempre me motivo a seguir adelante, me enseñó que la vida siempre se debe de vivir con honestidad y rectitud.*

*Y a todas aquellas personas que Dios ha puesto en mi camino, que me han brindado la mano, que me han motivado y me han acompañado, este trabajo es para ustedes también.*



# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos.</b>	<b>7</b>
1.1.1 Objetivo general.	7
1.1.2 Objetivos específicos.	8
<b>1.2 Hipótesis.</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISION DE LITERATURA</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Antecedentes.</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Agricultura de conservación y uso preciso de insumos.</b>	<b>12</b>
<b>2.3 La siembra y fertilización de manera mecanizada.</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Tipos de dosificadores para semilla.</b>	<b>17</b>
2.4.1 Dispositivos de medición de flujo de masa.	17
2.4.2 Dispositivos dosificadores de precisión.	25
<b>2.5 Tipos de dosificadores para fertilizante granulado.</b>	<b>48</b>
2.5.1 Dosificadores de tipo rodillo acanalado o dentado.	49
2.5.2 Dosificador de tipo fondo móvil.	49
2.5.3 Dosificador de tipo tornillo sin fin.	50
2.5.4 Dosificador de tipo rulos.	51
2.5.5 Dosificador de cribas.	51
2.5.6 Dosificador de platos.	52
2.5.7 Dosificador de tipo ventana.	53
2.5.8 Dosificador de tipo banda de caucho.	55
2.5.9 Dosificador de tipo neumático.	56

<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA</b>	<b>58</b>
3.1	Localización de área de trabajo.	58
3.2	Materiales.	58
3.3	Metodología.	70
3.3.1	Determinación de las propiedades físicas de la semilla de maíz.	71
3.3.2	Determinación de las propiedades físico-mecánicas del fertilizante granulado.	73
3.3.3	Tabla de calibración del banco de pruebas.	75
3.3.4	Diseño de soportes de los dosificadores para montarlos al banco de pruebas.	75
3.3.5	Selección de platos dosificadores y ajuste de relación de transmisión para cada sistema.	76
3.3.6	Calibración de los dosificadores.	81
3.3.7	Pruebas con el banco dosificador.	85
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.</b>	<b>89</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>104</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>107</b>
	Anexo A Dimensiones de la semilla de maíz.	107
	Anexo B Procedimiento de operación del analizador de humedad para granos.	108
	Anexo C Contenido de humedad de la semilla de maíz.	109
	Anexo D Densidad a granel de la semilla de maíz.	109
	Anexo E Distribución del tamaño del fertilizante.	110
	Anexo F Contenido de humedad del fertilizante.	110
	Anexo G Densidad a granel del fertilizante.	110
	Anexo H Método del embudo fijo utilizando el instrumento MAR.	111
	Anexo I Ángulo de reposo del fertilizante.	112
	Anexo J Procedimiento para medir velocidad con tacómetro.	113
	Anexo K Procedimiento para variar la frecuencia de operación del motor.	114
	Anexo L Procedimiento para medir revoluciones por minuto con tacómetro.	115
	Anexo M Tabla de calibración de velocidades del banco de pruebas.	116
	Anexo N Diseño de soportes de dosificadores.	116
	Anexo Ñ Dimensiones de las celdas de platos y rodillo dosificador.	117
	Anexo O Diagramas de relación de transmisión de los sistemas.	118
	Anexo P Tabla de velocidad de siembra de los sistemas.	120
	Anexo Q Tabla de revoluciones de platos y rodillos.	120
	Anexo R Tablas de eficiencia en la dosificación de semilla de los sistemas.	122

Anexo S Tabla de daño mecánico de semillas de los tres sistemas. _____	126
Anexo T Distribución espacial de las semillas para los sistemas. _____	128
Anexo U Eficiencia en la dosificación de fertilizante para los sistemas. _____	132

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión sin impacto. ....	11
Figura 2 Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión con impacto. ....	12
Figura 3 El rol de la agroecología en la satisfacción de los objetivos múltiples de la agricultura sustentable. ....	13
Figura 4 Dosificador de apertura estacionaria usando una placa deslizante para ajustar el tamaño de salida. ....	17
Figura 5 Dosificador de apertura estacionaria usando un plato alveolado para ajustar el tamaño de la salida.....	18
Figura 6 Principio general del funcionamiento de los dosificadores de alimentación de fuerza externa. ....	19
Figura 7 Forma general del dosificador de rodillo acanalado de fuerza externa. .	20
Figura 8 Vista frontal de un dosificador de semilla de tipo rodillo acanalado. ....	22
Figura 9 Vista trasera de un dosificador de tipo tachonado de fuerza externa. ...	23
Figura 10 La trayectoria del movimiento de la semilla gruesa a través de un dosificador de alimentación de fuerza interna. ....	24
Figura 11 Vista lateral de un dosificador alimentado de fuerza interna. ....	25
Figura 12 Tipos generales de dispositivos dosificadores de precisión. ....	25
Figura 13 Vista lateral y superior de un dosificador de plato horizontal. ....	26
Figura 14 Vista superior y trasera de un dosificador de plato horizontal. ....	27
Figura 15 Vista lateral y superior de un dosificador de plato inclinado. ....	28
Figura 16 Vistas de un plato inclinado con y sin deflector de semillas en su lugar. ....	28
Figura 17 Vista trasera de un dosificador de plato inclinado. ....	29
Figura 18 Dobles dosificadores de plato inclinado entregan semilla a un tubo de suministro común. ....	30
Figura 19 Dosificadores generales de tipo plato vertical. ....	31

Figura 20 Vista lateral y superior de un dosificador de plato vertical mecánico. . .	32
Figura 21 Vista superior y lateral del dosificador de plato vertical para hortalizas. .....	33
Figura 22 Una representación en sección transversal de un dosificador de plato vertical asistido por aire. ....	34
Figura 23 Una vista de la tolva de semillas y un plato vertical dosificador asistido por aire.....	35
Figura 24 Vista en sección transversal de un dosificador de plato vertical asistido por un cepillo.....	36
Figura 25 Carcasa y plato vertical de un dosificador asistido por cepillo. ....	37
Figura 26 Representación esquemática de un dosificador de semillas de precisión típico de tipo correa.....	38
Figura 27 Ejemplo de la combinación de la correa y la placa base para una pequeña semilla redonda.....	38
Figura 28 Ejemplo de la combinación de la correa y la placa base para una semilla grande cilíndrica.....	39
Figura 29 Vista lateral de un dosificador de precisión de correa sin la cubierta lateral. ....	40
Figura 30 Representación esquemática de un dosificador de semillas de precisión de tipo disco de vacío. ....	42
Figura 31 Vista lateral de una unidad de dosificación por vacío y el disco componente. ....	43
Figura 32 Vistas seccionales de un dosificador de precisión de tipo tambor presurizado. ....	44
Figura 33 Vista lateral posterior de una unidad de dosificación de semillas de tipo tambor presurizado. ....	45
Figura 34 Representación esquemática de un dosificador de tipo dedo recogedor. .....	46
Figura 35 Proceso de individualización utilizado en el dosificador de tipo dedo recogedor.....	47
Figura 36 Ejemplo de un dosificador de precisión de tipo dedo recogedor.....	48

Figura 37 Abonadora con dosificador de abonos de fondo móvil.....	50
Figura 38 Dosificador de tornillo sin fin. ....	50
Figura 39 Fertilizadora con dosificador de tipo rulos.....	51
Figura 40 Fertilizadora con dosificador de cribas oscilantes.....	52
Figura 41 Fertilizadora con dosificador de platos.....	53
Figura 42 Fertilizadora pendular con dosificador de ventana.....	53
Figura 43 Nervaduras en discos y detalle de salida de fertilizante.....	54
Figura 44 Regulador de dosis. ....	55
Figura 45 Fertilizadora con dosificador de tipo banda de caucho. ....	56
Figura 46 Distribuidor neumático con dosificador de orificio regulable. ....	57
Figura 47 Distribuidor neumático con dosificador de rodillo acanalado. ....	57
Figura 48 Ubicación del banco de pruebas.....	58
Figura 49 Sistema de plato horizontal.....	59
Figura 50 Dosificador de plato inclinado. ....	61
Figura 51 Sistema de rodillo acanalado de doble propósito.....	62
Figura 52 Banco de pruebas para evaluar sistemas dosificadores. ....	63
Figura 53 Diagrama del sistema de transmisión. ....	64
Figura 54 VLT Micro Drive FC51.....	65
Figura 55 Motor eléctrico Weg 00218ET3EM145TW.....	65
Figura 56 Analizador de humedad Kett PM-600. ....	66
Figura 57 Balanza Adventurer Pro AV-812. ....	67
Figura 58 Torre de tamices. ....	67
Figura 59 Horno Grieve SA-350.....	68
Figura 60 Medidor de ángulo de reposo (MAR). ....	69
Figura 61 Tacómetro DT-6236B.....	69
Figura 62 Diagrama de flujo de la metodología.....	70
Figura 63 Diagrama del sistema de transmisión de plato horizontal. ....	80
Figura 64 Sistema enrasador de rodillo acanalado. ....	84
Figura 65 Atascamiento de plato horizontal por el fertilizante. ....	88
Figura 66 Grafica de curva característica para medir semilla con plato horizontal. .....	90

Figura 67 Grafica de daño mecánico con plato horizontal. ....	91
Figura 68 Grafica de distribución espacial en semilla con plato horizontal. ....	92
Figura 69 Grafica de curva característica para medir semilla con plato inclinado.	93
Figura 70 Grafica de daño mecánico con plato inclinado.....	94
Figura 71 Grafica de distribución espacial en semilla con plato inclinado.....	95
Figura 72 Grafica de curva característica para medir semilla con rodillo acanalado. .....	96
Figura 73 Grafica de daño mecánico con plato inclinado.....	97
Figura 74 Grafica de distribución espacial en semilla con rodillo acanalado. ....	98
Figura 75 Grafica de curva característica para medir fertilizante con plato inclinado.....	99
Figura 76 Grafica de curva característica para medir fertilizante con rodillo acanalado.....	100

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala base para calificar la uniformidad en la distribución de fertilizante.	4
Tabla 2 Precios de semilla de maíz certificada en Obregón Sonora (SAGARPA, 2014).....	5
Tabla 3 Marco de plantación y área útil, cultivo de maíz, Juan, CIAS, de la Maguana del experimento de (D'Oelo y Oviedo, 1999). ....	9
Tabla 4 Dimensiones de celdas de platos y rodillo que se eligieron. ....	76



# RESUMEN

Esta tesis establece una metodología para evaluar tres sistemas mecánicos de dosificación (plato horizontal, plato inclinado y rodillo de compuerta variable) de doble propósito, es decir, que pueden medir semilla y fertilizante granulado. Uno de los propósitos de esta evaluación fue probar si es factible medir con dichos sistemas una mezcla de fertilizante granulado además de semilla de maíz. Esta evaluación se ejerció en un banco de pruebas ubicado en las instalaciones de la sede del CIMMYT en Texcoco Estado de México. Los resultados de la investigación contribuirán en la creación de una base de conocimientos sólidos que permita mejorar el diseño de los sistemas de dosificación de semilla y fertilizante o permita la selección de acuerdo a los requerimientos de los pequeños y medianos productores, haciendo énfasis en la diferencia de la calidad de trabajo y la precisión de algunos sistemas de dosificación que actualmente están disponibles en el mercado.

La evaluación se llevó a cabo mediante la configuración previa de los tres sistemas mencionados anteriormente para aplicar la misma densidad de siembra en condiciones similares y por lo tanto obtener la misma distancia en la separación entre las semillas. Las pruebas se realizaron simulando 5 diferentes velocidades de avance (2, 3.13, 4.18, 5.29 y 6.31 km h<sup>-1</sup> respectivamente). En el caso de la medición del fertilizante granulado cambió la densidad de aplicación respecto a la densidad de siembra debido a la diferencia de tamaño en las celdas de los platos de cada sistema de dosificación, pero se mantuvieron las mismas velocidades de avance durante el experimento. De esta manera la viabilidad de los sistemas de doble propósito de dosificación pudo ser evaluada.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que los sistemas presentan una eficiencia aceptable con menos del 1% de daño mecánico, en el rango de velocidades de siembra que va de 213 semillas por minuto hasta 673, a excepción del rodillo acanalado que solo es aceptable operarlo a la velocidad de 445 semilla por minuto, para que esté dentro de un 100% ± 10 en la eficiencia de

siembra. Lo que quiere decir que los sistemas pueden entregar este último valor sobre la densidad de siembra.

Los resultados de los sistemas para la distribución espacial en la siembra de maíz muestran que existe variabilidad en las diferentes velocidades de siembra, por lo que se determinó que para el plato horizontal la velocidad de siembra recomendada es a 213 semillas por minuto, el plato inclinado a 213 a 334 sem  $\text{min}^{-1}$ , el rodillo acanalado mostró que en ninguna velocidad se obtiene una uniformidad de siembra aceptable menor al 25% del coeficiente de variación.

En la prueba de dosificación con fertilizante granulado se mostró que los sistemas no satisfacen un porcentaje aceptable de eficiencia, a excepción del rodillo acanalado que puede operar a una velocidad de fertilización de 922 gramos por minuto hasta 1100  $\text{g min}^{-1}$ .

En conclusión ningún sistema cumple con el concepto de doble propósito, debido a que no pueden medir de manera independiente semilla de maíz y fertilizante granulado con una eficiencia de trabajo aceptable del 100%  $\pm 10$ .

**Palabras clave:** Sistemas dosificadores, Dosificadores mecánicos, Eficiencia en siembra y fertilización, Distribución espacial en siembra.

# 1 INTRODUCCIÓN

Según FAO (2006) existe un gran número de personas y de países que están afectados por emergencias alimentarias. En mayo de 2006, había 39 países en todo el mundo que se enfrentaban a una grave escasez alimentaria: específicamente, 24 en África, 9 en Asia, 5 en América Latina y 1 en Europa. Las causas son variadas, pero las principales son los conflictos civiles y las condiciones climáticas adversas, incluida la sequía. En 2005, el crecimiento de la producción agrícola y ganadera mundial cayó hasta su tasa anual más baja desde principios de los años setenta. La disminución global se debió principalmente a una drástica reducción del sector de los cultivos, especialmente en los países desarrollados, donde el crecimiento de la producción disminuyó desde más del 12 por ciento en 2004 hasta 4 por ciento en 2005.

Según Díaz (2008) México pese a su sobresaliente dotación de recursos naturales y diversidad ecológica, la producción de productos agropecuarios no ha sido suficiente para atender las demandas de su población. El relativo estancamiento del campo mexicano y la aplicación de un modelo de desarrollo agropecuario, reproducido durante casi cinco décadas, ha llevado al país a tener un déficit en la producción de alimentos.

Los primeros efectos de la pérdida de la suficiencia alimentaria se registran a partir de 1970, por la contracción de la inversión privada, la desaceleración económica, crecientes niveles inflacionarios, devaluaciones y crisis económicas.

Según Flores *et al.* (2012) la SAGARPA indicó que las importaciones agroalimentarias en México mantienen una estructura clara con tendencia en los sectores de la industria alimentaria y agricultura, las cuales participan del total importado con un 47% y 41% respectivamente. Esta situación es más acentuada en algunos granos, como son el caso del maíz con un 9.8%, soya 9.7% y trigo 4.7%, los cuales en el periodo 2010-2011 su volumen de importación se ha

mantenido relativamente constante, pero los precios de compra incrementaron hasta un 63% para el caso del maíz.

Debido a las sequias y heladas que sufrió el campo mexicano en el año del 2011, México tuvo el riesgo de desabastos de alimentos, ya que se registró la pérdida de más de un millón de hectáreas de cultivos básicos y al menos 20 mil millones de pesos mexicanos en el sector agropecuario. Para sustentar este déficit alimenticio las importaciones en México de maíz blanco y amarillo alcanzaron 1.1 y 8.4 millones de toneladas respectivamente en el año del 2012 (Flores *et al.*, 2012).

Cervantes *et al* (2013) menciona que el maíz es el cultivo más importante de México, desde el punto de vista económico, político y social. Debido a que solo el maíz se produce en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-inverno bajo condiciones de humedad de secano (temporal) y riego. Desde el punto de vista económico el maíz se siembra en más de ocho millones de hectáreas, que representa 39% de la superficie agrícola nacional y 63% de la superficie agrícola sembrada con granos y oleaginosas, lo que implica que la mayoría de los agricultores mexicanos produzcan este cultivo generando recursos económicos y fuentes de empleo debido a que éste cultivo es el que demanda más fuerza de trabajo. Por otro lado el maíz es la dieta básica humana y sirve como alimento para ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. En lo político las estadísticas marcan que este alimento está a la cabeza de las importaciones de productos agrícolas de México, lo que significa que tiene mayores relaciones comerciales con otros países y esto contribuye al crecimiento económico de México.

En lo social existe la necesidad de que los productores adopten mejores tecnologías de producción para mejorar su competitividad, lo que conlleva a que los productores reciban capacitación por parte de asesores técnicos e investigadores agrícolas creando más relaciones sociales.

Por eso es necesario incrementar el rendimiento y reducir los costos de operación en los cultivos agrícolas. Esto está estrechamente relacionado con las condiciones climáticas como son: la captación de la luz, la temperatura, la humedad del suelo, el granizo, las sequías etc. Por otro lado el manejo del cultivo, por ejemplo la fecha de siembra, control de malezas, control de plagas, control de enfermedades, la cosecha, la densidad de plantas la uniformidad de siembra y la densidad de fertilización química. Y por último la utilización de insumos tales como la calidad de semilla, herbicidas, pesticidas y fertilizantes, en particular el nitrógeno que si no se tiene una cantidad optima de este elemento afecta en la concentración de clorofila, la formación de biomasa y el rendimiento del cultivo. Optimizar la densidad de plantas por hectárea ha sido un factor muy importante porque contribuye a incrementar el rendimiento debido a que determina el establecimiento apropiado al cultivo, la competencia entre plantas y la conversión de energía solar en productos cosechables.

Con los fertilizantes, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún triplicarse. A fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos los nutrientes del suelo que están faltando. Por otro lado el exceso del uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura no solo es un problema que afecta a la economía desde el punto de vista de adquisición de los mismos, sino también un problema que puede traer asociado es el desequilibrio en el suelo que perjudique su fertilidad, además de provocar contaminación en el medio ambiente, donde las aguas utilizadas para el consumo humano, animal y vegetal pueden ser afectadas, conjuntamente con las aguas subterráneas (Yepis *et al.*, 1999).

En México los equipos que se utilizan para sembrar están constituidos con uno, dos y tres dosificadores de semilla. Generalmente estos equipos están fabricados para pequeños y medianos productores con eficiencias menores al 70% y en su mayoría son de dosificación mecánica. Para que un equipo pueda ser considerado de precisión el sistema de siembra debe tener una eficiencia de calidad de siembra

mayor de 85%, en lo que respecta a la uniformidad de distancia entre semilla y menos de 1% de daño a la semilla (Campos, 2007).

Mientras que Jorgenson (1988) dice que es evidente que el objetivo de una buena distribución de fertilizante granulado en un sistema medidor de fertilizante se traduce en que todos los puntos de la curva acumulada con muestras obtenidas longitudinalmente a la hilera de fertilización, reciban la misma cantidad de abono (100% de lo dosis deseada). Pero en la realidad ocurre que existen diferencias entre las muestras, detectándose puntos con una cantidad superior al 100% y puntos con una cantidad inferior a este valor. La cuantificación de estas diferencias se conoce como el *coeficiente de variación* (CV).

El CV es un parámetro estadístico que indica, en términos porcentuales, la dispersión de una serie de datos respecto al valor medio. El valor del CV es igual a cero cuando no existen diferencias entre los puntos, lo que indica el resultado de una distribución totalmente homogénea.

A continuación se presenta una escala base para la calificación de la uniformidad en la distribución de fertilizante (Tabla 1).

Tabla 1 Escala base para calificar la uniformidad en la distribución de fertilizante.

<b>Indicador de uniformidad</b>	<b>Calificación</b>
<b>CV mayor que 15%</b>	Inaceptable
<b>CV entre 10 y 15%</b>	Aceptable
<b>CV menor que 10%</b>	Muy bueno
<b>CV menor que 5%</b>	Excelente

Para los valores superiores al 25% de CV pueden dar como resultado efectos negativos tanto desde el punto de vista económico (disminución de rendimientos, aparición de encamado) como ambiental (exceso de nitratos en el suelo y contaminación de aguas).

Paliwal (2001) menciona que las semillas son reconocidas como el insumo básico y más importante para todos los cultivos. Además son el insumo más económico ya que todos los otros insumos agrícolas tales como el agua, fertilizante, pesticidas, herbicidas, maquinaria y mano de obra pueden ser más costosos. El retorno de todos estos otros insumos está directamente influenciado por el recurso básico que son las semillas. Entre mayor sea la calidad de la semilla se podrá obtener mayor rendimiento.

La producción de semilla de híbridos es compleja y costosa como se muestra en la Tabla 2. Sin embargo es provechoso para los agricultores pagar por éste mayor precio siempre y cuando se le dé un buen manejo agronómico.

Tabla 2 Precios de semilla de maíz certificada en Obregón Sonora (SAGARPA, 2014).

<b>Precios de Semilla Obregón Sonora Mes: Febrero</b>					
<b>Cultivo</b>	<b>Variedad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Precio por unidad (en pesos por kg)</b>	<b>Categoría</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Maíz</b>	A7573	GRANO	89	CERTIFICADA	BOLSA DE 20 KGS C/U
<b>Maíz</b>	CIANO H-431	GRANO	64	CERTIFICADA	BOLSA DE 20 KGS C/U
<b>Maíz</b>	VERANO XR	GRANO	77	CERTIFICADA	BOLSA DE 20 KGS C/U
<b>Maíz</b>	DAS 2355	GRANO	74	CERTIFICADA	BOLSA DE 20 KGS C/U
<b>Maíz</b>	30P49	GRANO	99	CERTIFICADA	BOLSA DE 20 KGS C/U

Es importante que cuando se trabaje con semillas híbridas de alto rendimiento se tenga un buen control sobre la densidad de siembra, recayendo partes de esta responsabilidad en los elementos dosificadores debido a que la densidad debe ser uniforme y nunca ni excesivo ni menor que el necesario. De lo contrario existirán pérdidas económicas.

De aquí surge la necesidad de evaluar diversos sistemas de dosificación de semillas y fertilizantes debido a que es importante en México y a nivel mundial tener una mayor eficiencia en el campo específicamente en el uso de insumos primarios de la producción agrícola como son las semillas y fertilizantes. Esto con la finalidad de realizar una siembra y fertilización de una manera más uniforme y

precisa. Para que los productores puedan tener mayor rendimiento en sus cosechas con menos insumos e impacto al ambiente, así como para que se puedan mejorar el diseño de los sistemas de dosificación.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una organización internacional de investigación y capacitación sin fines de lucro y forma parte del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) cuya labor es aumentar la seguridad alimentaria, reducir la pobreza, mejorar la salud, la nutrición humana y asegurar un manejo sostenible de los recursos naturales y tiene socios en más de 100 países. Actualmente uno de sus proyectos de bandera se encuentra en el fomento e implantación de los principios de la agricultura de conservación donde principalmente se enfocan en la ciencia aplicada para aumentar la seguridad alimentaria, mejorar la productividad de los sistemas de producción de maíz y trigo y conservar los recursos naturales en el mundo en desarrollo (CIMMYT, 2014b).

Dentro de las actividades del CIMMYT, MasAgro es una iniciativa emblemática en colaboración con el gobierno mexicano y como su nombre largo manifiesta – Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional - sus principales objetivos son fortalecer los sustentos de vida a través de la investigación, el desarrollo, la capacitación y la transferencia de tecnología. A través de estos métodos, el proyecto permitirá a los pequeños y medianos productores de maíz y trigo obtener rendimientos altos y estables, aumentar sus ingresos y reducir los efectos del cambio climático en México (CIMMYT, 2014a).

Un aspecto importante dentro de estas actividades es el diseño y desarrollo de equipo mejorado, útil y accesible para medianas y pequeñas explotaciones agrícolas, con el fin de permitir a estos usuarios aprovechar el potencial de las variedades mejoradas de semillas seleccionadas en combinación con mejores prácticas agronómicas.



En la actualidad hay cada día más una oferta mayor de diferentes sistemas de dosificación de semillas y/o fertilizantes, todos proponiendo a ser la mejor solución para una aplicación precisa y ahorro de insumos. Sin embargo, no hay una base de conocimientos sólida para diferenciar entre las opciones disponibles y aun cuando demuestren ser eficientes, estos sistemas son a menudo sólo al alcance de los agricultores muy conectados, avanzados y con elevado recurso económico. Con el fin de proporcionar a los pequeños agricultores información correcta para establecer una línea base, el objetivo del presente trabajo es implementar una metodología que permita comparar esta oferta desenfrenada de dosificadores de semillas/fertilizantes. Además, que pueda generar indicadores para comprobar cuáles sistemas, dependiendo de la escala de producción del agricultor, son viables. Este análisis permitirá no sólo la caracterización de las mejores opciones actuales, sino también permitirá el diseño y desarrollo de sistemas de distribución mejorados para una variedad de semillas y / o fórmulas de fertilizantes (Van, 2014-comm. pers.).

Como tal, el tema propuesto es un catalizador necesario e importante para la creación de sistemas de aplicaciones de alta precisión al alcance de los pequeños y medianos agricultores, con el fin de mejorar su eficiencia en el uso de recursos en un nivel muy práctico.

## **1.1 Objetivos.**

### **1.1.1 Objetivo general.**

- Establecer una metodología que permita evaluar tres sistemas de dosificación semilla/fertilizante (plato horizontal, plato inclinado y rodillo acanalado) de tipo mecánico, mediante de un banco de pruebas.

### **1.1.2 Objetivos específicos.**

- Determinar la eficiencia de los sistemas de dosificación en función de la velocidad de siembra.
- Determinar los límites permisibles de dosificación en función de la velocidad de siembra.
- Determinar la eficiencia de los sistemas de dosificación en función de la velocidad de fertilización.
- Determinar los límites permisibles de dosificación en función de la velocidad de fertilización.

## **1.2 Hipótesis.**

Es factible medir fertilizante granulado con sistemas de dosificación mecánicos de doble propósito, que permitan obtener un porcentaje de eficiencia aceptable.

## 2 REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes.

D'Oelo y Oviedo (1999) realizaron una investigación con el objetivo de determinar la influencia de la densidad de siembra en el rendimiento en grano de maíz. El experimento se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y doce tratamientos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Marco de plantación y área útil, cultivo de maíz, Juan, CIAS, de la Maguana del experimento de (D'Oelo y Oviedo, 1999).

CLAVE DE TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	No PLANTAS/HA (EN MILES)	AREA UTIL (M <sup>2</sup> )
T1	0.75 × 0.25 m	50-55	10.13
T2	0.75 × 0.40 m	33-35	9.45
T3	0.75 × 0.50 m	5-30	9.00
T4	0.80 × 0.25 m	50-55	10.80
T5	0.80 × 0.40 m	30-35	10.08
T6	0.80 × 0.50 m	25-30	9.60
T7	0.85 × 0.25 m	35-40	11.60
T8	0.85 × 0.40 m	25-30	10.71
T9	0.85 × 0.50 m	20-25	10.20
T10	0.90 × 0.25 m	40-45	12.15
T11	0.90 × 0.40 m	25-30	11.34
T12	0.90 × 0.50 m	20-25	10.80

Se encontró que hubo diferencias estadísticas altamente significativas por rendimientos entre los tratamientos ya que tuvo mejores resultados la configuración T6, la cual arrojó rendimientos promedios de 3,290 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando diferencias significativas, con las densidades en T8, T9, T7, T3, los que alcanzaron rendimientos promedios de 3,180, 3,136, 3,127 y 3,107 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Los tratamientos con marcos de T5, T4, T2, T12, T11 y T10 presentaron rendimientos promedios de 3,064, 3,010, 2,987 y 2,937 kg ha<sup>-1</sup>

respectivamente. El marco de T11 registró un rendimiento 2,828 y mostró diferencias estadísticas altamente significativas con T10, el cual rindió 2,611 kg ha<sup>-1</sup>. El peor tratamiento con 2,262 kg ha<sup>-1</sup> fue el marco de T1.

Como conclusión se dice que una densidad baja (25,000 plantas ha<sup>-1</sup>) de maíz, ha reducido el rendimiento en grano hasta un 32% y cuando la densidad es excesiva, la competencia por agua, luz y nutrientes es mayor, dando como resultado plantas débiles con rendimientos más bajos. Además señala que la densidad óptima para el maíz en forma pura oscila entre 25-30 mil plantas ha<sup>-1</sup>, densidad que se puede lograr con un marco de plantación de 0.80x.050 m.

Por otra parte la incidencia de malezas fue mayor en los tratamientos con menos población de plantas. La presencia de malezas también genera competición de nutrientes y pueden influir en los resultados.

Campos *et al.* (2007) evaluó un prototipo dosificador de semillas neumático, variando la magnitud de fuerza de succión (F) y la velocidad tangencial (Vs) del plato semillero con una altura de caída de 50 mm a una frecuencia de 0.25 a 1 Hz, incluyendo un sistema de impacto que simulara las condiciones críticas del suelo. Para el conteo de semilla de cada arreglo diseño un sistema de monitoreo de eventos mediante dos sensores, los cuales detectan frecuencias de caída de la semilla que está en función del número de semillas por metro y el desplazamiento de la máquina de siembra. Para evaluar la eficiencia de dosificación se determinó la magnitud de la F requerida para mantener las semillas adheridas al plato dosificador, en diferentes condiciones de trabajo.

Utilizó un diseño experimental completamente al azar, variando en seis valores la Vs (780, 1080, 1410, 1740, 1980 y 2200 celdas min<sup>-1</sup>), y cuatro de la magnitud F entre el plato y la semilla a través de una columna de vacío (200, 250, 300 y 350 mm de agua), con un impacto (Ic) y sin impacto (Is). Para cada arreglo se realizaron 10 repeticiones de 1000 eventos por tratamiento. La variable a medir fue el porcentaje de llenado de celdas.

Es importante mencionar que este porcentaje de llenado de celdas puede exceder del 100% debido a que en ocasiones una celda puede medir dos o tres semillas al

mismo tiempo, excediendo la densidad de siembra para la que fue configurada. O en su defecto este porcentaje es menor cuando una celda no es llenada por alguna semilla durante el trabajo del sistema, lo que provoca que entregue menor densidad de siembra a la requerida.

Como resultado obtuvo que bajo condiciones sin impacto las velocidades de operación del plato dosificador debe ser de 700 a 1100 celdas por minuto y operar con un F de 250 a 350 mm de agua para garantizar  $100 \pm 5\%$  de llenado de celdas; con velocidades superiores a 1100 celdas  $\text{min}^{-1}$ , el porcentaje de llenado decae como se muestra en la Figura 1.

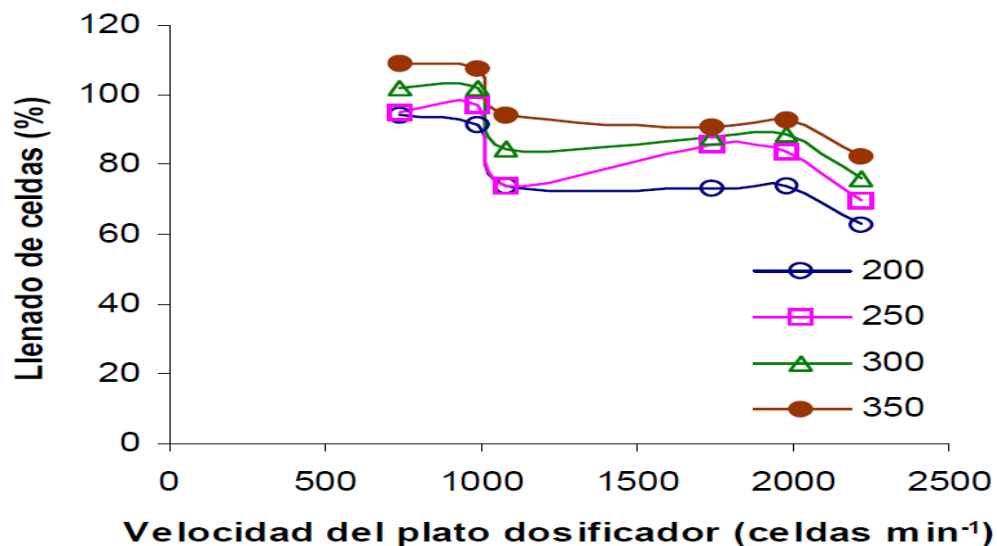


Figura 1 Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión sin impacto.

Para condiciones con impacto, el límite superior de velocidad de siembra se mantiene a 1100 celdas  $\text{min}^{-1}$ , pero el rango de la fuerza de succión se reduce a 300-350 mm de agua como se aprecia en la Figura 2.

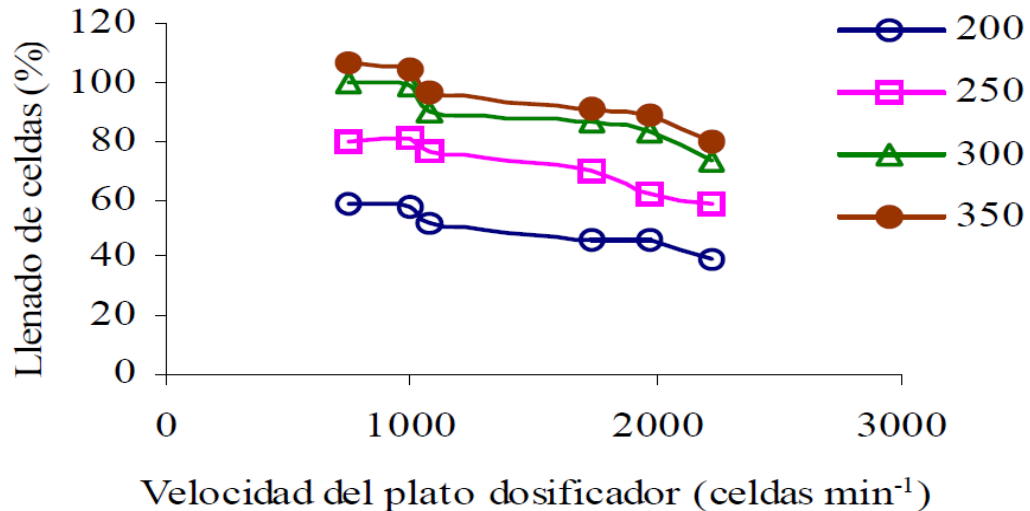


Figura 2 Porcentaje de llenado de celdas de maíz para diferentes velocidades de celdas y presiones de succión con impacto.

El sistema de dosificación muestra que el componente impacto representa de 20 a 50% de la F necesaria para mantener la semilla adherida al plato a velocidades menores de 1100 celdas min<sup>-1</sup> para lograr 100 ± 5% de llenado de celdas.

## 2.2 Agricultura de conservación y uso preciso de insumos.

Altieri y Nicholls (2000) describen que a nivel mundial, está emergiendo un consenso en cuanto a la necesidad de nuevas estrategia de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental. La agricultura sustentable es garantizar el manejo eficiente de los recursos naturales asegurando que a largo plazo no existan impactos que repercutan al medio ambiente y en los campos. La agricultura sustentable se enfoca en tres pilares importante que son los objetivos ambientales, sociales y económicos, teniendo en cuenta que de éstos se derivan otros (Figura 3). Aunque la agricultura es una actividad basada en recursos renovables y algunos no renovables (petróleo), se asocia al agotamiento de recursos. La reducción de la

fertilidad del suelo, la erosión, la contaminación de aguas, la pérdida de recursos genéticos, etc. son manifestaciones claras del impacto ambiental debido a la agricultura, además el mitigar estos impactos implica costos económicos.

Existen muchas definiciones de agricultura sustentable), sin embargo ciertos objetivos son comunes en la mayoría de las definiciones:

- Producción estable y eficiente de recursos productivos.
- Seguridad y autosuficiencia alimentaria.
- Usos de prácticas agroecológicas o tradicionales de manejo.
- Preservación de la cultura local y de la pequeña propiedad.
- Asistencia de los más pobres a través de un proceso de autogestión.
- Un alto nivel de participación de la comunidad en decidir la dirección de su propio desarrollo agrícola.
- Conservación y regeneración de los recursos naturales.

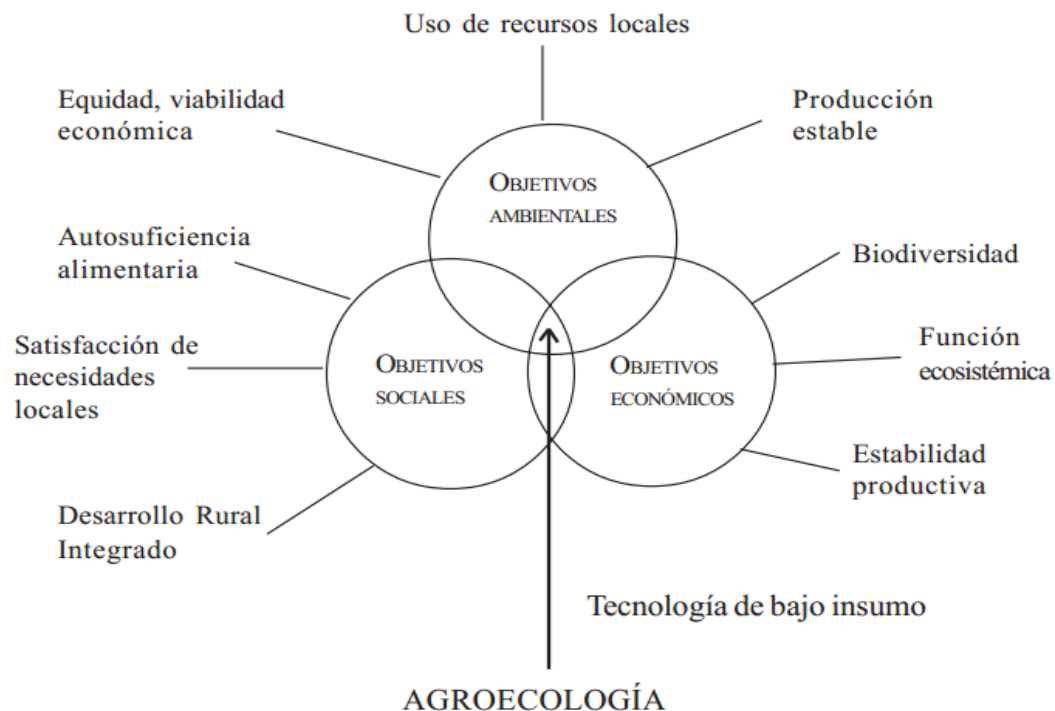


Figura 3 El rol de la agroecología en la satisfacción de los objetivos múltiples de la agricultura sustentable.

De acuerdo a Bongiovanni y Lowenberg (2001) la agricultura no puede ser sostenible si los productores usan prácticas que no son rentables. Si se acepta que es inevitable usar algunos insumos externos en la producción agropecuaria, la agricultura de precisión (AP) puede ayudar a manejar esos insumos de forma tal que minimice el impacto al medio ambiente mientras aumenta la rentabilidad. Usando el conocimiento sitio-específico, la agricultura de precisión puede afinar las dosis de fertilizantes, semillas y otros agroquímicos de acuerdo al tipo de suelo y las condiciones del entorno. La agricultura de precisión puede contribuir en varias formas a la sustentabilidad de la agricultura, confirmando la idea intuitiva de que reduce la carga de agroquímicos sobre el ambiente, aplicando fertilizantes y pesticidas solamente dónde, cuándo y cuánto se les necesita. La agricultura de precisión no es un sustituto sino un complemento de otras prácticas de manejo sustentable, tampoco reemplaza a otras ciencias; simplemente proporciona más información y brinda más y mejores oportunidades de manejo.

### **2.3 La siembra y fertilización de manera mecanizada.**

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

Violic *et al.* (2001) menciona que bajo los métodos convencionales de labranza, las semillas de maíz pueden ser sembradas manualmente haciendo hoyos en el suelo con un palo sembrador, un machete, una azada o colocando las semillas en un surco abierto con un pequeño arado de madera o vertedera. La siembra mecánica de las semillas puede ser hecha con una sembradora a tracción humana, tracción animal o con una maquina sembradora-fertilizadora accionado por un tractor.



Las sembradoras en línea depositan la semilla a lo largo de un surco formando una línea recta de acuerdo a su tamaño. La de tracción animal o tractor motorizado, abren un surco con una especie de azada o con un disco simple o doble, en el cual es depositada la semilla a distancias regulares. La semilla es colocada de acuerdo a la densidad de siembra elegida, cubierta y compactada por una rueda compresora que asegura un buen contacto con el suelo.

Las sembradoras-fertilizadoras también aplican fertilizantes y algunos modelos incluyen mecanismos ajustables para la aplicación de pesticidas.

Landers (2004) dice que la siembra directa o labranza cero, es una técnica de cultivo sin alteración de suelo mediante arado. Es el elemento central de lo que hoy en día se denomina agricultura de conservación y es adecuada para pequeños, medianos y grandes productores que utilizan métodos manuales de siembra, tracción animal o siembra mecanizada.

Las máquinas para sembrar en el sistema de labranza cero deben estar equipadas para los tipos de terrenos en que se usan y sobre todo para la presencia de los materiales de cobertura, ya que el abresurco de azada podría ser obstaculizado por los residuos en la superficie del suelo; en estos casos, se coloca una cuchilla dentada delante de los abresurcos. En razón de su forma esta cuchilla puede cortar los residuos y arar una faja angosta lo suficientemente profunda para colocar las semillas (Violic *et al.*, 2001).

Para realizar una siembra precisa bajo el sistema de siembra directa, la sembradora debe realizar las siguientes operaciones: corte del rastrojo en superficie, apertura del surco a una profundidad controlada, dosificación de la semilla dentro del surco a intervalos uniformes, tapado del surco y por último apretar el suelo con la semilla (Baker *et al.*, 2008).

Un componente de las sembradoras y fertilizadoras de mucha importancia ha sido el sistema dosificador de semillas y/o fertilizantes debido a que se requiere mayor precisión en la densidad de dosificación que se desea obtener con daño mínimo

de semillas, ya que los precios de insumos van subiendo año tras año. Este componente es un factor común en las sembradoras/fertilizadoras y por lo tanto existen diferentes diseños. Basándose en su principio de funcionamiento y el patrón de siembra/fertilizante resultante, la mayoría pueden ser clasificados de flujo de masa o de precisión, mecánicos o neumáticos, de gravedad o de fuerza forzada.

Murray (2006) expone que los sistemas dosificadores de precisión permiten seleccionar semillas individuales del lote de semillas que están contenidas en la tolva, para que después sean dosificadas a un tiempo predeterminado. Si este intervalo de tiempo se mantiene como la cantidad de semilla que está entregando el dosificador, el patrón de siembra será tal que las semillas serán equidistantes a lo largo del surco. Este sistema de precisión se utiliza para los cultivos que suelen ser plantados en densidades de siembra relativamente bajas (rango típico 10-150 semillas  $m^{-2}$ ), que se plantan en hileras relativamente amplias (rango típico 250-900 mm) y que por lo general tienen una respuesta en rendimiento a la uniformidad de la distancia entre plantas a lo largo de la fila, por lo que se caracterizan por ser de dosificación discontinua.

Los sistemas dosificadores de flujo másico no pretenden medir semillas individuales, sino más bien pretenden medir un volumen constante de semillas o fertilizantes granulados por unidad de tiempo para dar un espaciamiento promedio de semillas igual a la separación deseada.

En general los dispositivos dosificadores de flujo másico se utilizan para los cultivos que suelen ser plantados a densidades de siembra más altas (rango típico 150-1500 semillas  $m^{-2}$ ), se plantan en hileras relativamente estrechas (rango típico 80-350 mm) y pueden tolerar una variación considerable tanto en la densidad de siembra y la uniformidad de la distancia entre semillas sin tener una pérdida significativa en el rendimiento.

## 2.4 Tipos de dosificadores para semilla.

Este apartado se desarrolló en base a la revisión bibliográfica de los autores (Baker *et al.*, 2008, Alvarado, 2004, Murillo, 1987, Murray, 2006).

### 2.4.1 Dispositivos de medición de flujo de masa.

Los sistemas de dosificación de semillas de flujo de masas comunes pueden ser ampliamente clasificados como apertura estacionaria, de alimentación de fuerza externa (rodillo acanalado y rodillo tachonado) y de alimentación de fuerza interna (doble ejecución).

#### A. Dosificadores de apertura estacionaria.

Los dosificadores de tipo apertura estacionaria son dispositivos simples, que consisten esencialmente de una tolva, un agitador y un orificio de salida de tamaño variable. El tamaño del orificio normalmente se ajusta por deslizamiento de una placa que aumenta o disminuye el tamaño de una abertura o mediante la rotación de un plato alveolado para exponer un tamaño de orificio diferente.

La Figura 4 muestra un dosificador de semilla del tipo de apertura estacionaria que utiliza una placa de deslizamiento para variar el tamaño de la salida en la base de la tolva.



Figura 4 Dosificador de apertura estacionaria usando una placa deslizante para ajustar el tamaño de salida.

En la Figura 4 hay dos salidas de tamaño fijo en la base de la tolva. Una placa ajustable con tamaños de orificios similares está montada debajo de la base, ésta se puede girar de manera manual con relación a los agujeros de la tolva para configurar el área de apertura y por lo tanto la densidad de siembra.

En este caso, la semilla cae a través de las aperturas y se distribuye por medio de un disco que ejerce fuerza centrífuga para propagar la semilla sobre la superficie de la cama de siembra en un marco de dosificación.

El otro dosificador de apertura estacionaria es regulado por un plato alveolado con diferentes tamaños de agujeros alrededor de su periferia (Figura 5), que se utiliza para ajustar el tamaño de la apertura en la base de la tolva.

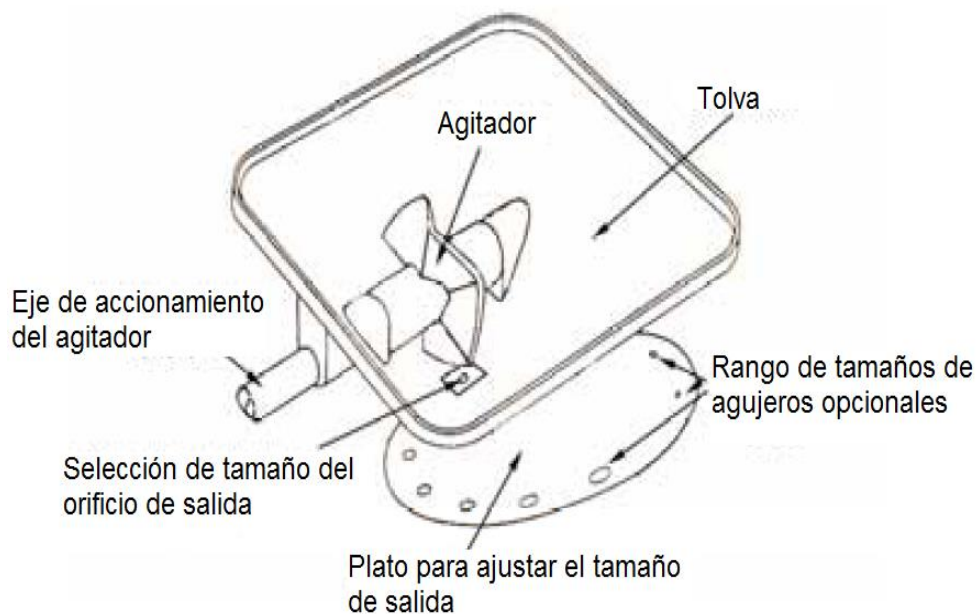


Figura 5 Dosificador de apertura estacionaria usando un plato alveolado para ajustar el tamaño de la salida.

El dosificador de apertura estacionaria de plato alveolado, regula la densidad de siembra de manera similar al dosificador de apertura estacionaria de placa deslizante, cambiando el tamaño del orificio de salida en la base de la tolva mediante la rotación de un plato con diversos tamaños de orificios alrededor de su

periferia, hasta que el tamaño del agujero apropiado se coloca sobre la salida de la tolva.

Para tener uniformidad en la densidad de siembra, el orificio de salida tiene que estar por encima de un cierto tamaño mínimo (en relación con el tamaño de la semilla) y el lote de semillas debe exhibir un alto grado de fluidez. Si las semillas tienden a adherirse entre sí en la tolva, el flujo a través del orificio puede ser irregular, intermitente o cesar por completo.

### **B. Dosificadores de alimentación de fuerza externa.**

Los sistemas dosificadores de alimentación de fuerza externa emplean un elemento giratorio en forma de acanalado o rodillo tachonado que regulan el flujo de semillas de la tolva al sistema de entrega de semillas. En ambos casos, ya que el rodillo gira, la semilla se mueve y se dosifica por la superficie externa del rodillo (Figura 6).

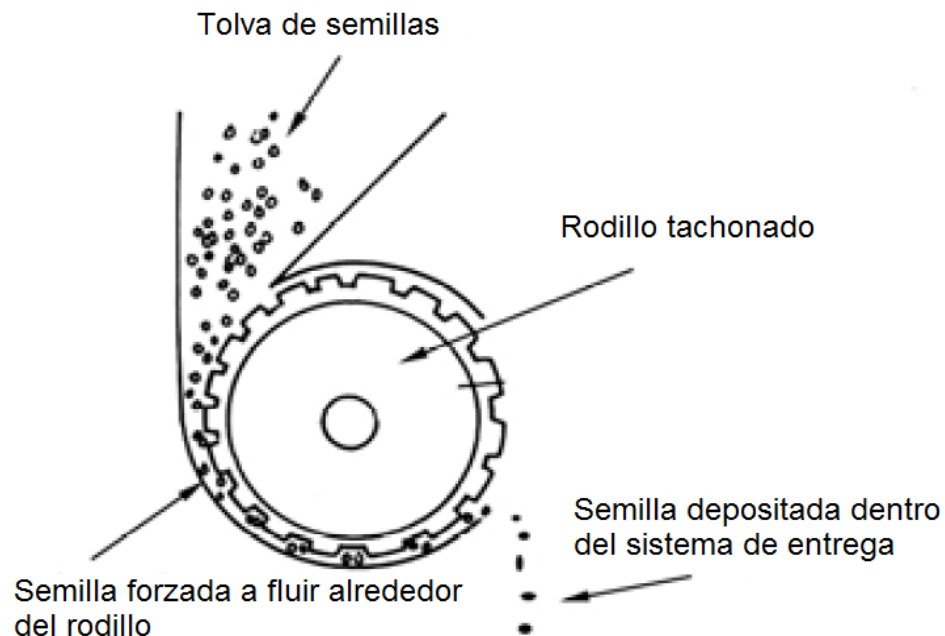


Figura 6 Principio general del funcionamiento de los dosificadores de alimentación de fuerza externa.

Si bien el principio de funcionamiento y la aplicación es similar para ambos tipos de rodillos acanalados y tachonados, el método de ajuste de la dosis de siembra difiere significativamente como se describirá a continuación.

➤ **Dosificador de rodillo acanalado.**

La Figura 7 muestra la forma general del dosificador de alimentación de fuerza externa tipo rodillo acanalado. Este dosificador consta esencialmente de un rodillo acanalado, un punto de corte de deslizamiento y una aleta ajustable. El rodillo acanalado es rotativo y el punto de corte es estacionario para que en conjunto se muevan axialmente como una unidad, para cambiar la exposición del rodillo acanalado a la semilla. La aleta ajustable se acerca más o menos lejos del rodillo para cambiar el área de la sección transversal a través de la cual la semilla se puede mover y la magnitud de la semilla que tiene que ser movida por el rodillo antes de que pueda salir del dosificador.

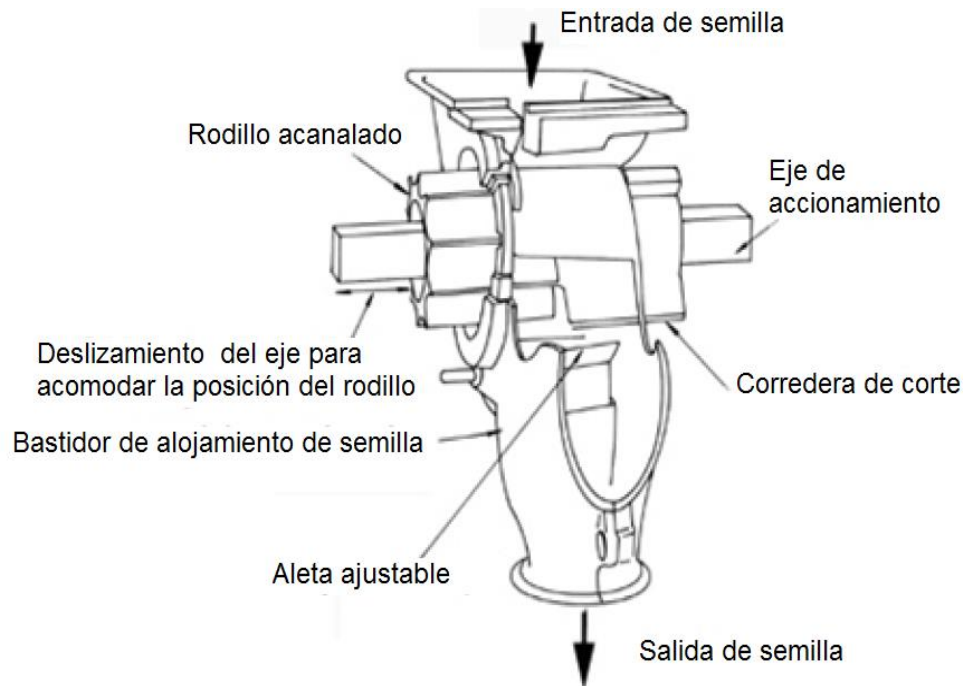


Figura 7 Forma general del dosificador de rodillo acanalado de fuerza externa.

La densidad de siembra en el dosificador de rodillo acanalado se puede ajustar de las siguientes formas:

- Ajustar la velocidad de rotación del rodillo acanalado con respecto a la velocidad de avance.
- Deslizándolo el eje axialmente para cambiar la longitud de las canaletas expuestas a la semilla.
- Ajustando la posición de la aleta para acomodar diferentes tamaños de semillas altera la dosificación de la semilla y cuando esta se encuentre completamente abierta facilita la limpieza del dosificador.

Típicamente una máquina multilínea, que quiere decir que deposita la semilla a lo largo de varios surcos en forma de línea. Hay un dosificador para cada línea y todos son accionados a partir de un eje común que pasa por el centro de cada rodillo y se extiende a través del ancho completo de la máquina.

En general la velocidad del eje se ajusta mediante una caja de engranes situada en el tren de transmisión de una rueda de tracción al eje; para medir más semilla por cada vuelta del rodillo, el eje común se mueve axialmente a través de una palanca en un extremo del eje y la aleta de salida tiene que ser ajustada individualmente en todos los medidores.

La Figura 8 muestra la vista frontal de un dosificador de rodillo acanalado de alimentación de fuerza externa, movido axialmente a fin de no tener ninguna exposición con la semilla.



Figura 8 Vista frontal de un dosificador de semilla de tipo rodillo acanalado.

➤ **Dosificador de rodillo tachonado.**

El dosificador tachonado difiere del tipo de rodillo acanalado en las siguientes características:

- El corte recto o las canaletas helicoidales de corte que miden la semilla son remplazadas por clavijas o pernos elevados para el mismo propósito.
- El rodillo permanece en una posición fija y no puede moverse axialmente como método del ajuste de la densidad de siembra.

La Figura 9 muestra la vista posterior de una estaca o tipo de rodillo tachonado. Se muestra claramente las clavijas o pernos que sustituyen a las canaletas.



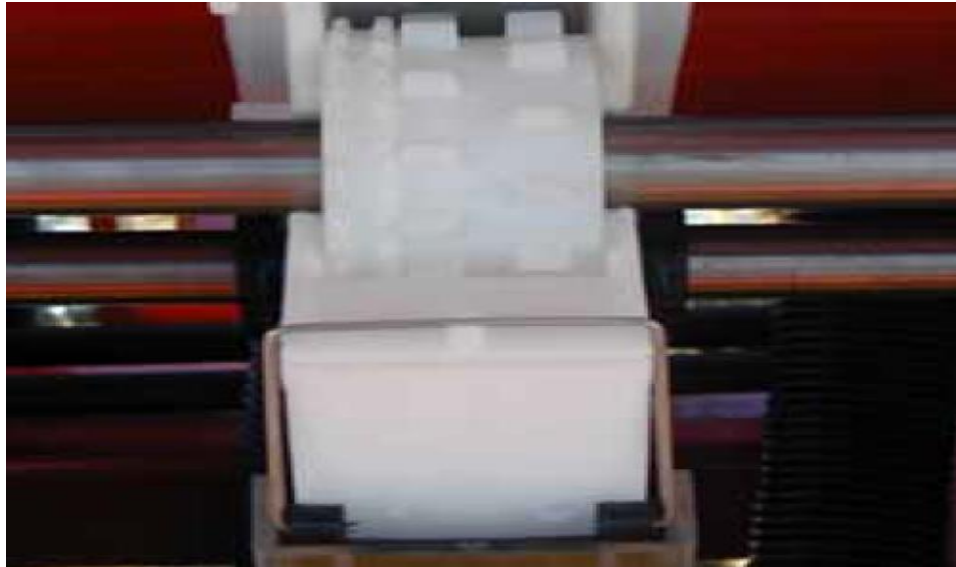


Figura 9 Vista trasera de un dosificador de tipo tachonado de fuerza externa.

Los métodos típicos de los cambios en la densidad de siembra del rodillo tachonado se pueden realizar de la siguiente manera:

- Ajustar la velocidad de rotación del rodillo tachonado en relación con la velocidad de avance.
- El ajuste de la aleta o placa base de posición para acomodar diferentes tamaños de semillas.

### **C. Dosificador de alimentación de fuerza interna.**

Este dispositivo también conocido como dosificador de doble ejecución, emplea un elemento giratorio en forma de disco con rebordes de doble cara.

La anchura de los rebordes y el tamaño de las corrugaciones en su superficie interna difieren en cada lado del disco, dando lo que se denomina un lado fino y un lado grueso. A medida que el disco gira la semilla se dirige a la parte fina o gruesa del disco (de ahí el término doble carrera), la semilla es movida y se dosifica por esta superficie interna corrugada del reborde (Figura 10).

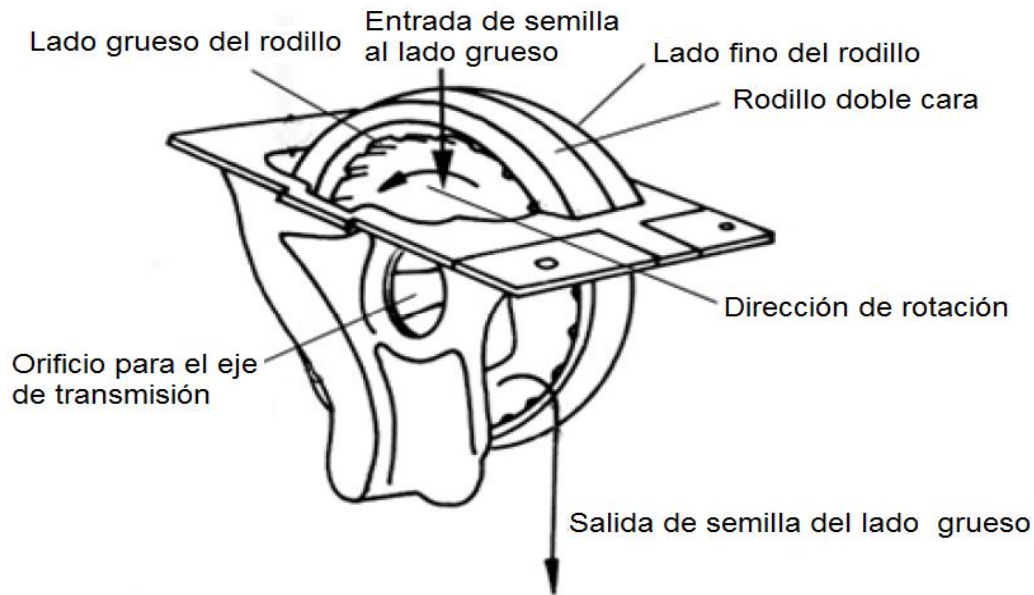


Figura 10 La trayectoria del movimiento de la semilla gruesa a través de un dosificador de alimentación de fuerza interna.

La semilla se dirige al lado fino o grueso por movimiento de un dispositivo o una solapa interior de la tolva de semillas, típicamente el lado grueso se utiliza para dosificar semillas más grandes, mientras que el lado fino se utiliza para dosificar semillas más pequeñas. Para densidades de siembra muy altas en semillas pequeñas estas pueden ser dosificadas por el lado grueso.

Los métodos típicos de ajuste de la dosis de siembra son:

- Ajustar la velocidad de rotación del rodillo en relación con la velocidad de avance.
- Ajustar la solapa o el dispositivo para dirigir la semilla al lado fino o grueso del dosificador y en algunos tipos particulares, el ajuste de la porción inferior de un lado de la carcasa del medidor para reducir efectivamente el ancho del reborde y por lo tanto la densidad de siembra.

La Figura 11 muestra la vista lateral de un típico dosificador de semilla de doble carrera.



Figura 11 Vista lateral de un dosificador alimentado de fuerza interna.

### 2.4.2 Dispositivos dosificadores de precisión.

A diferencia de los dispositivos dosificadores de flujo de masa, los medidores de precisión miden semillas individuales. Si bien existe una amplia gama de dispositivos de medición de precisión la mayoría se pueden clasificar como de plato, correa, disco, tambor o de dedos (Figura12).

La clasificación depende en gran medida del diseño y la forma del elemento móvil, principio que permite el aislamiento de las semillas.

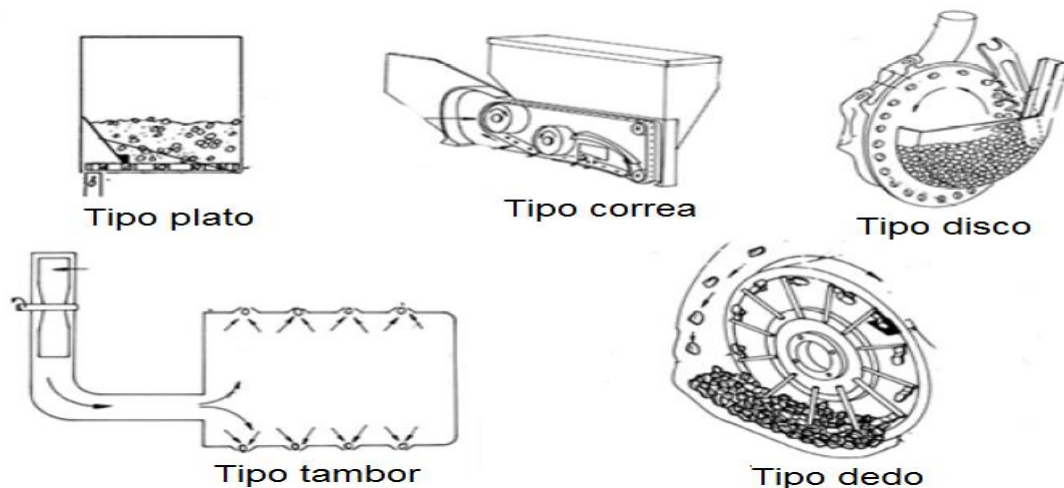


Figura 12 Tipos generales de dispositivos dosificadores de precisión.

## A. Dosificadores de precisión tipo plato.

Los platos dosificadores utilizan principalmente un plato móvil con depresiones, agujeros, celdas o alveolos alrededor de su periferia. Los dosificadores de plato se pueden subdividir como tipo plato horizontal, plato inclinado y plato vertical.

### ➤ Dosificador de precisión tipo plato horizontal.

La Figura 13 representa la forma típica de un medidor de plato horizontal. El plato tienen un número de agujeros o celdas alrededor de su periferia y una porción del plato se expone a la semilla. Si el agujero o celda es del tamaño adecuado, una sola semilla caerá en él a medida que pasa a través del segmento donde el plato es expuesto a la semilla. El plato entonces mueve la semilla al segmento no expuesto donde se expulsa o cae por gravedad en el tubo de suministro de semilla. Un deflector de metal en la interfaz entre las partes expuestas y no expuestas se asegura de que ninguna semilla que no esté dentro de un orificio o celda pueda salir de la tolva al punto de entrega.

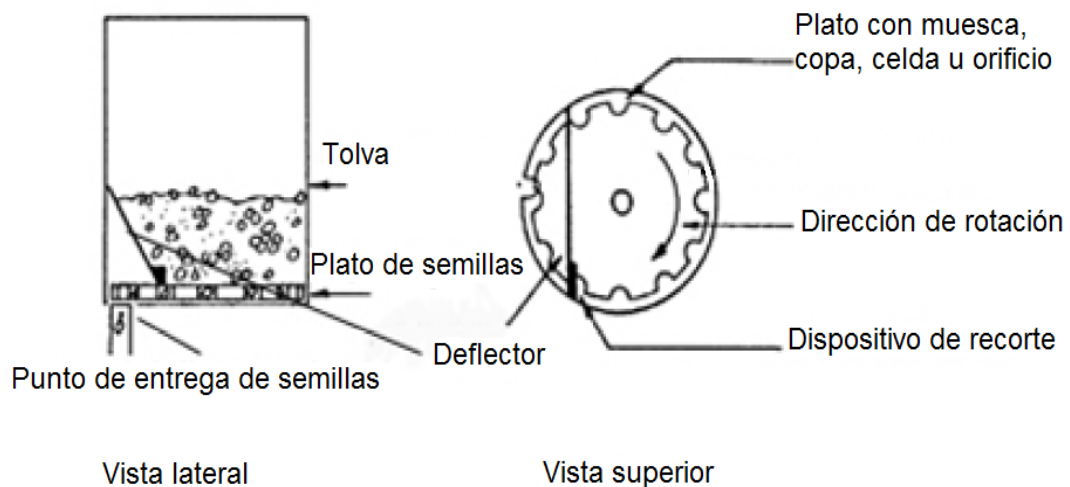


Figura 13 Vista lateral y superior de un dosificador de plato horizontal.

La densidad de siembra se alterada cambiando la relación de velocidad del plato o cambiando a un plato con más o menos agujeros o celdas. En general, el diámetro

del agujero o celda y el espesor del plato se varían para adaptarse a un tamaño particular de la semilla.

El rendimiento preciso depende de la utilización de semillas graduadas y la selección de un plato apropiado para el tamaño de las semillas.

La Figura 14 muestra la vista superior y trasera de un dosificador de plato horizontal. La vista superior muestra la porción expuesta del plato a la semilla en la base de la tolva, también muestra el deflector de cierre que asegura que sólo las semillas que están contenidas en las celdas pueden salir de la tolva.



Figura 14 Vista superior y trasera de un dosificador de plato horizontal.

➤ **Dosificador de precisión de tipo plano inclinado.**

El medidor de plato inclinado tiene los mismos componentes y principios de funcionamiento que el medidor de plato horizontal excepto que el plato gira en un plano inclinado (Figura 15). En general, el segmento del plato expuesto a la semilla es más pequeño debido al ángulo de inclinación del plato y al mecanismo de corte, que suele ser un rodillo de espuma, este ángulo de inclinación no necesita ser tan agresivo.

Mientras que el medidor de plato inclinado tiene limitaciones en común con el plato horizontal, como la necesidad de tener graduada la semilla y las celdas acorde al tamaño de la semilla, el plato inclinado causa menos daño a las semillas frágiles debido al proceso de individualización menos agresivo.

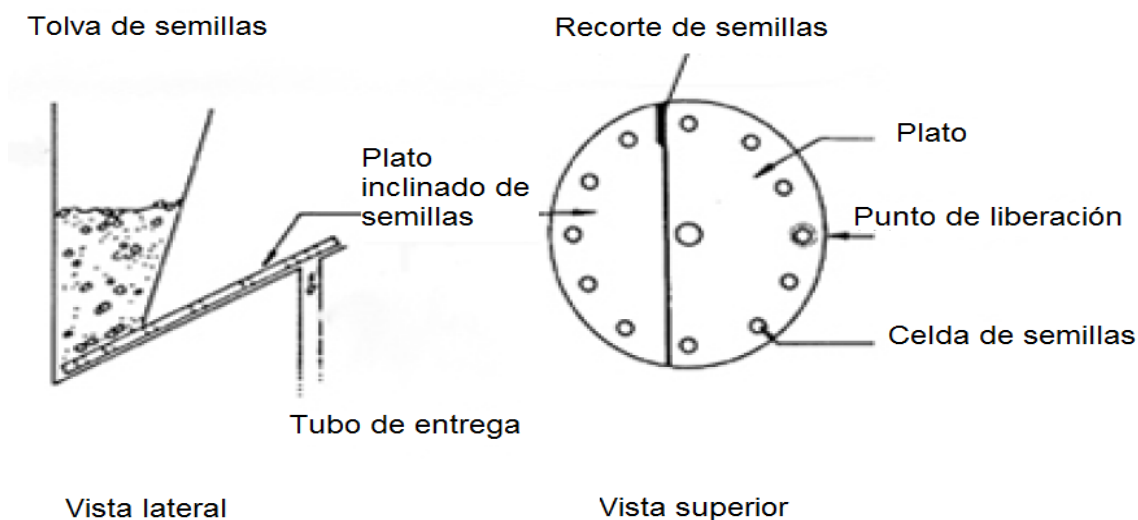


Figura 15 Vista lateral y superior de un dosificador de plato inclinado.

La Figura 16 muestra el plato inclinado en la base de la tolva de semillas con y sin la placa deflector de semillas en su lugar. En la posición de funcionamiento, el deflector restringe la porción de la placa expuesta a la semilla y la espuma del trinquete de corte se muestra cuando el deflector ha sido retirado.



Figura 16 Vistas de un plato inclinado con y sin deflector de semillas en su lugar.

La Figura 17 muestra la vista trasera del mismo dosificador. Se muestra la base de la tolva de semillas y el plato inclinado respecto a la horizontal, también se muestra el mecanismo de accionamiento del plato, el trinquete de expulsión y el tubo de suministro de las semillas.

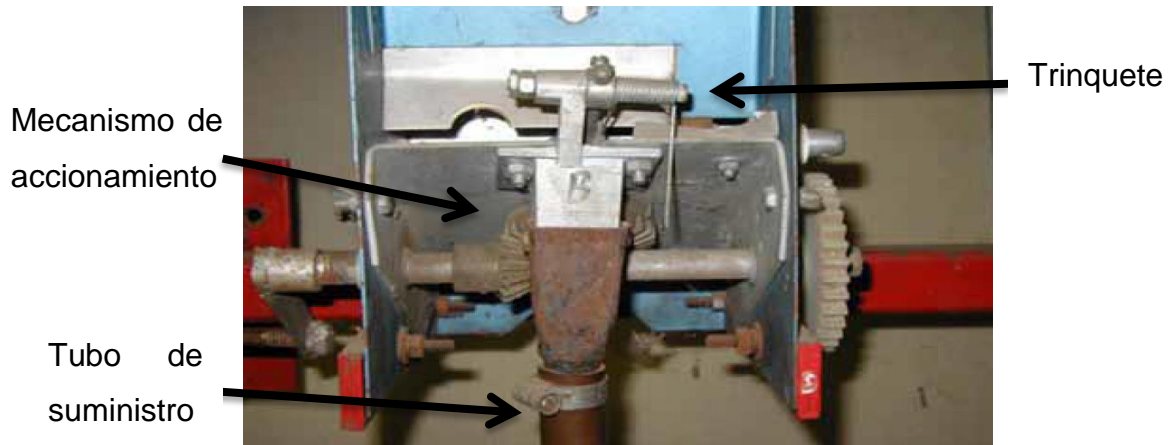


Figura 17 Vista trasera de un dosificador de plato inclinado.

Cuando se utilizan muescas de tipo copa en lugar de agujeros en el plato para separar la semilla, no hay necesidad de tener un dispositivo de corte porque cualquier semilla que no quede parcialmente encerrada en la copa cae de nuevo a la porción de semillas.

Una limitación del dosificador de plato inclinado es la tendencia de las semillas para ser desalojadas de los agujeros o de las celdas antes de ser depositadas en el tubo de suministro de semillas, particularmente cuando se opera a mayores densidades de dosificación.

Esto es causado por la vibración excesiva cuando se desplaza sobre terrenos irregulares y/o la fuerza centrífuga generada por la alta velocidad del plato, lo último puede ser superado mediante el uso de dos platos para alimentar a un tubo de suministro de semillas, esto permite que reducir a la mitad la velocidad de rotación del plato para una densidad de siembra dada.

La Figura 18 muestra una unidad con dos platos inclinados de alimentación de un tubo de suministro de semilla común, un deflector entre la tolva de semilla y la cámara de dosificación se utiliza para ajustar la cantidad de semillas expuestas a

la parte inferior del plato. Debido a que el plato tiene un alto grado de inclinación no hay necesidad de un dispositivo de corte.



Figura 18 Dobles dosificadores de plato inclinado entregan semilla a un tubo de suministro común.

Como otros platos dosificadores la densidad de siembra se cambia mediante la relación de velocidad del plato o cambiando el plato con más a menos agujeros o celdas, en cualquier caso, la semilla debe ser clasificada y los agujeros o celdas adaptadas a este tamaño de la semilla para un rendimiento óptimo en la dosificación.

➤ **Dosificadores de precisión de plato vertical.**

Los dosificadores de tipo plato vertical pueden ser sub-clasificados como mecánicos, asistidos por aire o asistidos por cepillos dependiendo del método de individualización (Figura 19).



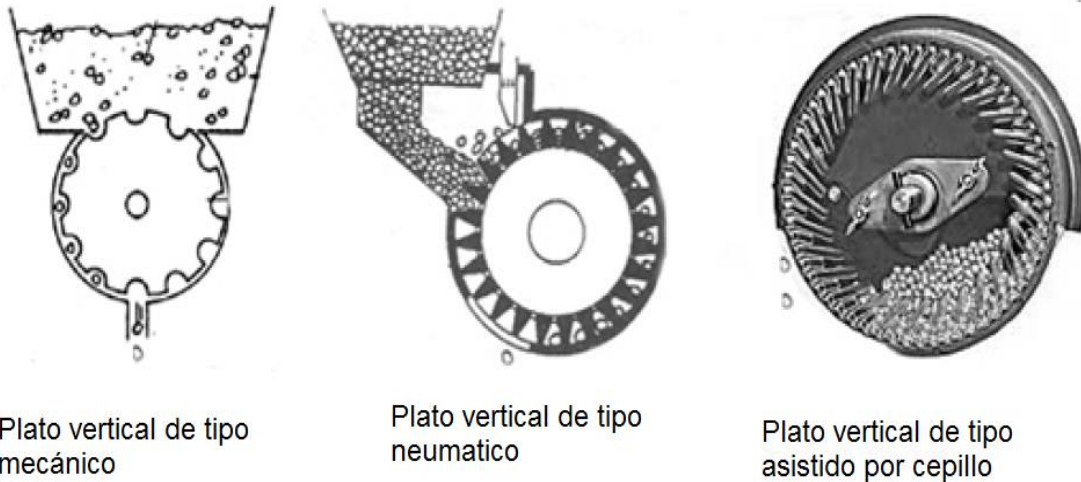


Figura 19 Dosificadores generales de tipo plato vertical.

➤ **Dosificador de plato vertical tipo mecánico.**

La Figura 20 muestra la forma típica de un dosificador de plato vertical mecánico. Al igual que con los tipos de platos horizontales e inclinados, las semillas están separadas por medios mecánicos, debido a que depende que coincida el tamaño de la semilla con el tamaño de las celdas en el plato. La parte superior del plato se expone a la semilla y la estrecha tolerancia entre el plato y la carcasa provee tanto corte como retención de las semillas en las celdas, hasta el depósito en el sistema de suministro de semillas en la base del dosificador.

Típicamente la velocidad de dosificación se ajusta cambiando la relación de velocidades del plato o mediante la selección de un plato con celdas más o menos alrededor de su periferia. El rendimiento del dosificador de semillas depende en gran medida del uso de semillas graduadas y el emparejamiento de las semillas con el tamaño de las celdas.

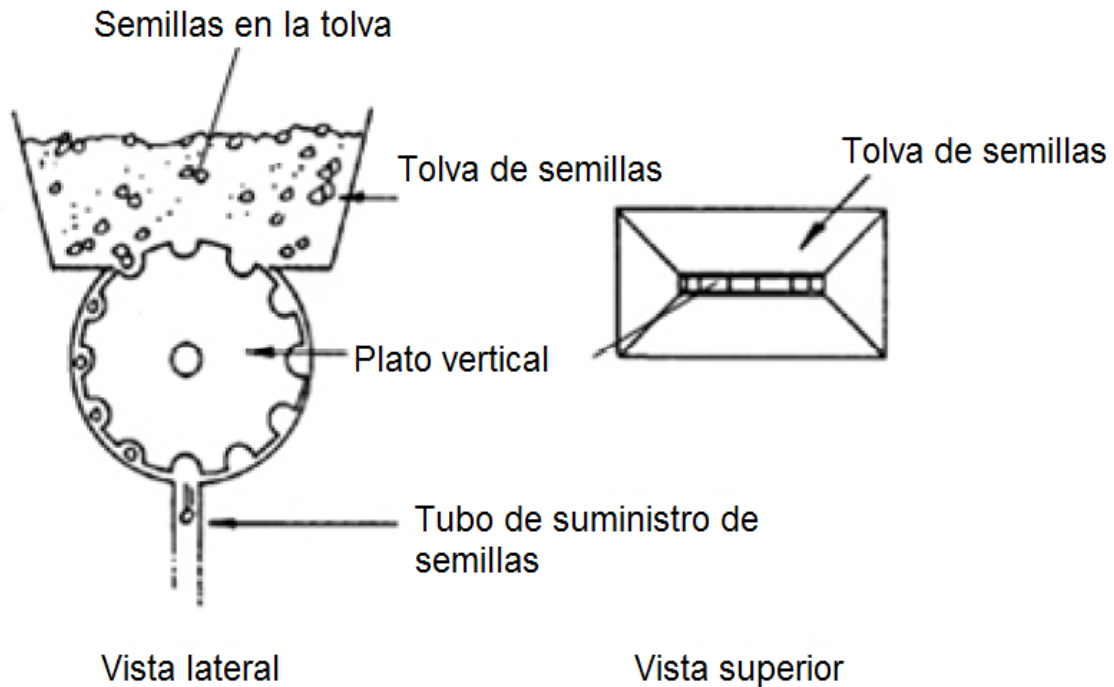


Figura 20 Vista lateral y superior de un dosificador de plato vertical mecánico.

La anchura del cuerpo dosificador es generalmente fija, de modo que la anchura total del plato debe permanecer constante, independiente del tamaño de la semilla. El plato en realidad se compone de varios platos más delgados emparejados de grosor variable, para tener en cuenta el tamaño de la semilla, así como la anchura de la cámara del plato.

La Figura 21 muestra la vista superior y lateral de una unidad de plato vertical usado en la producción de hortalizas. La vista superior muestra la porción expuesto a la semilla mientras que la vista lateral muestra la tolva de semillas y el dosificador en un tipo de abre surcos. En la vista superior se puede observar que, en este caso, el plato está compuesto de dos platos, cada uno de igual espesor y que tienen la misma dimensión en las celdas.



La porción expuesta del plato vertical a la base de la tolva



Dosificador de plato vertical incluyendo el abridor

Figura 21 Vista superior y lateral del dosificador de plato vertical para hortalizas.

➤ **Dosificador de plato vertical asistido por aire.**

El plato vertical asistido por aire difiere de otros dosificadores de plato en que su plato es comparativamente grande, las celdas son de forma cónica ventiladas alrededor de su periferia, la individualización de semillas se lleva a cabo con un chorro de aire comprimido. El plato se alimenta externamente justo por encima de su línea central y cada una de las celdas es suficientemente grande para contener un número de semillas (Figura 22).

Antes de llegar al punto más alto de la placa, cada celda se expone a un chorro de aire comprimido, esto remueve todo menos una semilla que cubre la sección de ventilación en la base de las celdas en forma de cono invertido. Las semillas adicionales retiradas de la celda simplemente caen de nuevo sobre la superficie del lote de semillas. La única semilla es transportada al punto de salida en la parte base del alojamiento del plato. Un expulsor fijo corriendo en la ranura de ventilación del plato y situada en la base de la carcasa, se utiliza a menudo para asegurar que las semillas individuales se expulsan de la celda.

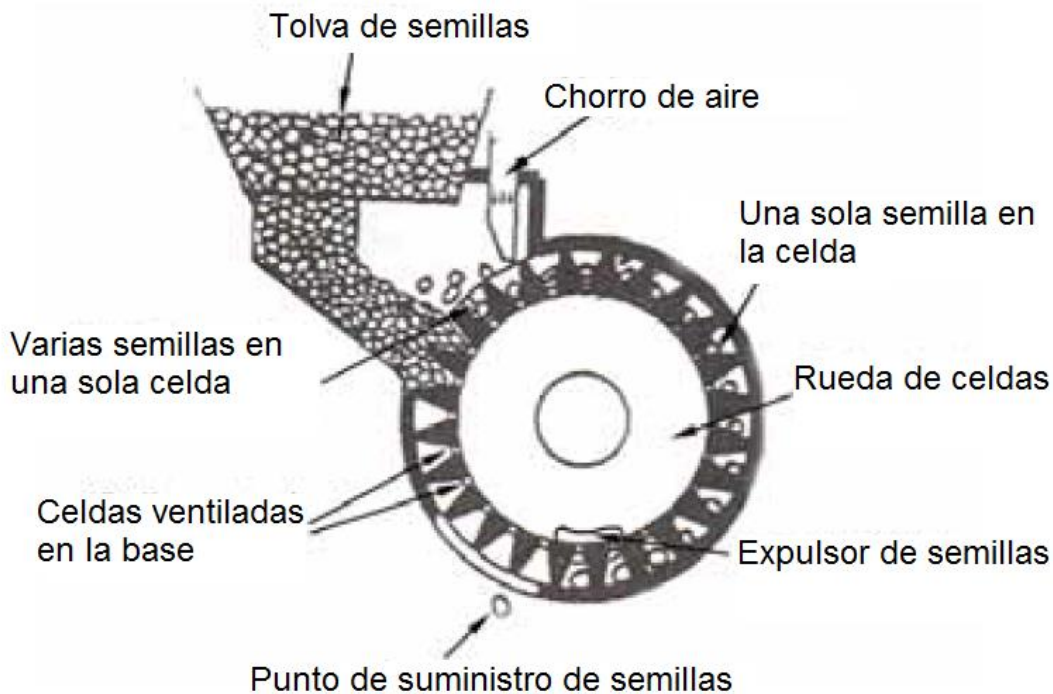


Figura 22 Una representación en sección transversal de un dosificador de plato vertical asistido por aire.

Los dosificadores de plato vertical asistidos por aire tienen dos grandes ventajas sobre aquéllos que dependen exclusivamente de los métodos mecánicos de individualización. En primer lugar, son más capaces de individualizar semillas que no tienen una forma esférica regular (por ejemplo, maíz, girasol, cártamo, melón, etc.) y en segundo lugar no se requiere tener semillas graduadas.

Un solo plato con tamaño apropiado de celdas, puede manejar la gama típica de tamaños de semillas dentro de una especie dada.

Sin embargo en comparación con otros platos dosificadores, estos medidores son caros de fabricar (debido a la tolerancia y grado de maquinado requerido para hacer los platos y carcasas, etc.) y su operación también es muy costosa (a causa de los requerimientos de alimentación, asociado con el ventilador utilizado para proporcionar el suministro de aire comprimido).

La Figura 23 muestra la exposición del plato vertical en la base de la tolva (la vena de aire comprimido removedor) y la forma de un plato típico usado en los dosificadores verticales asistidos por aire.



Base de la tolva de semillas (vena de aire removedora)

Un plato con celdas de forma conica

Figura 23 Una vista de la tolva de semillas y un plato vertical dosificador asistido por aire.

#### ➤ **Dosificador de plato vertical asistido por un cepillo.**

Los dosificadores de plato vertical asistidos por un cepillo tienen un plato con una serie de ranuras alrededor de su periferia (Figura 24).

Las ranuras tienen un área de sección transversal adaptadas al tamaño de semilla, pero la ranura es lo suficiente larga para acomodar un número de semillas.

El plato se alimenta internamente de una cámara de semillas en la base del plato, donde el nivel de semillas se ajusta y se mantiene por la posición del plato opresor.

Un aro de cepillo (mostrado en la Figura 24) con una capa continua de cerdas cortadas se colocan en la parte superior del plato y se fija a la carcasa de manera que las cerdas extienden una semilla a lo ancho de desde el borde del plato alrededor de dos tercios superiores del plato.

Como el plato gira junto con el segmento expuesto de la semilla, un número de semillas caen en las ranuras, a medida que continúa moviéndose dentro de la región de la brocha sólo, la semilla del extremo de la ranura se mantiene en la ranura por la escobilla, todas las otras semillas caen de nuevo a la porción de semillas.

La única semilla en cada ranura es sostenida por un cepillo hasta que el plato se mueve al punto de descarga, donde termina el cepillo y cae la semilla al tubo de suministro de semillas.

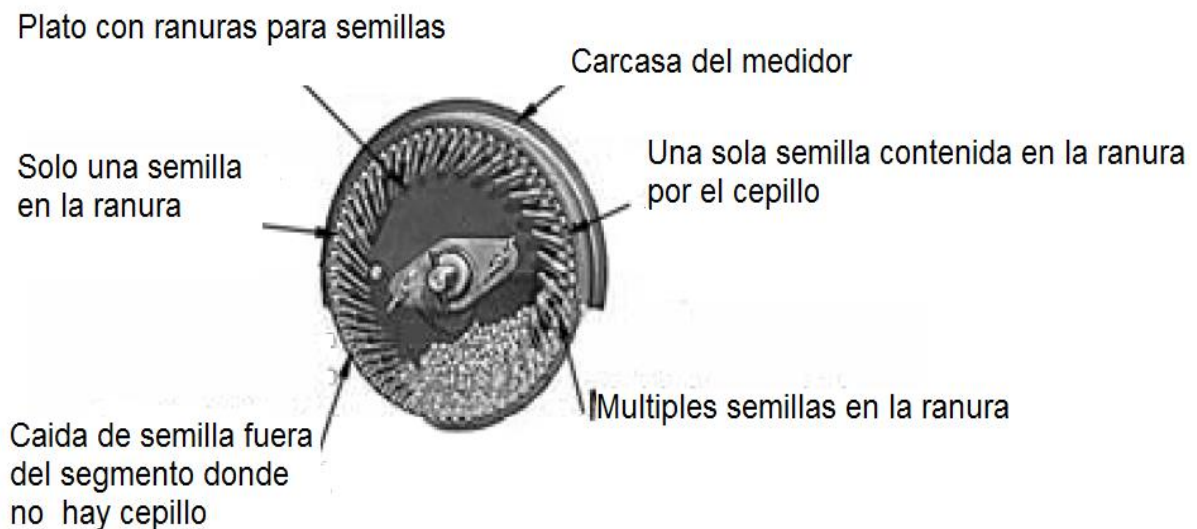


Figura 24 Vista en sección transversal de un dosificador de plato vertical asistido por un cepillo.

La Figura 25 muestra una vista más detallada del alojamiento del plato asistido por un cepillo. Con el plato removido, el cepillo que se extiende alrededor de la circunferencia de la carcasa del plato es visible. Además se nota la parte exterior radialmente alineada a la ranura de la semilla, donde una sola semilla se sostiene por el cepillo cual es visible en la vista ampliada del plato correspondiente.

Las principales ventajas del plato vertical asistido por cepillo son la simplicidad de diseño y la capacidad de la combinación del cepillo y la ranura para permitir una dosificación precisa sin la necesidad de utilizar semilla graduada.



Carcasa del plato



Plato vertical (ampliado)

Figura 25 Carcasa y plato vertical de un dosificador asistido por cepillo.

### **B. Dosificador de precisión de tipo correa.**

Los dosificadores de precisión tipo correa son similares a los dosificadores mecánicos en el principio de operación pero diferentes sustancialmente en que el plato es remplazado por una correa de goma continua de anchura y espesor fijo con agujeros, compatibles en el tamaño de la semilla, igualmente espaciados a lo largo de su longitud.

Como se muestra en la Figura 26 las semillas caen desde la tolva hacia dentro de la cámara de alimentación donde se expone a una porción de la correa, la cantidad o profundidad de la semilla en la cámara de alimentación necesita ser regulada para evitar una sobrecarga al sistema o el desgaste excesivo de los mecanismos. La profundidad requerida de la semilla depende del tamaño de la semilla y se ajusta cambiando el tamaño de la placa que cubre parcialmente la apertura entre la tolva y la cámara de dosificación. Una placa de base estacionaria, situada debajo de la cinta a lo largo de la longitud de la cámara de dosificación, detiene la semilla que cae a través de la correa.

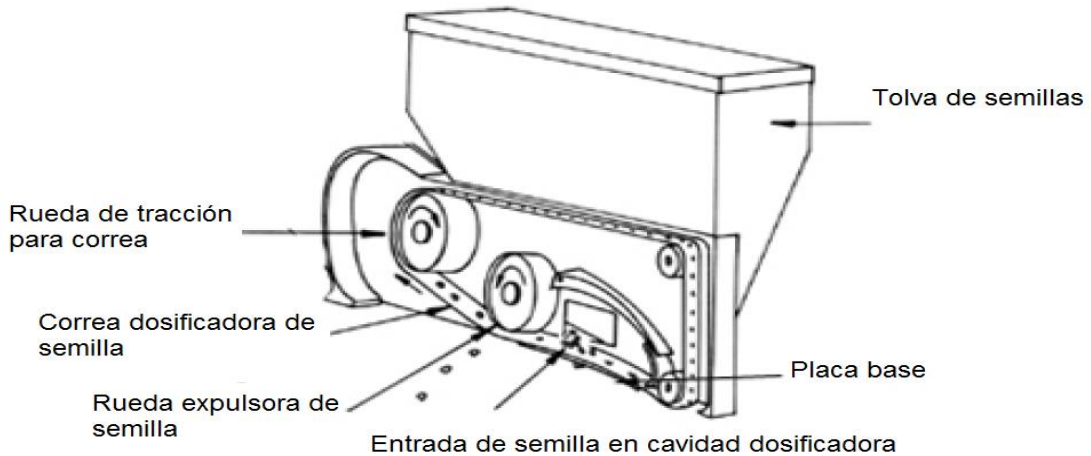


Figura 26 Representación esquemática de un dosificador de semillas de precisión típico de tipo correa.

Como todas las correas tienen el mismo espesor, se requiere una combinación particular de la placa base y el tamaño del agujero para cada tamaño diferente de la semilla, en otras palabras se busca la combinación óptima del diámetro de agujero de la correa, el grosor de la correa, la profundidad y la anchura de la ranura en la placa base para formar un tamaño de celda de semilla particular.

La Figura 27 muestra la combinación de la correa y la placa base para una semilla pequeña, redonda con un espesor de la correa (por ejemplo, semilla de sorgo).

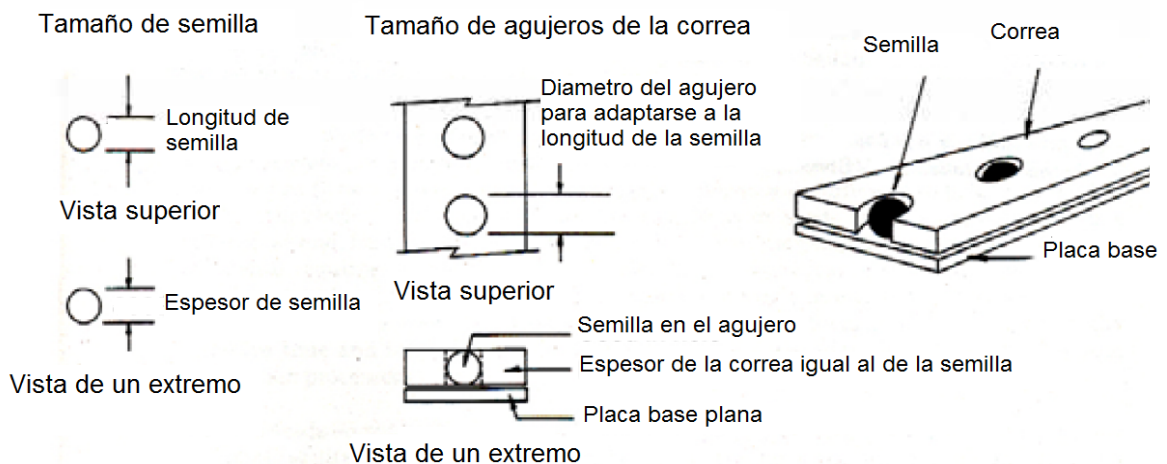


Figura 27 Ejemplo de la combinación de la correa y la placa base para una pequeña semilla redonda.



La Figura 28 muestra la combinación para semilla grande cilíndrica (por ejemplo la semilla del frijol).

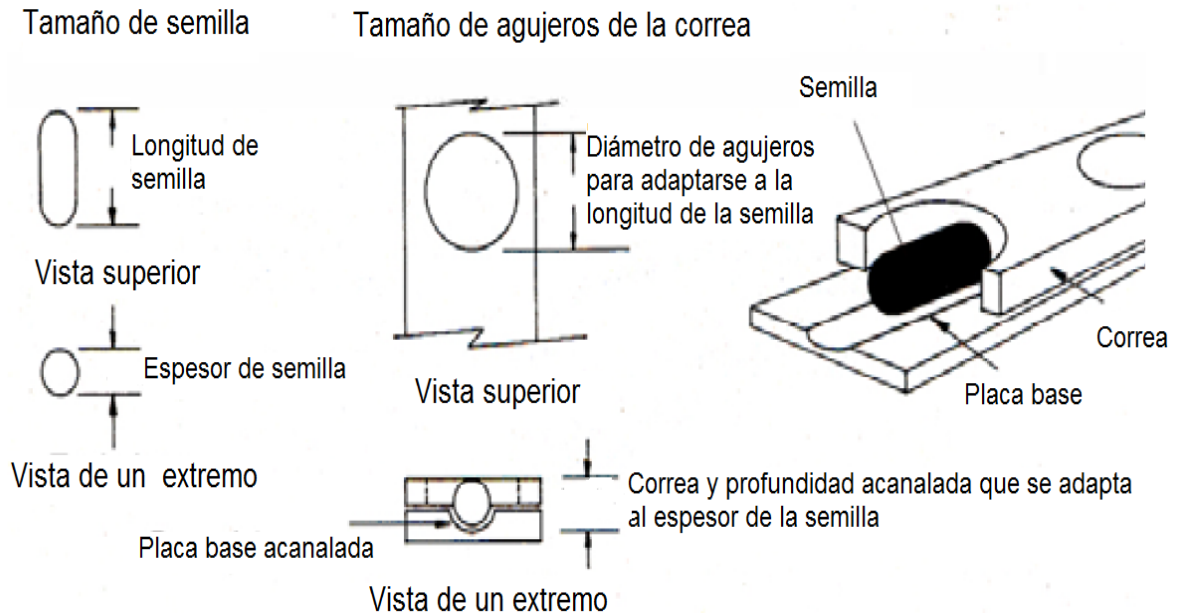


Figura 28 Ejemplo de la combinación de la correa y la placa base para una semilla grande cilíndrica.

La rueda expulsora asegura que las semillas que no queden atrapadas completamente en las celdas permanezcan en la cámara de medición y no puedan pasar al otro extremo de la banda.

La exactitud de la medición depende de criterios similares a los otros contadores mecánicos de plato, es decir uniformidad en tamaño de la semilla, la igualación de tamaño de celda y la semilla, y la velocidad de la correa. La densidad de siembra se ajusta por la alteración de la velocidad de la banda con respecto a la velocidad de avance y el número de agujeros por unidad de longitud de la correa.

El tamaño incorrecto de las celdas respecto a las semillas aumenta el potencial de daño mecánico a la semilla durante el proceso de dosificación.

La Figura 29 muestra una vista lateral de una unidad de dosificación de precisión de tipo correa con la placa lateral y la base retiradas. También muestra la correa de medición de la misma unidad.



Vista lateral de un dosificador tipo correa

Correa de medición

Figura 29 Vista lateral de un dosificador de precisión de correa sin la cubierta lateral.

### C. Dosificador de precisión tipo disco neumático de vacío.

El dosificador de precisión de disco neumático por vacío es ahora el estándar de la industria, a pesar de que se han desarrollado sistemas de dosificación de disco a presión. Esencialmente, este sistema consiste en una tolva de semillas, un alojamiento dividido, un disco giratorio vertical que tiene una fila de agujeros alrededor de su circunferencia y un ventilador o soplador.

El disco difiere del plato utilizado en los sistemas de dosificación de plato en que la semilla no cae dentro del plato, ni pasa a través de las celdas del plato, los agujeros y el grosor del disco no participan en el proceso de individualización de semilla. Además no hay necesidad de hacer coincidir correctamente el tamaño de la semilla con el tamaño del agujero, aparte de garantizar que el diámetro del agujero debe ser más pequeño que la dimensión más pequeña de la sección transversal de la semilla del lote de semillas, para asegurar que las semillas no puedan pasar a través del agujero.

Como muestra la Figura 30 el disco gira entre las dos mitades de la carcasa y se expone a una presión negativa (vacío) en un lado y a la semilla en el otro.

Cuando gira el disco, cada agujero pasa a través del lote de semillas y recoge una o un número de semillas como resultado de la diferencia de presión a través del disco, es decir las semillas se mantienen por succión en el agujero. A medida que el disco sigue girando, las semillas unidas a un agujero son sometidas a los efectos de un limpiador que puede ajustarse para cubrir más o menos el diámetro del agujero.

Si el limpiador se ajusta correctamente todas las semillas, excepto una será retirada de cada hoyo y las demás caerán por gravedad al montón de semillas. A continuación, las semillas individuales son llevadas por el disco hacia la base del dosificador donde se elimina la diferencia de presión y la semilla cae en el sistema de suministro de semillas, por consiguiente el rendimiento de dosificación depende principalmente de una combinación de las siguientes cosas:

- Asegurar que el tamaño del agujero del disco sea el mínimo requerido para evitar el paso de la semilla más pequeña del lote de semillas en los orificios de la pieza.
- Seleccionar el diferencial de presión correcto a través del agujero.
- Ajuste de la escobilla en la posición correcta para lograr la individualización de la semilla.
- Asegurar que la velocidad del disco no supere la requerida para que las semillas puedan ser adheridas al disco.

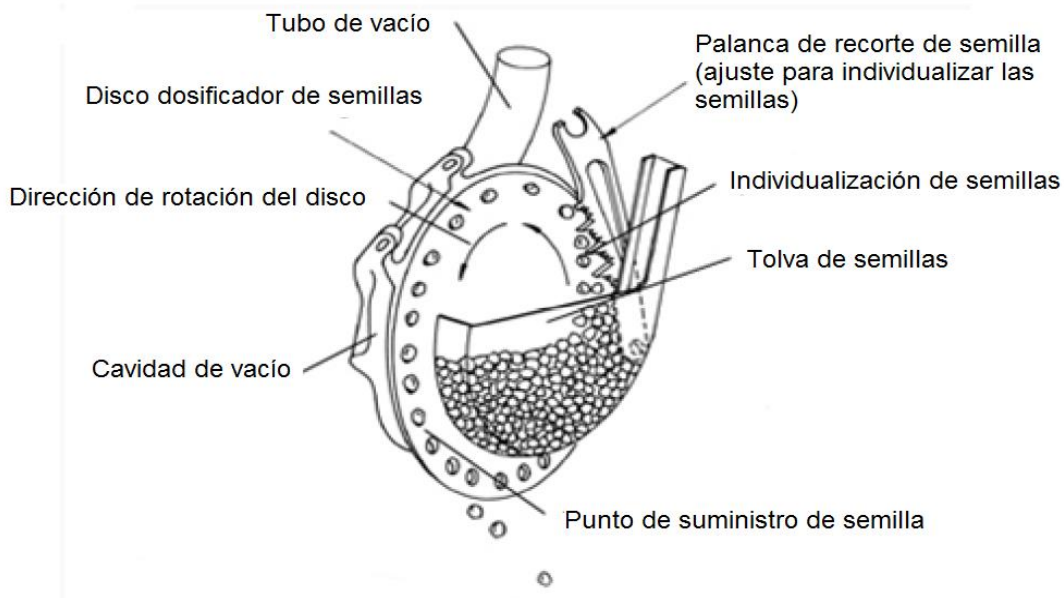


Figura 30 Representación esquemática de un dosificador de semillas de precisión de tipo disco de vacío.

El nivel de vacío debe ajustarse de modo que la diferencia de presión sea suficiente para mantener la semilla al disco pero también pueda permitir la individualización por el limpiador de semillas. Las semillas más pesadas requieren una diferencia de presión mayor.

Para una semilla dada se requiere que el diámetro del orificio sea menor y por consecuencia será mayor la diferencia de presión.

El ajuste de la posición del limpiador es fundamental para el desempeño de la medición, el ajuste incorrecto da como resultado el aumento de incidencias (dos semillas por hoyo) o accidentes (sin semillas por hoyo).

La velocidad del disco excesiva reduce el desempeño de medición, ya que se restringe el tiempo de exposición de cada agujero para el lote de semillas y aumenta la fuerza requerida para mantener la semilla durante los procesos de recolección e individualización.

La densidad de dosificación de semillas se ajusta cambiando la velocidad del disco con la relación de velocidades de avance y mediante la selección de un disco con más o menos agujeros alrededor de su circunferencia.

La Figura 31 muestra la vista lateral de una unidad de dosificación de disco de vacío entregando la semilla directamente al surco a través de la cavidad trasera de un abridor de tipo corredor y una vista en la planta de un disco típico de medición de vacío.

Las proyecciones sobre el disco ayudan a agitar las semillas en la cámara de dosificación.



Vista lateral de un dosificador de vacío



Disco dosificador de vacío

Figura 31 Vista lateral de una unidad de dosificación por vacío y el disco componente.

#### **D. Dosificador de precisión tipo tambor.**

Este tipo de dosificador de precisión se compone por una tolva de semillas, un tambor de dosificación de varias filas, un colector de distribución de semillas y una unidad de soplador o ventilador para presurizar la caja del tambor y pueda entregar las semillas al surco.

Un tambor con orificios tiene libertad para girar sobre una placa fija en un extremo. A través de esta placa el aire y las semillas son entregadas al tambor y por medio del tambor salen las semillas para ser entregadas a tubos de suministro (Figura 32). La mayoría de dosificadores de tipo tambor tienen cuatro o seis filas de

orificios igualmente espaciados alrededor de su circunferencia. Al igual que los discos de vacío, el agujero tiene que ser menor que la semilla que se dosifica por lo que en un tambor tiene que ser seleccionado el número adecuado de filas y el tamaño de los agujeros para cada tamaño de semilla.

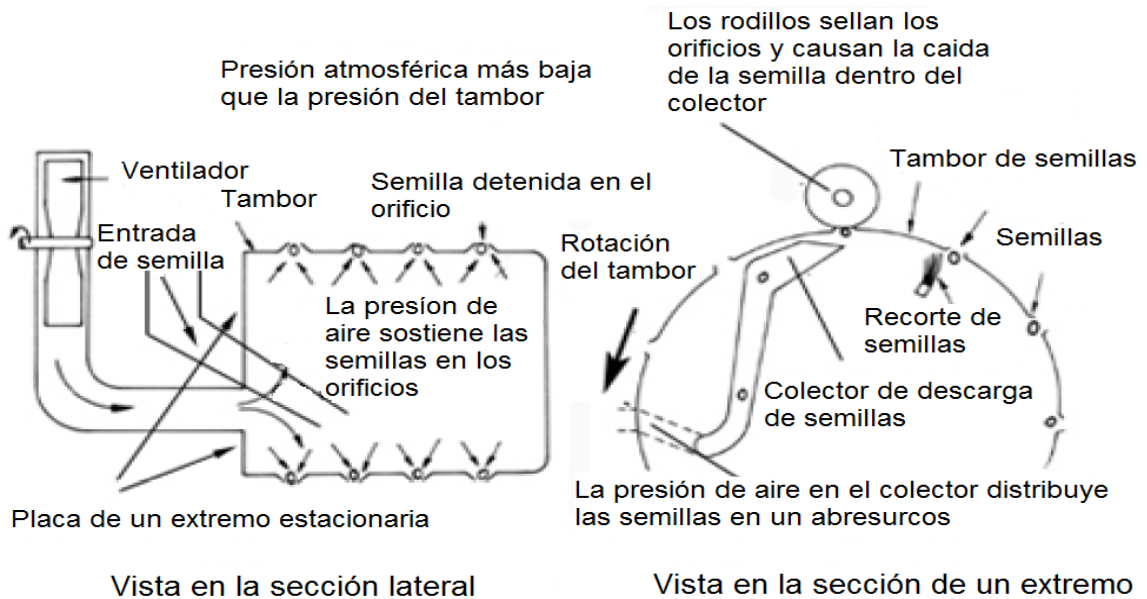


Figura 32 Vistas seccionales de un dosificador de precisión de tipo tambor presurizado.

Las semillas entran al tambor de la tolva de semillas a través de un conductor de entrega que se extiende sobre la superficie interna inferior del tambor. El tambor gira y una o dos semillas se adhieren y luego transportadas por los agujeros a medida que pasan a través del lote de semillas.

La adhesión resulta de la presión diferencial a través del orificio, es decir la presión dentro del tambor es mayor que la presión atmosférica fuera del tambor. A medida que el tambor continúa girando, las semillas pasan por un cepillo de corte que hace que todas las semillas caigan excepto una y esta permanezca en la celda, las demás semillas caen de nuevo al lote de semillas debido a la gravedad.

Cuando el agujero alcanza su posición más alta, un rodillo colocado fuera de los bloques de tambor tapa el agujero parando el diferencial de presión y las semillas caen verticalmente en el colector de descarga.

Las semillas que caen en el colector de descarga entran en un tubo de entrega lo cual se realiza por el flujo de aire que existe en el tubo que va al surco.

La dosificación de alto rendimiento se basa en la selección el tamaño del agujero correcto y el ajuste de la presión óptima para el tipo de semillas en particular.

Para un tambor dado, el ajuste el único medio de ajuste de la densidad de siembra es cambiando la velocidad de rotación del tambor con relación a la velocidad de avance.

Los sistemas de dosificación de tambor presurizados son caros de fabricar y tienen limitada la capacidad de hileras. Aún con la evolución y flexibilidad que ofrecen, por ejemplo los sistemas de dosificación de disco de vacío, se ha registrado un descenso en su popularidad desde mediados de la década de 1980.

La Figura 33 muestra un sistema de siembra con tambor a presión que se utiliza junto con una caña de timón giratorio.



Figura 33 Vista lateral posterior de una unidad de dosificación de semillas de tipo tambor presurizado.

### E. Dosificador de precisión tipo dedo recogedor.

El dosificador de dedo recogedor (Figura 34) se desarrolló inicialmente en un intento de superar el inconveniente de tener que cambiar el tamaño del agujero y por lo tanto la placa, disco o tambor cada vez que un tamaño de la semilla iba a ser de diferente medida.

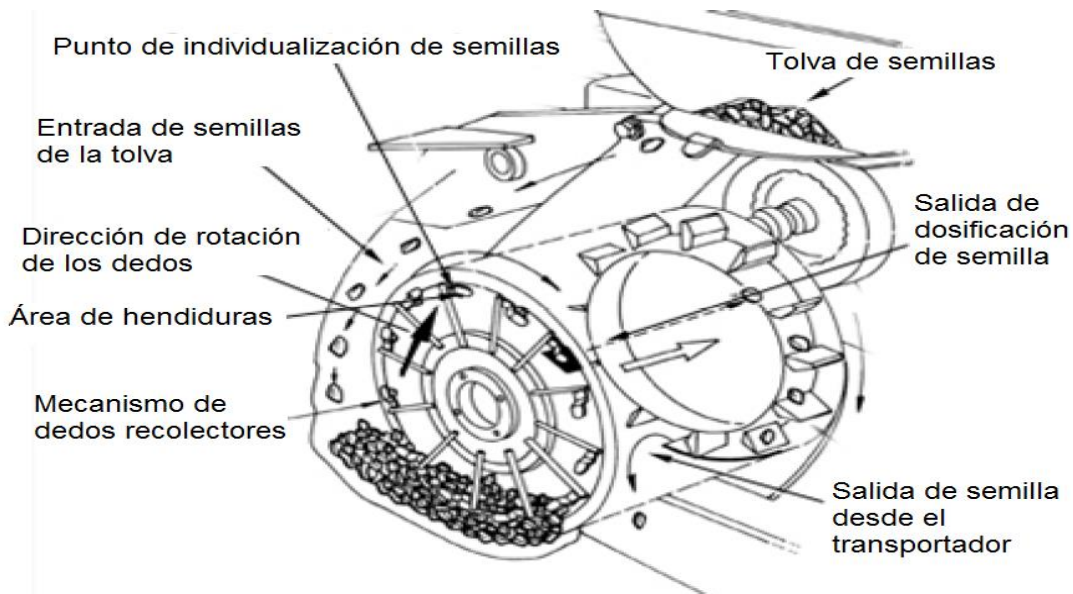


Figura 34 Representación esquemática de un dosificador de tipo dedo recogedor.

Las semillas caen de la tolva a la cámara de recolección en la que un número de dedos, accionados por una leva de resorte giran en un plano vertical. Como los dedos se mueven hacia la base de la cámara, la leva hace que las barras individuales de los dedos giren de manera que el borde de ataque del dedo se levanta a una distancia de la placa de apoyo estacionaria. Mientras que se mueve a través de la gran cantidad de semilla, la leva permite al dedo cerrar de modo que atrapa una o más semillas entre éste y la placa de respaldo. Las semillas atrapadas se elevan desde el lote de semillas y pasan sobre dos áreas de hendiduras en la placa de apoyo, donde se produce la individualización. La única semilla que queda en el dedo se deposita a través de un orificio hacia la parte superior de la placa de respaldo en un sistema de transporte, esto mantiene la



separación de las semillas hasta que se depositan en el sistema de suministro de semillas en la base del dosificador.

La Figura 35 muestra el método de individualización (la sección de hendiduras de la placa de soporte se ve desde arriba). Se muestra la progresión de un dedo cuando se mueve de la izquierda a la derecha a lo largo de la placa de respaldo.

A medida que el dedo de leva controlado por un resorte se cierra sobre la placa de respaldo antes de salir del lote de semillas, tres semillas (en este caso) que se encuentran atrapadas, esperando su traslado hacia arriba a lo largo de la placa de respaldo se aproximan a la primera hendidura como se muestra en la posición 1 donde se libera la primer semilla (y quizás la segunda) y se deja caer verticalmente hacia abajo de nuevo a la gran cantidad de semillas.

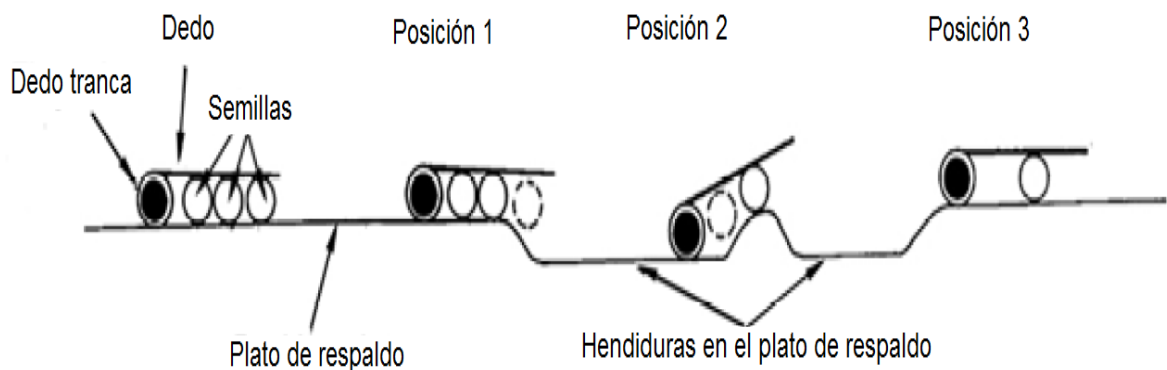


Figura 35 Proceso de individualización utilizado en el dosificador de tipo dedo recogedor.

La semilla se libera debido a la posición de los dedos que es impuesta por la semilla o semillas. Otras oportunidades para realizar la individualización ocurren cuando el dedo sale de la primera hendidura y cuando entra y sale de la segunda hendidura. Por ejemplo en la posición 2 cuando el dedo está dejando la primera posición con dos semillas en el marco del dedo, aquí hay una oportunidad para la segunda semilla de ser liberada debido a que la posición de los dedos está impuesta por la semilla líder ya que llega y es empujada hacia arriba por la pendiente. En el momento que el dedo sale de la segunda hendidura, solo una semilla permanece bajo el dedo como muestra la posición 3.

La Figura 36 muestra la forma de un dosificador típico de dedo recogedor. Una porción de la cubierta externa ha sido retirada para mostrar los dedos, la sección de hendiduras del plato de apoyo y el agujero en la placa de respaldo a través del cual se deposita la semilla a la sección de ascensor.



Figura 36 Ejemplo de un dosificador de precisión de tipo dedo recogedor.

El cambio de velocidad de los dedos de rotación con la velocidad de avance es el único medio de cambiar la densidad de siembra en este tipo de semillas.

Mientras que el dosificador de dedo recogedor sigue siendo utilizado para la medición de grandes lotes de semilla sin necesidad de tener un tamaño graduado, por ejemplo el maíz y el girasol, se prevé que junto con la mayoría de otros tipos de dosificadores de precisión, será reemplazado por un tipo de disco de vacío en el largo plazo.

## **2.5 Tipos de dosificadores para fertilizante granulado.**

Este apartado se desarrolló en base a la revisión bibliográfica de los autores (Baker *et al.*, 2008, Alvarado, 2004, Murillo, 1987, Murray, 2006 Gil, 1995, publicación de la Universidad de Castilla-la Mancha).

### **2.5.1 Dosificadores de tipo rodillo acanalado o dentado.**

Este rodillo tiene el mismo principio del funcionamiento y calibración que el rodillo acanalado que se utiliza para dosificar semillas que se mencionó anteriormente.

### **2.5.2 Dosificador de tipo fondo móvil.**

El dosificador de fondo móvil arrastra el fertilizante hasta el exterior de la tolva gracias a la acción de una cinta transportadora, colocada a lo largo de la tolva.

La cinta, accionada por las ruedas del chasis, va situada de manera que sobresale de la tolva y la distribución de fertilizante se hace con un cilindro giratorio exterior provisto de púas que, al girar a gran velocidad, impulsa las partículas lanzándolas sobre el terreno.

Las variaciones en las dosis de la fertilización se consiguen modificando la velocidad del fondo móvil, controlando la sección de salida del fertilizante y actuando sobre la velocidad de avance del tractor.

Es interesante destacar que la apertura de salida del fertilizante, como va ligada a la velocidad de la cinta transportadora, no debe ser excesivamente estrecha, porque provocaría atascos, ni demasiado ancha, porque produciría falta de uniformidad en el reparto debido fundamentalmente a las sacudidas ocasionadas por el terreno. Estas máquinas, por su simplicidad constructiva, por su robustez, por su uniformidad, gran variabilidad de reparto y por su polivalencia son máquinas que reúnen unas cualidades que las hace muy interesantes.

La Figura 37 muestra la forma de un dosificador típico de fondo móvil, también muestra una máquina que utiliza este sistema dosificador.

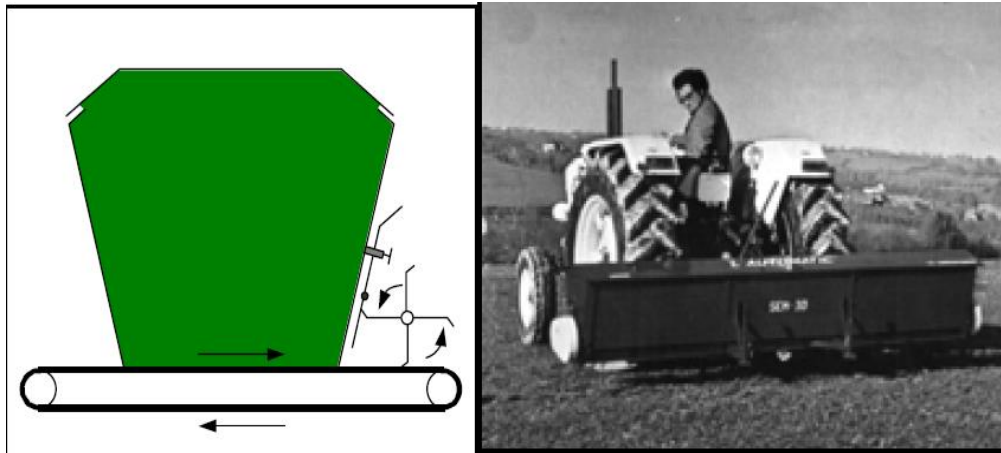


Figura 37 Abonadora con dosificador de abonos de fondo móvil.

### 2.5.3 Dosificador de tipo tornillo sin fin.

El dosificador de tornillo sin fin derrama en mayor o menor cantidad el fertilizante por medio de ranuras u orificios de apertura regulable.

La transmisión se realiza a base de piñones accionados por las ruedas de tracción en conjunto de la máquina y excepcionalmente por la toma de fuerza del tractor.

La Figura 38 muestra un dosificador de tornillo sin fin.

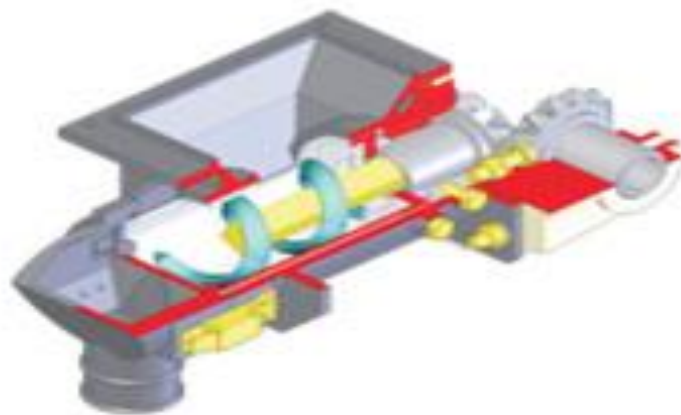


Figura 38 Dosificador de tornillo sin fin.

#### 2.5.4 Dosificador de tipo rulos.

El dosificador de rulos consiste en dos cilindros paralelos colocados en el fondo de la tolva, los cuales al girar obligan a salir al fertilizante.

Este mecanismo permite la fertilización a grandes velocidades. La dosis se controla variando la velocidad de giro de los rodillos para lo que se utiliza una caja de catarinas.

La transmisión de movimientos, se consigue bien con piñones y cadenas o bien con correas trapeziales.

La Figura 39 muestra un sistema dosificador de tipo rulos.

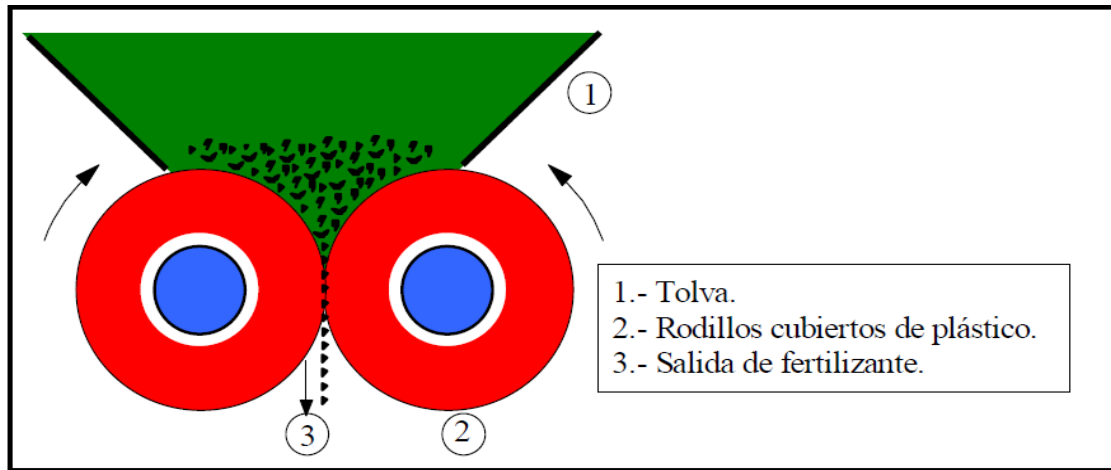


Figura 39 Fertilizadora con dosificador de tipo rulos.

#### 2.5.5 Dosificador de cribas.

El dosificador de cribas se encuentra en el fondo de la tolva y consiste de tres cribas. Las cribas superior e inferior son fijas y la intermedia está dotada de un movimiento alternativo, que abre y cierra los orificios de salida del abono.

La regulación de la dosis de la fertilización se hace controlando la amplitud del vaivén de la criba móvil. El accionamiento se consigue a partir de un par de piñones cónicos, uno de ellos arrastrado por la rueda soporte de chasis, y el otro

soldado a un plato que tiene un tetón excéntrico que mueve la biela de mando de la corredera, como se observa en la Figura 40.

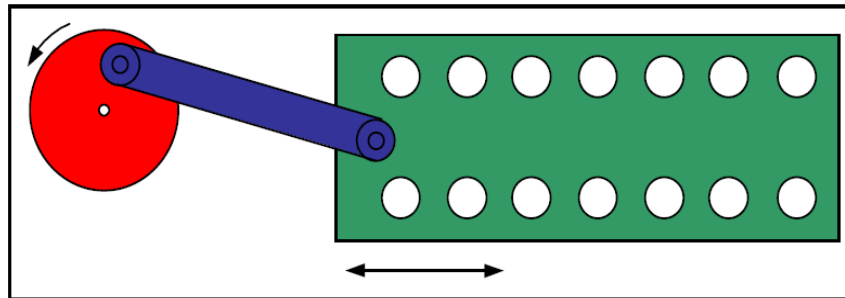


Figura 40 Fertilizadora con dosificador de cribas oscilantes.

### 2.5.6 Dosificador de platos.

El dosificador de tipo platos se caracteriza porque en el fondo de la tolva, se sitúan platos circulares con bordes elevados, colocados horizontalmente de forma que sobresalen de ella, girando cada uno accionados por su correspondiente par cónico de engranajes.

El fertilizante, contenido sobre la parte de los platos que está situada en el interior de la tolva, al girar estos muy lentamente, es sacado fuera de ella. Una vez fuera es expandido por paletas colocadas en un árbol situado longitudinalmente en la tolva, que gira a gran velocidad.

La regulación de las dosis de fertilización, se hace por variación de la apertura de las ventanas de salida, o bien por regulación de la velocidad de giro de los platos. Variando la velocidad de giro de los platos y la apertura de las compuertas se puede conseguir muy diferentes dosis de fertilización y una total adaptación de la máquina a las características del fertilizante.

El la Figura 41 se muestra una fertilizadora con dosificador de platos

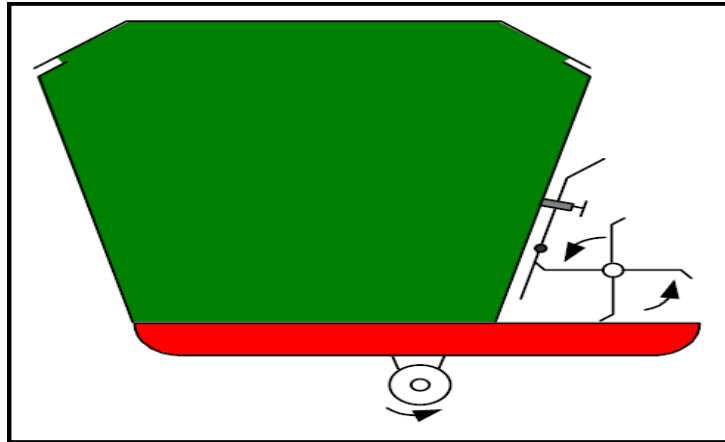


Figura 41 Fertilizadora con dosificador de platos.

### 2.5.7 Dosificador de tipo ventana.

El dosificador de tipo ventana se caracteriza porque en el fondo de una tolva en forma de tronco de cono o de pirámide, tiene ventanas con aperturas y cierre regulables, por las que cae el fertilizante, en un tubo troncocónico dotado de un movimiento pendular en uno o dos discos colocados horizontalmente y animados de un movimiento de giro de gran velocidad angular.

La Figura 42 muestra una maquina fertilizadora de tipo ventana la cual tiene la particularidad que el ancho de la dosificación del fertilizante es mayor respecto al ancho de la tolva.



Figura 42 Fertilizadora pendular con dosificador de ventana.

Los discos poseen nervaduras radiales con las que los gránulos son arrastrados y proyectados sometidos a la acción de la fuerza centrífuga originada, cubriendo una gran anchura de terreno.

Las formas de las nervaduras inciden en la trayectoria seguida por las partículas de abono, en la distancia alcanzada y en la distribución.

Las formas más usuales de las nervaduras en los discos son las que se muestran en la Figura 43.



Figura 43 Nervaduras en discos y detalle de salida de fertilizante.

La regulación de la dosis de fertilización se puede conseguir de las siguientes maneras:

- Variando la superficie de las ventanas de salida del fertilizante, con lo que se modifica el caudal de producto que llega al plato
- Variando la velocidad angular del disco, ya que para un caudal constante de salida del fertilizante contenido en la tolva, la anchura del terreno que se fertiliza en una pasada, es función de la velocidad de angular del plato y al haber más velocidad de giro, mayor será la anchura de terreno cubierta y menor será la cantidad de fertilizante por unidad de superficie.



- Variando, para unas determinadas condiciones de trabajo, es decir para un caudal de salida de fertilizante por los orificios de la tolva y para una determinada velocidad de giro del plato, la velocidad de desplazamiento del tractor.

La Figura 44 muestra los reguladores de la ventana de salida del fertilizante, donde se puede observar en las diferentes posiciones del regulador el tamaño de la apertura de la ventana.

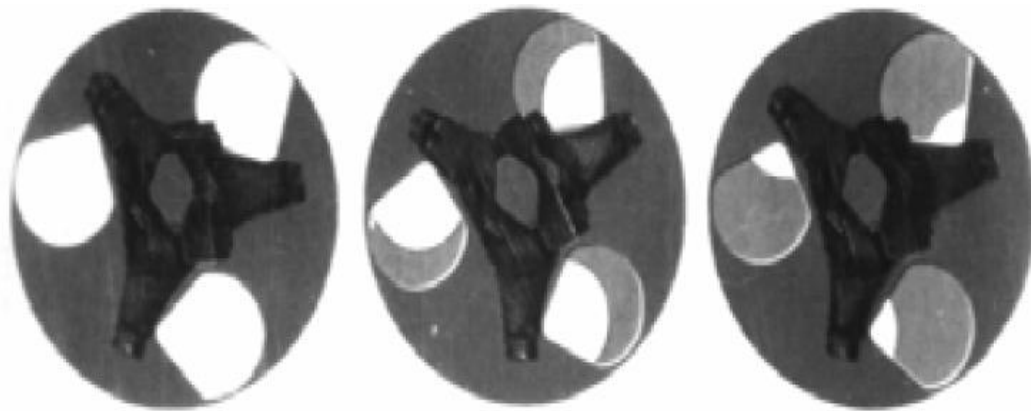


Figura 44 Regulador de dosis.

### **2.5.8 Dosificador de tipo banda de caucho.**

Los dosificadores de tipo banda de caucho poseen una tolva doble, en la que hay ventanas de salida de apertura regulable. Cada una de estas tolvas, alimenta varias bandas de caucho de longitud diferente, que transportan el fertilizante hasta sus extremos. Todos los elementos están colocados en sendas de caja a modo de canaletas elevables para el transporte.

La regulación de la dosis de fertilización se efectúa por medio de ventanas a las que se les regula su superficie, por variación de la velocidad de las bandas de transporte o bien por modificación de la velocidad de avance de la máquina.

La Figura 45 muestra una fertilizadora con un dosificador de tipo banda de caucho.

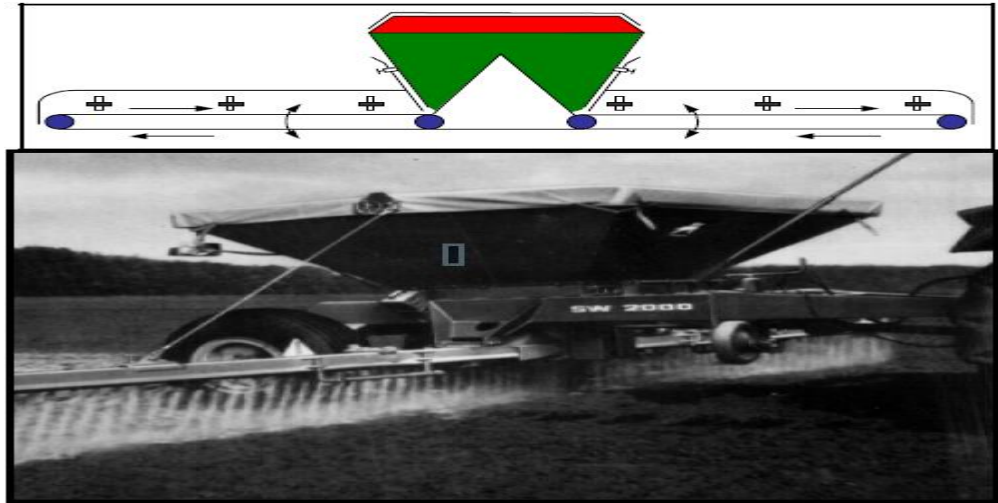


Figura 45 Fertilizadora con dosificador de tipo banda de caucho.

### 2.5.9 Dosificador de tipo neumático.

El dosificador de tipo neumático se caracteriza por transportar el abono por vía neumática hasta los difusores situados en los extremos de brazos de gran longitud, con lo que se consigue una gran anchura de trabajo y una buena homogeneidad de reparto.

En estas máquinas, la tolva normalmente del tipo tronco de pirámide, provista de un agitador, contiene el fertilizante que mediante un difusor de ventana o por la acción de cilindros acanalados, el fertilizante sale en cantidad adecuada y es arrastrado, por el aire producido por una gran turbina y conducido por tubos que lo llevan hacia los difusores y éstos lo distribuyen en el terreno.

En las fertilizadoras neumáticas con dosificador de ventana la corriente de aire creada por la turbina crea por efecto Venturi una depresión que arrastra el fertilizante.

A continuación de ser aspirado, es enviado por un tubo vertical a una cabeza de reparto por incidencia del chorro en una superficie cónica, que alrededor de ésta, se encuentran una serie de orificios situados y uniformemente repartidos, la cual conectan con tubos hacia los difusores correspondientes que lo reparten sobre el suelo.

La Figura 46 muestra en el lado izquierdo una fertilizadora que funciona mediante un dosificador neumático de orificio regulable y el lado derecho se muestra el efecto Venturi.

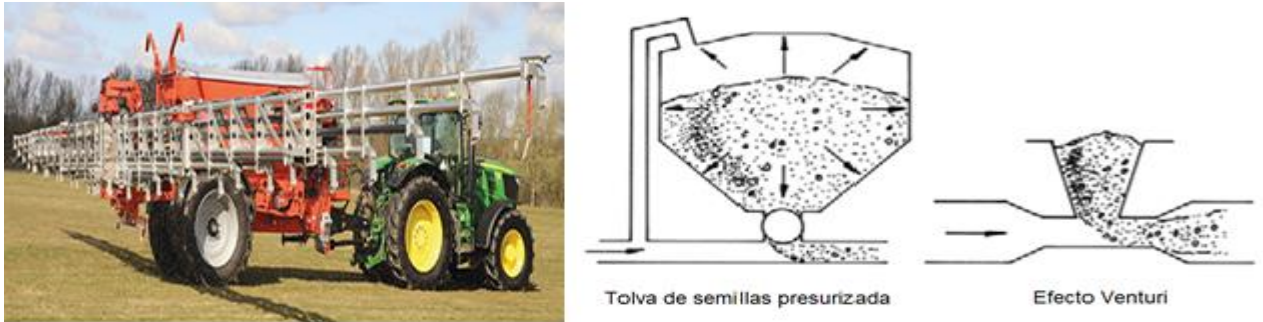


Figura 46 Distribuidor neumático con dosificador de orificio regulable.

En las fertilizadoras neumáticas con cilindro acanalado, el fertilizante es obligado a salir de la tolva y cae en una corriente de aire que se divide para pasar a los diferentes conductos que llegan a los difusores.

La dosis adecuada se consigue, por regulación de la superficie del orificio, por la variación de rotación del cilindro acanalado o por cambio de piñones.

La Figura 47 muestra del lado izquierdo una fertilizadora que funciona mediante un dosificador neumático de rodillo acanalado y del lado izquierdo se muestra el dosificador de rodillo acanalado.



Figura 47 Distribuidor neumático con dosificador de rodillo acanalado.

### 3 MATERIALES Y METODOLOGÍA

La presente metodología se desarrolló apoyándose en las normas NMX-O-168-SCFI-2009, Norma ISO 7256-1984.

#### 3.1 Localización de área de trabajo.

La evaluación se realizó en las instalaciones del CIMMYT el Batan en el municipio de Texcoco, Estado de México, donde se encuentra ubicado el banco de pruebas (Figura 48). Las coordenadas geográficas son: 19°31'59.03", 98°50'24.20" a una altitud de 2282 msnm.

El clima de la región se considera templado semi-seco, con una temperatura media anual de 15,9 °C y una precipitación media anual de 686 mm.



Figura 48 Ubicación del banco de pruebas.

#### 3.2 Materiales.

Para la evaluación se emplearon tres sistemas dosificadores mecánicos de tipo (plato horizontal, plato inclinado y rodillo acanalado de doble propósito), así como equipos e instrumentos que se describen a continuación.

1) **Sistema dosificador de plato horizontal:** Este sistema de tipo plato horizontal está compuesto por una tolva de semillas con capacidad de 5 kg. Dentro del sistema encontramos que pueden acoplarse platos con diferente forma, cantidad y tamaño de celdas o alveolos, así como diferentes contra placas con espesores distintos, para efectuar una configuración ideal de acuerdo al tipo, forma y tamaño de la semilla que se desea medir.

También contiene gatillos barredores o enrasadores que se encargan de dejar pasar una semilla por celda al área de suministro, donde se encuentra un gatillo expulsor o picador que asegura la caída de la semilla hacia el tubo de suministro.

El plato puede girar en sentido de las manecillas del reloj gracias a que le proporciona movimiento una corona de plástico de 40 dientes y ésta puede ser articulada por un conjunto de piñones cónicos de 10, 15 y 20 dientes. Cabe mencionar que las piezas antes mencionadas están fabricadas de plástico.

La Figura 49 muestra la sembradora fertilizadora fitarelli del lado izquierdo, de la cual se tomó el sistema dosificador de plato horizontal mismo que se muestra de lado derecho.



Figura 49 Sistema de plato horizontal.

2) **Sistema de plato inclinado:** Este sistema de plato inclinado que se utilizó, fue diseñado y construido por CIMMYT, el cual es un prototipo que sirvió para construir la sembradora multiuso multicultivo versión uno para tractor de dos ruedas.

El sistema contiene una tolva de aproximadamente 5 kg de capacidad, provista de un deflector que se encuentra entre la tolva y la cámara de dosificación.

El deflector es una compuerta que se encarga de restringir que la semilla pase en su totalidad a la cámara de dosificación, es decir que, mediante la apertura de esta compuerta se controla la cantidad de semilla que debe ser expuesta a la placa alveolada.

Dentro de la cámara de dosificación se encuentra una carcasa de plástico donde pueden ensamblarse platos de diferente forma, cantidad y tamaño de celdas. Los platos generalmente se colocan formando un ángulo respecto a la horizontal, con el propósito de que la semilla sea desplazada de la parte más baja de la cámara de dosificación hacia el punto de entrega, que se encuentre en la parte más alta de la cámara de dosificación.

El ángulo de inclinación que se maneja en el plato, tiene la función de un enrasador como el sistema de plato horizontal, es decir, si hubiera dos semillas contenidas en una celda, a medida que el plato gira y empiezan las semillas a subir al punto de entrega por medio de la gravedad descienden nuevamente a la parte más baja las semillas que no estén bien sujetas en las celdas.

El mecanismo expulsor simplemente es por Gravedad. Al momento que la celda que contiene una semilla pasa por el área de entrega, cae la semilla al tubo de suministro, ya que en esta parte de la carcasa existe un agujero que interrumpe el soporte de la semilla.

El plato es movido por un engrane cónico de 15 dientes, el cual es accionado por un engrane cónico de 10 dientes fabricados en metal.

La Figura 50 muestra el sistema dosificador de plato inclinado.



Figura 50 Dosificador de plato inclinado.

3) **Sistema de rodillo acanalado doble propósito:** El sistema que se empleó consta de una tolva para semillas con capacidad para 4 kg, tiene un cilindro con acanaladuras rectas que giran a través de un eje transversal; en el interior de la tolva tiene pequeñas cajas fijadas, conocidas como cámaras de distribución.

El cilindro acanalado está dividido en dos partes, la primera mitad tiene seis acanaladuras que sirven para medir grano grande. La otra parte posee acanaladuras más pequeñas que generalmente se ocupan para medir grano pequeño y estas dos partes se encuentran divididas por una parte lisa en forma cilíndrica.

El rodillo puede ajustarse deslizándose en dirección axial, de tal manera que la apertura de la canaleta tenga una magnitud mayor o menor, respecto a la posición del rodillo. Este ajuste sirve para que el tamaño de la canaleta pueda ser acorde al tamaño de la semilla.

El sistema también contiene arriba de las cámaras de distribución (grano grande y pequeño), un deflector o desviador para controlar que las dos cámaras no trabajen al mismo tiempo. Este deflector es una compuerta que impide o permite la alimentación de grano a la cámara que se desee emplear.

La dosificación de semilla se efectúa por gravedad donde la semilla cae de la tolva hacia la cámara de distribución pasando por el deflector que se encuentre abierto. La semilla se deposita en alguna canaleta del rodillo y a medida que comienza a girar el rodillo, traslada la semilla de la parte superior hacia la parte inferior del rodillo, donde se encuentra el punto de suministro y cae la semilla por gravedad al tubo de suministro. A medida que gira el rodillo antes de llegar al punto de suministro pasa por un cepillo el cual se encarga de enrasar la canaleta, no permitiendo el paso de dos o más semillas.

El rodillo es movido por un eje transversal el cual es activado por una catarina de 12 dientes.

Este sistema se adquirió de una sembradora Morrison seeders modelo CA-seeders 1000 la cual se muestra en la Figura 51 del lado izquierdo y del lado derecho se expone el dosificador de rodillo acanalado.

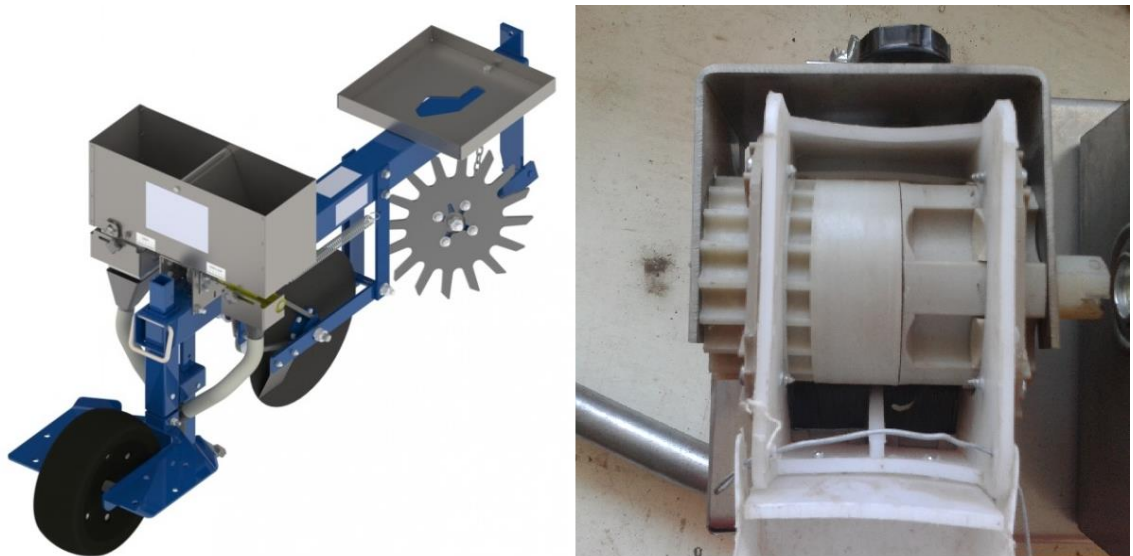


Figura 51 Sistema de rodillo acanalado de doble propósito.

4) **Banco de pruebas:** El banco se diseñó y construyó en CIMMYT con el objetivo de realizar pruebas a diferentes sistemas dosificadores de semilla y fertilizante. El banco está formado por un chasis, un sistema de transmisión, una banda móvil, un carro porta sistemas, un variador de frecuencia y un motor eléctrico.



La Figura 52 muestra el banco de pruebas para evaluar sistemas dosificadores.



Figura 52 Banco de pruebas para evaluar sistemas dosificadores.

El chasis es el elemento estructural responsable de soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos que se originan en el banco, además brinda soporte y rigidez a los demás elementos.

El sistema de transmisión se configura mediante la combinación de 5 catarinas que suministran la potencia necesaria a los sistemas que se acoplen al carro porta sistemas. La transmisión cuenta con una caja de 9 catarinas que sirven para ajustar la relación de transmisión requerida y por ende variar la velocidad de siembra y fertilización.

Por otro lado el sistema de transmisión cuenta con una derivación, que parte de una polea de seis pulgadas que está conectada al motor por un par de bandas en V. Suministra potencia mediante un par de catarinas conectadas por una cadena de paso 40 a un rodillo, que proporciona movimiento continuo a una banda de plástico (banda móvil). La banda móvil sirve para simular la velocidad de avance de los sistemas dosificadores.

La Figura 53 muestra el diagrama del sistema de transmisión con el que cuenta el banco de pruebas.

### Diagrama del sistema de transmisión

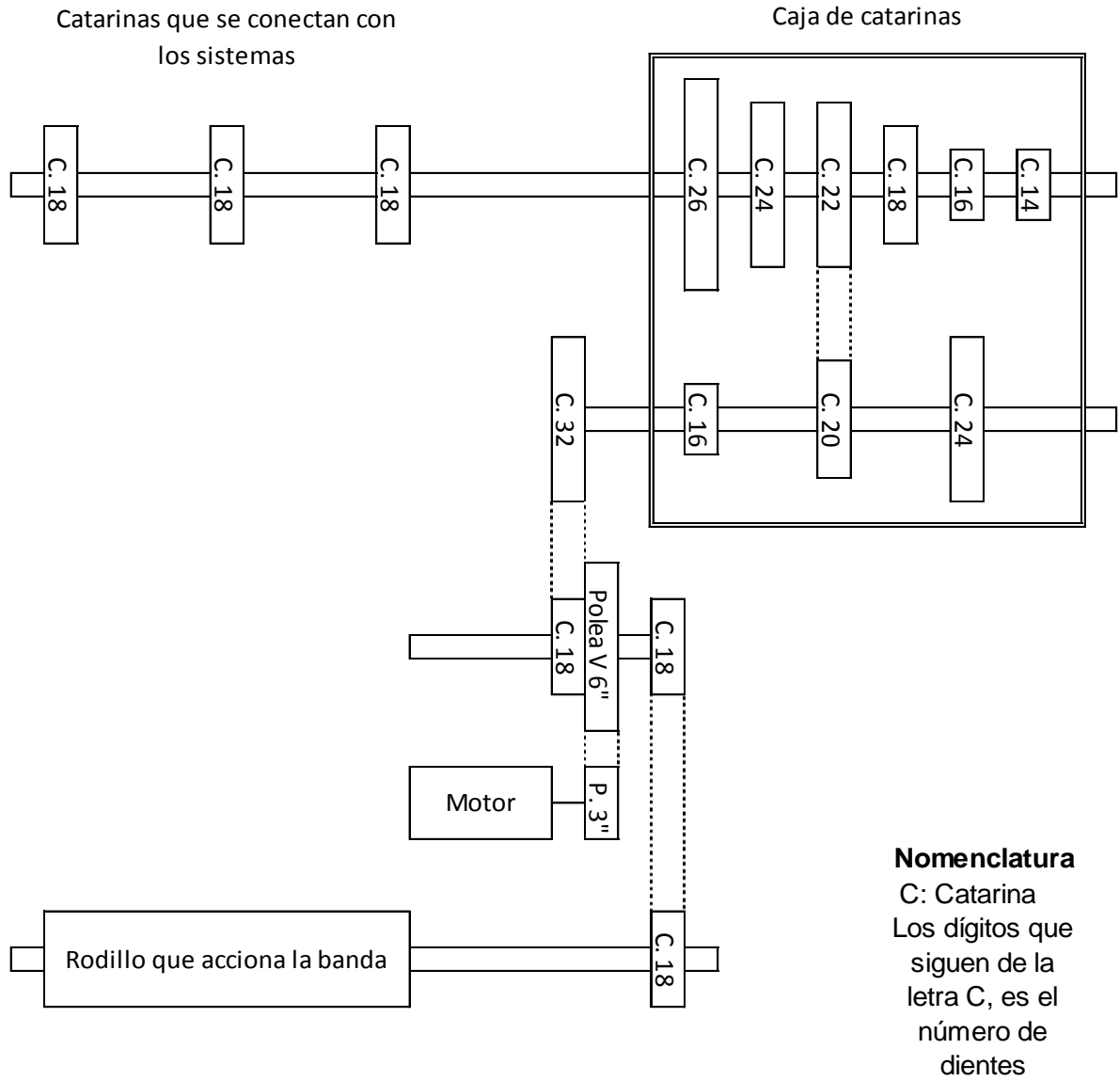


Figura 53 Diagrama del sistema de transmisión.

El sistema de transmisión es accionado por un motor trifásico y éste es controlado por un variador de frecuencia.

El carro porta sistemas básicamente le brinda soporte a los sistemas dosificadores y tiene la particularidad que puede ser fijo o móvil.

5) **VTL Micro Drive FC51:** Este es un dispositivo electrónico (Figura 54) que nos permitió variar la velocidad angular del motor eléctrico convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Se utiliza este equipo cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad angular
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada



Figura 54 VLT Micro Drive FC51.

6) **Motor trifásico:** El motor eléctrico marca Weg modelo 00218ET3EM145TW (Figura 55) es la fuente de alimentación del mecanismo de transmisión del banco de pruebas, este motor es de tipo trifásico de corriente alterna, tiene una potencia de 2 hp y una velocidad angular de 1750 RPM.



Figura 55 Motor eléctrico Weg 00218ET3EM145TW.

7) **Semilla de maíz:** Se utilizó para evaluar los tres sistemas de dosificación una bolsa de 60,000 semillas híbridas de la variedad ocelote marca Asgrow de tamaño pw1 tipo plano ancho largo, de recién producción con un mínimo del 85% de germinación.

La semilla estaba tratada con metalaxil, carboxin, captan, deltametrina, fludioxonil, clorpirifosmetil, triadimenol, colorante vegetal, mefenoxam, clothianidin.

8) **Analizador de humedad para granos:** Se ocupó un analizador de granos modelo marca Kett modelo pm-600 para conocer el porcentaje de humedad que contenía la semilla de maíz (Figura 56)



Figura 56 Analizador de humedad Kett PM-600.

9) **Fertilizante granulado:** Se trabajó con una mezcla de fertilizante la cual estaba compuesta por 65% de sulfato de amonio formulado al 20.5 % N y 35% superfosfato de calcio triple formulado al 46 %  $P_2O_5$ . El lote de fertilizante estaba conformado por 40 kg de la mezcla.

10) **Balanza eléctrica:** Con la ayuda de una balanza de precisión marca Adventurer pro modelo av-812 (Figura 57) se pesaron las muestras de semilla de maíz y la mezcla de fertilizante granulado, obtenidas de las pruebas que se realizaron.



Figura 57 Balanza Adventurer Pro AV-812.

11) **Torre de tamices:** Mediante la torre de tamice se tamizó el fertilizante para asegurar el tamaño de los gránulos y determinar la distribución del tamaño de granulometría.

La torre estaba formada con mallas cuadriculadas de tamaño en sus aberturas de (4.76, 3.36, 2.38, 2.00, 1.68, 1.41, 1.19, 1.00 y 0.841 mm) colocadas de manera descendente respecto al medida de abertura mayor (Figura 58).



Figura 58 Torre de tamices.

12) **Horno de secado:** Se utilizó un horno marca Grieve modelo SA-350 (Figura 59) que cuenta con un sistema de extracción de aire forzado, para secar las muestras de fertilizante granulado y poder determinar su contenido de humedad.



Figura 59 Horno Grieve SA-350.

13) **Medidor de ángulo de reposo:** Se utilizó un instrumento (Figura 60) que se encuentra en las instalaciones del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) para medir el ángulo de reposo del fertilizante. El instrumento cuenta con un embudo con las medidas:

- Diámetro mayor 40 cm
- Altura de la copa 19.5 cm
- Diámetro menor (cilindro que se forma en la parte inferior) 2.3 cm
- Altura del cilindro 5.2 cm
- Altura de la base de la estructura hacia la parte inferior del embudo 20 cm



Figura 60 Medidor de ángulo de reposo (MAR).

14) **Tacómetro:** El tacómetro foto-contacto modelo DT-6236B (Figura 61) se empleó para medir la velocidad de avance (vd) que quiere decir la distancia que recorre la banda móvil en una unidad de tiempo, el instrumento expresa la magnitud en  $m \text{ min}^{-1}$ . Las mediciones se realizaron a diferentes frecuencias de operación del motor eléctrico.

Por otro lado se midió las revoluciones por minuto (rpm) que son proporcionadas a la polea de 6 pulgadas a diferentes velocidades de avance, esto con la finalidad de ajustar la velocidad de siembra (vs) que significa el número de semillas por minuto que debe entregar un dosificador de acuerdo a la configuración que se le asigne.



Figura 61 Tacómetro DT-6236B.

**Software Minitab v16:** Con la ayuda de este software que está diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, se analizaron los datos que se obtuvieron en las pruebas de dosificación.

### 3.3 Metodología.

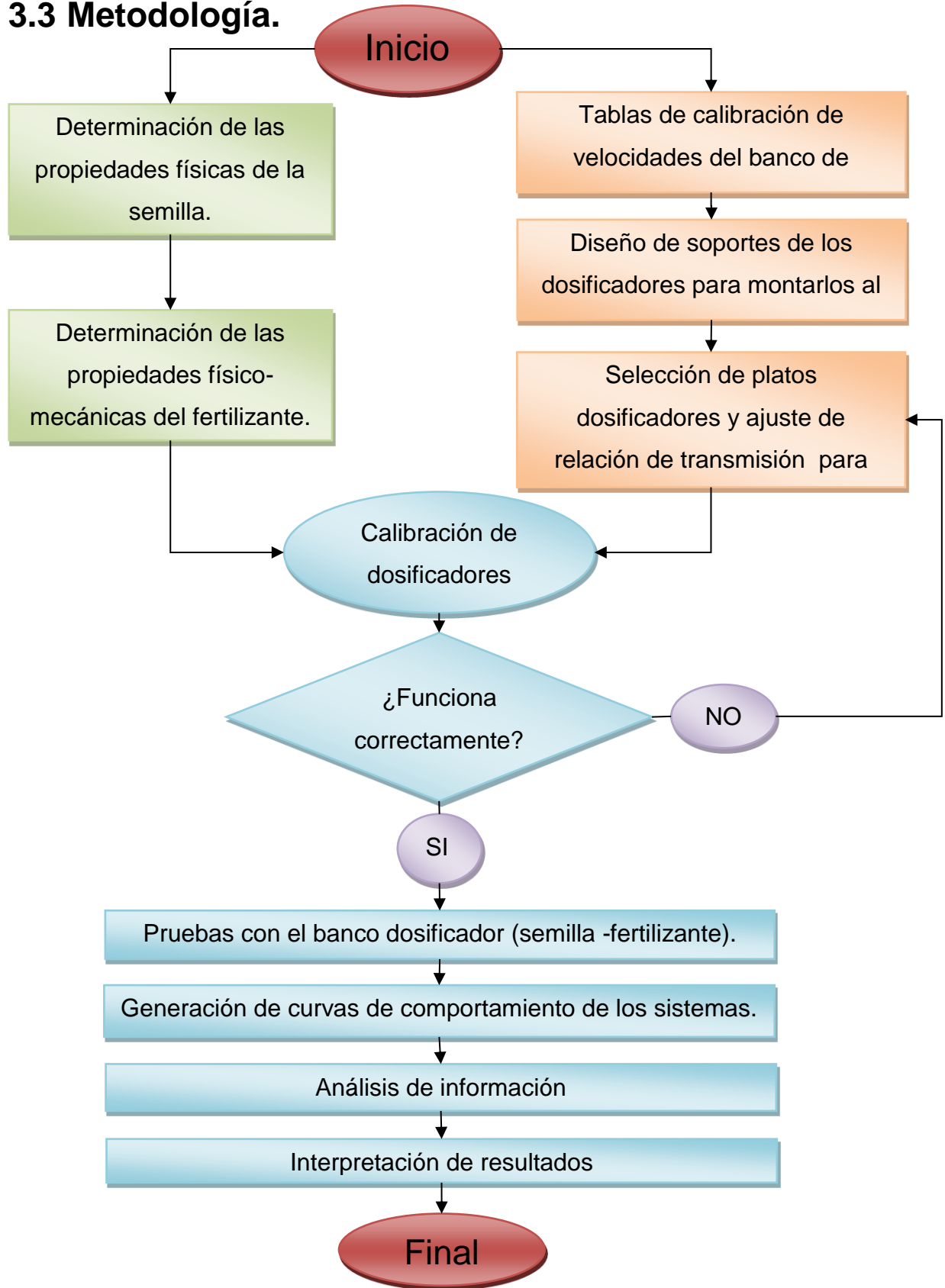


Figura 62 Diagrama de flujo de la metodología.



### 3.3.1 Determinación de las propiedades físicas de la semilla de maíz.

Se midieron y registraron los siguientes datos:

- El nombre y variedad de semilla con la que se trabajó.
- Se midió el tamaño de 50 semillas (largo, ancho y espesor), tomadas como muestra representativas de la bolsa de semillas (Ver Anexo A). De las mediciones obtenidas se calculó el promedio, desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV). Con estas medidas de tendencia central estadísticas se seleccionó el tamaño y forma de los alveolos o celdas del plato semillero, que se colocó en cada sistema dosificador y en el caso del rodillo acanalado, sirvieron para ajustar su abertura como se describe más adelante.
- Con la balanza se pesaron 1000 semillas; este dato simplemente se reporta para estimar cuántas semillas puede contener la tolva de cada sistema dosificador, calculándolo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número de semillas por kilogramo} = \frac{1000 \text{ semillas} * 1000}{\text{Masa de 1000 semillas (g)}}$$

Tomando el número de semillas por kilogramo lo multiplicamos por la masa de las semillas que contenía la tolva de cada sistema a un 80% de su capacidad y se obtuvo el número de semillas contenidas en la tolva.

- El contenido de humedad se determinó a través del procedimiento de operación del analizador de humedad para granos que se muestra en el Anexo B.

En esta prueba se realizaron ocho repeticiones tomando las muestras de la bolsa de semillas al azar, mismas que sirvieron para llenar la copa

medidora que dispone el instrumento en cada repetición. Se concluyó con el cálculo del promedio (Ver Anexo C) de las mediciones para conocer el contenido de humedad del lote de semillas (bolsa).

- La densidad a granel se comprobó por medio del método del cilindro que consiste en trabajar con un cilindro metálico que tiene un volumen de  $98.1747 \text{ cm}^3$  con las siguientes medidas 50 mm de diámetro por 50 mm de altura.

Para la prueba de densidad se realizaron cinco repeticiones, reportando el promedio de éstas, como se describe en seguida.

Se dejaron caer las semillas al interior del cilindro a una altura de 7 a 10 cm respecto a la parte más alta del cilindro hasta llenar el recipiente y con una placa metálica se enrasó el recipiente en tres movimientos en forma de zigzag.

En seguida con la balanza se pesó el contenido de semilla que se depositó en el cilindro y se destaró el peso del cilindro para obtener solo la masa de la semilla, de esta manera con la ayuda de la siguiente ecuaciones se encontró la densidad a granel de la semilla.

$$\rho = \frac{W}{V_c}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad a granel de la semilla ( $\text{g cm}^{-3}$ )

W: Peso de la semilla (g)

$V_c$ : Volumen del cilindro metálico ( $\text{cm}^3$ )

Los datos obtenidos de la densidad a granel se muestran en el Anexo D.

- Para descartar el porcentaje de daño mecánico antes de la evaluación de los sistemas, se extendió el lote de semillas en una mesa y se verificó de manera visual, que no existieran semillas dañadas. Las pocas semillas que

se encontraron rotas se retiraron del lote, esto independientemente de que el lote al menos contaba con un 85% de germinación.

De esta manera se garantizó que los daños encontrados después de utilizar la semilla en cada sistema fueron provocados por éstos.

- Se reportó la pureza de la semilla obtenida directamente de la etiqueta de especificaciones de la bolsa.

### **3.3.2 Determinación de las propiedades físico-mecánicas del fertilizante granulado.**

Se midieron y registraron los siguientes datos:

- Nombre y fórmula química de fertilizante que se utilizó en las pruebas.
- Forma del fertilizante y descripción de su aspecto.
- La distribución del tamaño del fertilizante se estableció empleando una muestra representativa del lote de fertilizante (1 kg) y se tamizó mediante una torre de tamices utilizando las siguientes aberturas de la malla cuadrada 4.76, 3.36, 2.38, 2.00, 1.68, 1.41, 1.19, 1.00, 0.841 mm respectivamente. La cantidad de fertilizante que quedó atrapado en cada tamiz se pesó y se alcanzó un porcentaje de la masa del fertilizante que había en cada tamiz respecto al total de la muestra. Con este método se obtuvo la distribución del tamaño del gránulo con el que trabajamos (fertilizante retenido en el rango de tamices de 2.38 a 0.841 mm de apertura en la malla).

Con la siguiente ecuación se estableció el porcentaje del tamaño del gránulo de fertilizante:

$$\% \text{ Tamaño del gránulo} = \frac{\text{Masa del fertilizante en cada tamiz según su abertura}}{\text{Masa total de la muestra de fertilizante}} * 100$$

Los datos obtenidos de la distribución del tamaño del fertilizante se muestran en el Anexo E.

- Contenido de humedad, éste se especificó con el método de la estufa de la siguiente manera:

Se analizaron 5 muestras representativas al azar del lote. Las muestras se colocaron en un cilindros metálicos que disponían de un volumen de 98.1747 cm<sup>3</sup> cada uno con las siguientes medidas, 50 mm de diámetro por 50 mm de altura.

En seguida se pesaron las muestras destarando el peso de los cilindros y se metieron las muestras al horno de secado sin tapar los cilindros. El horno se programó para operar a una temperatura de 100°C por un lapso de 24 horas. Al término de este lapso se sacaron las muestras del horno, tapando cada recipiente, dejando enfriar las muestras un tiempo de 15 minutos; posteriormente se pesaron y se calculó la humedad de cada muestra.

Utilizando la siguiente ecuación se obtuvo el contenido de humedad del fertilizante:

$$\% \text{ Contenido de humedad} = \frac{(\text{Masa de la muestra humeda} - \text{Masa de la muestra seca})}{\text{Masa de la muestra humeda}} * 100$$

Por último se reportó el promedio del porcentaje de humedad de las muestras (Ver Anexo F).

- La densidad a granel del fertilizante se obtuvo mediante el método del cilindro como se describe anteriormente para el caso de la semilla, los datos obtenidos se muestran en el Anexo G.

- Ángulo de reposo, se consiguió mediante el método del embudo fijo utilizando el instrumento MAR (Ver Anexo H).

Para calcular el ángulo de reposo se realizaron tres repeticiones y se reportó el promedio de las repeticiones, los resultados obtenidos se muestran en el Anexo I.

### **3.3.3 Tabla de calibración del banco de pruebas.**

Se hicieron mediciones de la velocidad de avance a 2, 3.13, 4.18, 5.29 y 6.31 km h<sup>-1</sup> en el banco de pruebas con el tacómetro DT-6236B mediante el procedimiento para medir velocidad con tacómetro (Ver Anexo J), registrando la frecuencia a la que operaba el motor visualizada en el display de variador de frecuencia, por cada velocidad mencionada anteriormente.

La frecuencia de operación del motor se pudo variar por medio del variador de frecuencia de VTL Micro Drive FC51 mediante el procedimiento para variar frecuencia (Ver Anexo K).

Al mismo tiempo que se censaron las diferentes velocidad de avance, se midió las rpm, mediante el procedimiento para medir rpm con tacómetro (Ver Anexo L), para saber las revoluciones a las que trabajaba la polea de seis pulgadas de diámetro que se encarga de repartir la potencia hacia la banda móvil y hacia el sistema de transmisión. Los datos de este apartado se muestran en el Anexo M.

Con la ayuda de las rpm que se midieron en la polea por cada velocidad de avance, se realizaron los cálculos que se describen en el apartado de relación de transmisión para sincronizar la velocidad de avance con la velocidad de siembra y de esta manera poder realizar las pruebas en la distribución espacial de siembra.

### **3.3.4 Diseño de soportes de los dosificadores para montarlos al banco de pruebas.**

El diseño de los soportes para fijar los sistemas de dosificación al carro porta sistemas y poder ejecutar las pruebas experimentales, fueron asistidos por una computadora como se muestra en el Anexo N.

### 3.3.5 Selección de platos dosificadores y ajuste de relación de transmisión para cada sistema.

El procedimiento para seleccionar los platos que se utilizaron en la dosificación de la semilla se realizó de la siguiente manera:

- Se elaboró una lista de medidas (largo, ancho y espesor) de las celdas de los platos dosificadores de cada sistema, que se están diseñados para medir la semilla de maíz (Ver Anexo Ñ). En el caso del rodillo acanalado se ajustó la apertura de la canaleta, desplazando axialmente el rodillo hasta obtener la apertura deseada.
- Del muestreo del tamaño de la semilla que se realizó previamente consideramos el promedio de cada magnitud (largo, ancho y espesor) de la semilla. Esto para seleccionar la medida más próxima por arriba de los promedios.
- Por último se utilizaron los promedios de las dimensiones de las semillas para escoger las medidas de celdas de cada plato como se muestra en la Tabla 4. Se puede observar que en la dimensión del ancho del rodillo acanalado es menor respecto a la semilla debido a que esta dimensión no se puede variar en el rodillo porque así está diseñado.

Tabla 4 Dimensiones de celdas de platos y rodillo que se eligieron.

<b>Celdas de:</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b># Celdas</b>
Plato horizontal	13.50	10.50	4	28
Plato inclinado	13.59	9.17	5	24
Rodillo acanalado	17	7	7.51	6
Semilla	12.80	9.10	4.30	NA

Se configuró los tres sistemas para que dosificaran una densidad de siembra de 80,000 semillas por hectárea, especulando un arreglo de 80 cm de separación entre hileras de siembra en una hectárea ideal, lo que significa que tendría que medir 100 x 100 metros de ancho y largo respectivamente. Con este arreglo tendremos como resultado 125 surcos en una hectárea.

Se calculó el número de semillas que en teoría debieron entregar los sistemas por cada metro con la siguiente ecuación:

$$\# \text{ Semillas por metro} = \frac{\# \text{ Semillas por hectárea}}{\# \text{ Surcos por hectárea} * \text{longitud que mide el surco}}$$

Sustituyendo la ecuación anterior obtuvimos que en un metro dosificamos 6.4 semillas por metro como se muestra en la operación siguiente:

$$\frac{80,000 \frac{\text{sem}}{\text{ha}}}{125 \frac{\text{surcos}}{\text{ha}} * 100 \frac{\text{metros}}{\text{surco}}} = 6.4 \frac{\text{sem}}{\text{metro}}$$

Lo que trae como consecuencia que exista una separación entre cada semilla de 15.62 cm.

Si el banco de pruebas simula mediante la banda móvil, que se desplaza el sistema dosificador, en el rango de velocidades de avance que se muestran en la tabla de calibración de velocidades del banco de pruebas. Entonces los sistemas deben de realizar el trabajo a una determinada velocidad de siembra expresada en semillas por minuto que debieron entregar los sistemas de dosificación. Con la siguiente ecuación se determinó la velocidad de siembra.

$$\text{Velocidad de siembra} = \# \text{ Semillas por metro} * \text{Velocidad de avance}$$

Sustituyendo la ecuación para la velocidad de avance de 2 km h<sup>-1</sup> expresada en metros por minuto, obtenemos que los sistemas necesitan entregar una velocidad

de siembra de 213.12 semillas por minuto, que se tomara de referencia para aproximar los tres sistemas a que trabajen similarmente. El cálculo se muestra en la siguiente operación:

$$6.4 \frac{\text{sem}}{\text{metro}} * 33.3 \frac{\text{metro}}{\text{min}} = 213.12 \frac{\text{sem}}{\text{min}}$$

Para lograr obtener la separación de 15.62 cm entre cada semilla y dosificar a la velocidad de siembra de 213.12 semillas por minuto, se ajustó la relación de transmisión en cada sistema de manera individual, cambiando algunas catarinas del sistema de transmisión del banco de pruebas.

Al cambiar las catarinas que tienen diferente número de dientes pudimos reducir la velocidad angular de alimentación (polea de seis pulgadas) para obtener la velocidad angular alimentada (plato dosificador o rodillo acanalado) que se utilizó en cada sistema. Esta última velocidad angular cambió para cada sistema debido a que los platos que se utilizaron tenían diferente número de celdas. El número de celdas expresa la cantidad de semillas que puede medir cada plato o rodillo por cada vuelta completa sobre su circunferencia, lo que se conoce como revolución (Rev.).

Para calcular la relación de transmisión (Rt.) que se manejó en cada sistema se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rt = \frac{\text{Velocidad angular de alimentación} * \# \text{Celdas del plato o rodillo acanalado}}{\text{Velocidad de siembra}}$$

Por ejemplo para calcular la relación de transmisión del plato dosificador que debería tener el sistema horizontal para trabajar a una velocidad de siembra de 213.12 semillas por minuto se sacó sustituyendo la ecuación anterior como se muestra en la siguiente operación:



$$\frac{98.2 \text{ rpm} * 28 \text{ celdas}}{213.12 \frac{\text{sem}}{\text{min}}} = 12.90$$

Una vez que se obtuvo la relación de transmisión se buscó encontrar el valor de 12.90 a través del número de dientes que tiene cada catarina o engrane según fuera el caso. Para saber el número de dientes que debía contener cada catarina que conformaba el sistema de transmisión del banco se usó la siguiente ecuación:

$$Rt = \frac{\# \text{ Dientes de catarina o engrane de alimentación}}{\# \text{ Dientes de catarina o engrane alimentado}}$$

Por ejemplo si calculamos la relación de transmisión que se usó en el sistema del plato horizontal, considerando la ecuación anterior y teniendo en cuenta que la Catarina de alimentación es donde se genera la potencia y la Catarina alimentada es donde se transmite la potencia, es decir analizando el sistema partiendo del motor hacia el plato dosificador. Se sustituyó la ecuación anterior donde se obtuvo una relación de transmisión de 12.876, lo que significa que este valor se aproxima demasiado al valor de 12.90 (relación de transmisión buscada), como se muestra en la siguiente operación:

$$\frac{32}{18} * \frac{26}{16} * \frac{12}{14} * \frac{13}{10} * \frac{40}{10} = 12.876$$

La configuración de catarinas que se calculó en la operación anterior, se muestra en el diagrama del sistema de transmisión para plato horizontal, observar en la Figura 63.

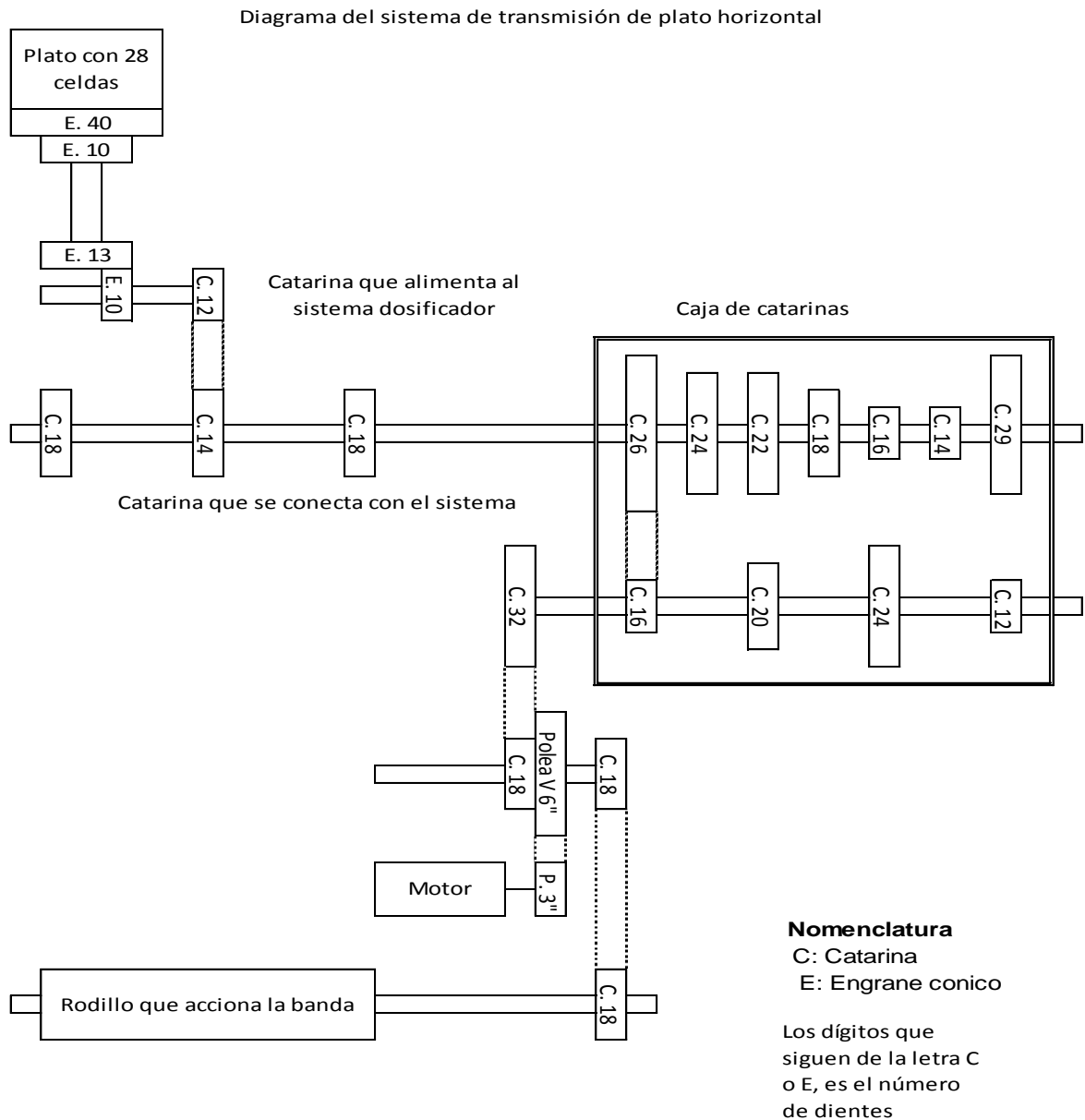


Figura 63 Diagrama del sistema de transmisión de plato horizontal.

Considerando los cálculos anteriores para poder aproximar que el sistema de plato horizontal entregará una velocidad de siembra de 213.12 semillas por minuto, se configuraron los otros dos sistemas de la misma manera, obteniendo para cada uno su propia relación de transmisión.

En el caso del plato inclinado se trabajó con una relación de transmisión de 11.0476 y el rodillo acanalado trabajó a 2.7654. Estas relaciones de transmisión se muestran en el diagrama del Anexo O.

Mediante la ecuación de velocidad de siembra se calculó para los tres sistemas respecto al rango de velocidades de avance que trabajamos el número de semillas por minuto, considerando la relación de transmisión que se aproximó para cada uno. Esta velocidad de siembra que tuvieron que haber entregado los sistemas para obtener un 100% de eficiencia y en teoría dosificaran a una distribución espacial uniforme se muestran en el Anexo P.

Para que la distribución espacial sea 100% uniforme el sistema de plato horizontal debió medir una separación entre semillas de 15.60 cm, el plato inclinado a 15.62 cm y el rodillo acanalado a 15.64 cm. Lo que significa que el plato inclinado se ajustó exactamente a la separación teórica que se buscaba y los otros dos sistemas se aproximaron a  $\pm 2$  décimas de cm.

La separación entre semillas a la que se configuró cada sistema no debe en teoría ser afectada por el cambio de velocidad de avance ya que esta última es proporcional a la velocidad de siembra en cada caso, debido a que se sincronizó previamente mediante la relación de transmisión que se le asignó a cada sistema para que operaran.

En el caso de las pruebas que se realizaron para dosificar el fertilizante granulado, se utilizaron los mismos platos que se ocuparon para realizar las pruebas de dosificación de semilla en cada sistema. Para conocer la cantidad de fertilizante que podía medir cada sistema se midió la masa que dosificaba cada sistema por una revolución del plato o rodillo según el caso.

### **3.3.6 Calibración de los dosificadores.**

Una vez que cada sistema de manera independiente se configuró para trabajar a una altura de 90 cm aproximadamente del embudo de entrega de semillas de cada sistema respecto a la banda móvil y en un rango de velocidad de siembra de 213  $\text{sem min}^{-1}$  a 674, como se muestran en la tabla de velocidades de siembra para los tres sistemas, mediante la relación de transmisión, el número de celdas

del plato y la velocidad de avance, se comprobó que los cálculos teóricos se realizaron correctamente. Se comprobó que físicamente cada sistema estuviera funcionando como lo planeado, midiendo con el tacómetro las revoluciones a las que trabajó cada plato y rodillo.

La medición se hizo para cada velocidad de avance, de esta manera aseguramos que todos los cálculos teóricos se estuvieran reflejando en la práctica.

Las mediciones de las revoluciones de los platos seleccionados se muestran en el Anexo Q, junto con las revoluciones teóricas que debe entregar cada sistema. Las revoluciones se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$\text{Revoluciones del plato o rodillo} = \frac{\text{Velocidad angular de polea de 6 pulgadas}}{\text{Relación de transmisión}}$$

Por ejemplo si calculamos el número de revoluciones para el caso del plato horizontal, operando a la velocidad de avance de  $33.33 \text{ m min}^{-1}$ , lo que quiere decir que está funcionando a 98.2 rpm en la polea de seis pulgadas y con la relación de transmisión que se le asignó, obtenemos sustituyendo la ecuación anterior que debería operar a 7.62 rpm, si se multiplica este valor por el número de celdas del plato, que en este caso tiene 28 se obtuvo la velocidad de siembra a la que se pretendía trabajar.

La siguiente operación demuestra lo anterior:

$$\text{rpm de plato horizontal} = \frac{98.2 \text{ rpm}}{12.876} = 7.62 \text{ rpm}$$

Una vez que se comprobó que cada sistema debía trabajar según la configuración que se les asignó, se hizo una prueba de dosificación de semilla para la primera velocidad de avance con cada sistema para corroborar que trabajaran de acuerdo a la calibración teórica.

En el caso del plato inclinado se probó con 3 ángulos de inclinación ( $40.2^\circ$ ,  $45.4^\circ$  y  $49.5^\circ$ ) respecto a la horizontal; para correr las pruebas lo más correctamente

posible y de esta manera también determinar a qué ángulo trabaja mejor este sistema.

Se observó que para el plato inclinado se aproximó más a la velocidad de siembra buscada el ángulo de  $40.2^\circ$ , por lo cual se decidió correr las pruebas con este ángulo. En el caso del rodillo acanalado se probó desplazando el rodillo axial configurándolo a lo largo, ancho y espesor de las medidas de la semilla. Se observó que el número de semillas que media en un minuto se aproximaba más a la velocidad de siembra teórica que se buscaba, trabajando con la apertura del rodillo (desplazamiento axial) ajustada de acuerdo la medida aproximada del espesor de la semilla.

Para el caso de la dosificación del fertilizante se trabajó con los mismos platos que se ocuparon para medir la semilla, lo que significa que se utilizaron las mismas dimensiones de celdas para cada caso, incluyendo el mismo ajuste de apertura del rodillo acanalado.

Para tomar como referencia la cantidad de masa teórica que debía medir cada sistema y por medio de ésta, estimar la velocidad de fertilización que debía entregar cada sistema, se realizaron dos pruebas las cuales consisten en determinar la cantidad de masa que mide por revolución cada plato y el rodillo.

Primeramente se determinó la cantidad de masa que mide cada sistema de manera práctica. Para esto se cargó cada tolva de fertilizante y se giró el plato (horizontal, inclinado y rodillo) de manera manual con una fuerza constante, mediante el mecanismo de transmisión, hasta lograr hacer que girara una revolución.

A medida que giraba el plato, el fertilizante que dosificó cada sistema se recolectó en una bolsa de plástico, realizando tres repeticiones por cada sistema para que después fueran pesadas las muestras y conocer la masa que podían dosificar en una revolución.

La otra manera que se usó para conocer la masa que medía cada sistema por cada revolución del plato o rodillo, fue teóricamente calculando el volumen de cada celda y el volumen total de las celdas que contiene cada plato.

Se encontró que para el plato inclinado, de las tres repeticiones que se hicieron para determinar la masa por revolución, se obtuvo un promedio de  $10.64 \text{ g rev}^{-1}$ . Por otro lado se calculó el volumen de todas las celdas del plato, el cual fue de  $11.7451 \text{ cm}^3$  y multiplicándolo por la densidad promedio que se obtuvo del fertilizante ( $0.9429 \text{ g cm}^{-3}$ ) nos dio un resultado de  $11.074 \text{ g rev}^{-1}$ , este último valor es muy similar al valor que se obtuvo en la prueba práctica. Por lo que se decidió trabajar con el valor teórico ( $11.074 \text{ g rev}^{-1}$ ) para calcular la velocidad de fertilización que debe entregar el sistema al operar.

Para el caso del rodillo acanalado la prueba práctica arrojó un valor promedio de  $9.81 \text{ g rev}^{-1}$ , a diferencia de la prueba teórica que se calculó un volumen total de las celdas de  $4.2124 \text{ cm}^3$ , lo que quiere decir que si multiplicamos este valor por la densidad a granel, obtuvimos el valor de  $3.9709 \text{ g rev}^{-1}$ .

Como en este caso la diferencia entre el valor teórico y práctico difiere demasiado, optamos por tomar el valor de  $9.81 \text{ g rev}^{-1}$  para calcular la velocidad de fertilización de referencia a la que debería trabajar el sistema.

La variación de masa en las dos pruebas se debe a que el sistema enrasador del rodillo acanalado (cepillo), no es tan eficiente y deja pasar más cantidad de fertilizante por revolución que la que puede ser contenida en las celdas como se puede ver en la Figura 64.



Figura 64 Sistema enrasador de rodillo acanalado.

En el caso del sistema plato horizontal no se pudo medir la cantidad de fertilizante por cada revolución del plato, debido a que al girar el plato, el fertilizante comienza

a ser molido, lo que provoca que los gránulos se vuelvan más finos y se introduzcan entre la parte del plato y la contraplaca, obstruyendo el área donde se desliza el plato, lo que provoca que se atasque el plato e interrumpe el giro de éste.

### 3.3.7 Pruebas con el banco dosificador.

Para la prueba uno que consiste en evaluar la eficiencia de siembra, en cada sistema se efectuaron diez repeticiones por cada velocidad de avance en el lapso de un minuto. La prueba consistió en recolectar las semillas que dosificaban los sistemas en bolsas de plástico previamente marcadas.

Las semillas se recolectaron directamente del embudo de entrega de cada sistema sin pasar por un tubo de entrega. Las semillas que se recolectaron en cada repetición se contaron de manera manual, registrando las semillas que fueron dañadas por el sistema.

La ecuación que se usó para calificar esta prueba fue la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia del sistema} = \frac{\text{Velocidad de siembra real (sem min}^{-1}\text{)}}{\text{Velocidad de siembra teórica (sem min}^{-1}\text{)}} * 100$$

Donde:

Velocidad de siembra real: es el número de semillas por minuto que recolectamos en las bolsas en cada repetición de manera individual.

Velocidad de siembra teórica: es el número de semillas por minuto que en teoría debieron entregar los dosificadores según su configuración.

Los datos obtenidos de esta evaluación de eficiencia para los sistemas se muestran en el Anexo R.

Para esta misma prueba se determinó el porcentaje de daño mecánico que ocasionaban los sistemas. La manera en que se evaluó fue contando las semillas

dañadas en cada bolsa y de esta manera conocer un promedio del porcentaje de semillas dañadas por cada velocidad de avance.

La ecuación que se ocupó para determinar el porcentaje de daño mecánico fue la siguiente:

$$\% \text{ Daño mecánico} = \frac{\# \text{ Semillas dañadas por muestra}}{\text{Total de semillas de la muestra}} * 100$$

Los datos obtenidos de daño mecánico en la semilla ocasionado por los sistemas se muestran en el Anexo S.

La prueba dos que consistió en evaluar la distribución espacial de la semilla que realiza cada sistema, para esto se ejecutaron cinco repeticiones por cada velocidad de avance, de manera similar que en la prueba para determinar la eficiencia de los sistemas, pero con la diferencia de que la semilla se dejó caer del punto de entrega del sistema (embudo), a una altura aproximada de 90 cm respecto de la banda móvil. Para conducir la semilla que caía por gravedad del embudo hacia la banda móvil se colocó un tubo liso en posición vertical.

La semilla que dosificaba cada sistema en cada velocidad de avance, caía a la banda móvil que se encontraba recubierta de grasa, para evitar que al caer la semilla rebotara y pudiera existir errores en las mediciones de la separación entre cada semilla.

Se delimitó una distancia longitudinal de 2.5 metros de la banda móvil, para medir la separación que existía entre cada semilla, que eran captadas en la sección delimitada y de esta manera conocer si dichas separaciones tenían una distribución homogénea.

Para analizar la distribución espacial de la semilla se tomó como medida de referencia (ref.) a la separación teórica entre semillas que debía existir en cada caso, por ejemplo el sistema de plato horizontal debió dosificar las semillas con una separación entre semilla de 15.62 cm.



Para calificar esta separación se obtuvo de la siguiente manera. Las semillas que se ubicaron dentro de un rango de 0.5 (ref.) y 1.5 (ref.) se consideraron como aceptadas. Las semillas que se ubicaron por debajo de 0.5 (ref.) fueron consideradas como de entrega múltiple y las semillas que se ubicaron superiores al valor de 1.5 (ref.) se consideraron como fallas.

Con estos datos (Ver Anexo T) se calcularon los índices de porcentaje aceptable (A), porcentajes de entregas múltiples (M), porcentajes de fallas (F), desviación estándar y el coeficiente de variación de las separaciones aceptables para cada sistema.

La prueba tres consistió en evaluar la eficiencia de los sistemas para ver si es factible medir la mezcla de fertilizante granulado con estos dispositivos. Para esta prueba se realizaron diez repeticiones en lapsos de un minuto y se operó con las mismas velocidades de avance que se trabajaron las pruebas con la semilla. Esta prueba fue muy similar a la prueba número uno, a diferencia que para ésta se recolectó el fertilizante en bolsas de plástico para medir la masa que entregaban los sistemas en un minuto (velocidad de fertilización real).

La ecuación con la que se evaluó la eficiencia de fertilización para cada sistema de manera independiente fue la siguiente.

$$\% \text{ Eficiencia del sistema} = \frac{\text{Velocidad de fertilización real (g min}^{-1}\text{)}}{\text{Velocidad de fertilización teórica (g min}^{-1}\text{)}}$$

Los datos obtenidos en esta prueba se muestran en el Anexo U, para el caso del sistema de plato horizontal no se muestran datos, debido a que no fue factible realizar la prueba para determinar la eficiencia de fertilización porque al correr las pruebas, se atascaba el plato al momento de comenzar a girar dicho plato incluso en el intento de correr las pruebas se rompió un diente de un engrane cónico que transmite potencia hacia el plato semillero. Cabe mencionar que se intentó correr las pruebas, cambiándole otros platos con dimensiones de celdas mayores, extrayéndole el mecanismo expulsor e incluso quitándole la contraplaca, pero de

ninguna manera fue posible que el sistema de plato horizontal pudiera operar con fertilizante granulado.

En la Figura 65 se muestra como el fertilizante se introducía por un costado del plato y se acumulaba en la periferia de la carcasa del plato, lo que ocasionaba el atascamiento del plato y parálisis del sistema.



Figura 65 Atascamiento de plato horizontal por el fertilizante.

## 4 RESULTADOS.

En seguida se describen los resultados obtenidos de las diferentes pruebas que se realizaron en la evaluación de los sistemas de dosificación.

Para la evaluación de los sistemas de dosificación semilla de maíz se obtuvo lo siguiente:

Se trabajó con semilla de maíz híbrida, variedad ocelote que tenía un tamaño promedio de 1.28, 0.91 y 1.43 cm. En sus dimensiones de largo, ancho y espesor respectivamente, con un coeficiente de variación en estas dimensiones de 3.81, 3.55 y 9.96 %, respectivamente lo que quiere decir que no existen diferencias significativas en su distribución del tamaño que puedan repercutir de manera trascendental en la evaluación de los sistemas, debido a que la FAO menciona que las dimensiones por debajo de un 10% del coeficiente de variación en un lote de semillas, se considera como lote homogéneo en su tamaño.

La semilla tenía una masa en 1000 granos de 398.44 gramos, lo que significa que aproximadamente los sistemas en su capacidad al 80% de las tolvas contuvieron 10,039 semillas de maíz. La semilla contenía una humedad promedio de 13.06 %, una densidad a granel promedio de  $0.7616 \text{ g cm}^{-3}$  y una pureza de 99%.

El comportamiento que mostro el plato horizontal en la medición de la semilla de maíz para el rango de velocidades de siembra que se operó, fue de 213 hasta 674 semillas por minuto esperadas, mostró una eficiencia entre 89.38 y 102.10%. Se obtuvo una ecuación característica de orden dos con un coeficiente de correlación de 52.3% como se muestra en la Figura 66.

Este coeficiente nos indica que la ecuación características que se determinó no es muy confiable debido a que existe gran variabilidad en la cantidad de semillas que puede medir el plato horizontal a diferentes velocidades de avance, pero dicha variabilidad se encuentra dentro del rango del  $100\% \pm 10.6$ , lo que quiere decir que el sistema entrega una densidad de siembra aceptable en cualquier velocidad

de siembra, pero es recomendable operar el sistema a la velocidad de avance de  $3.13 \text{ km h}^{-1}$ , que equivale a  $334 \text{ sem min}^{-1}$  para alcanzar una mejor respuesta en la entrega de la densidad de siembra deseada.

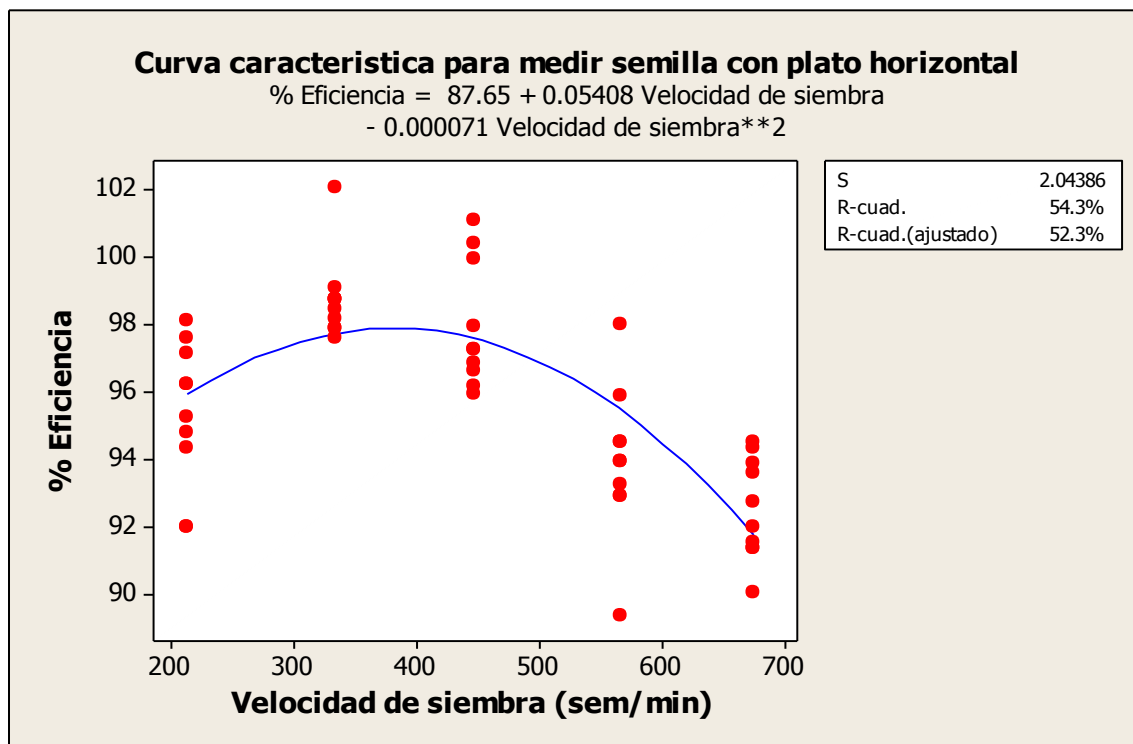


Figura 66 Grafica de curva característica para medir semilla con plato horizontal.

Por otro lado se observó que el sistema de plato horizontal alcanzó un promedio máximo de 0.21% de daño mecánico a la semilla (Figura 66), para esa misma velocidad se registró en una prueba un máximo de 0.91% en el daño mecánico. Por lo que indica que el sistema le brinda un buen trato a la semilla en cualquier velocidad de siembra, pero se obtiene menor daño mecánico operando el sistema a una velocidad de avance de  $2 \text{ km h}^{-1}$ , equivalente a  $213 \text{ sem min}^{-1}$ .

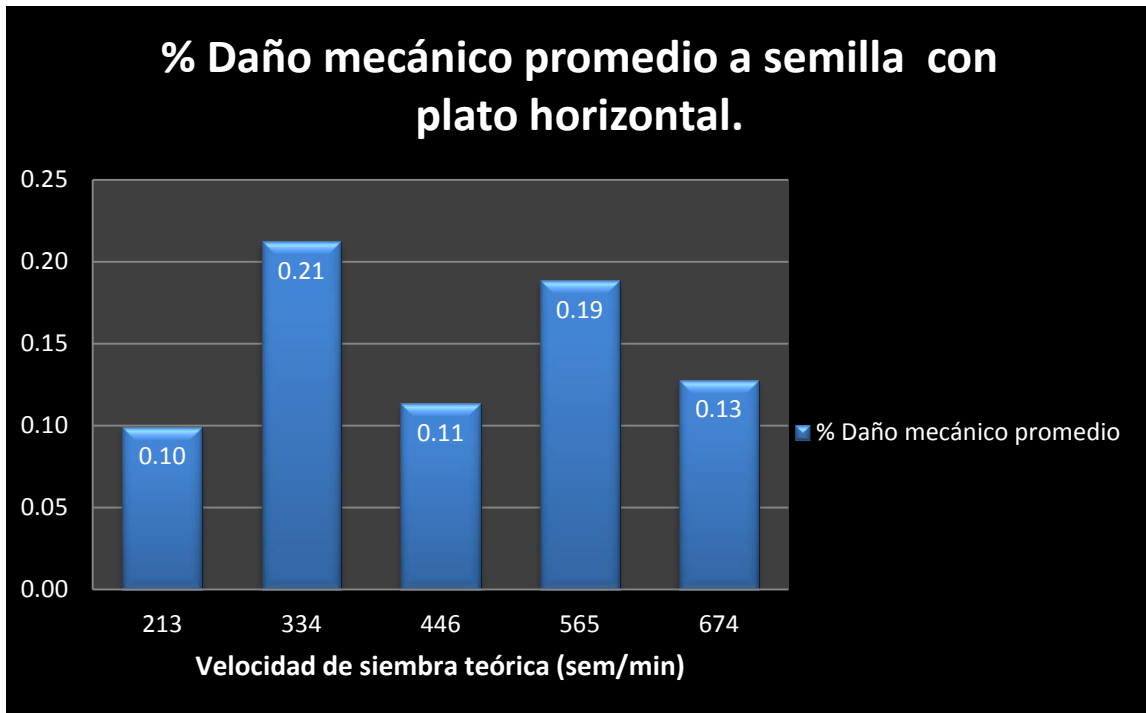


Figura 67 Grafica de daño mecánico con plato horizontal.

En cuanto a la distribución espacial de la semilla que proporciona el sistema de plato horizontal, se puede decir que a medida que incrementa la velocidad de siembra, la sumatoria de los porcentajes de semillas fallas y múltiples incrementa del 11.84% hasta 42.62% existiendo un rango de semillas múltiples de 6.58% a 14.75% y semillas fallas de 5.26% a 27.87%. Por consecuencia el distanciamiento entre las semillas se ve afectado de manera grave independientemente que las medias en la separación no tengan demasiada diferencia del valor teórico (15.60 cm). A partir de la velocidad de 446 sem min<sup>-1</sup> el sistema no tiene precisión. Además con el incremento de la velocidad de siembra provoca que la uniformidad entre la separación de las semillas aceptables sea más variable como lo indica el aumento del coeficiente de variación, como se muestra en la Figura 68.

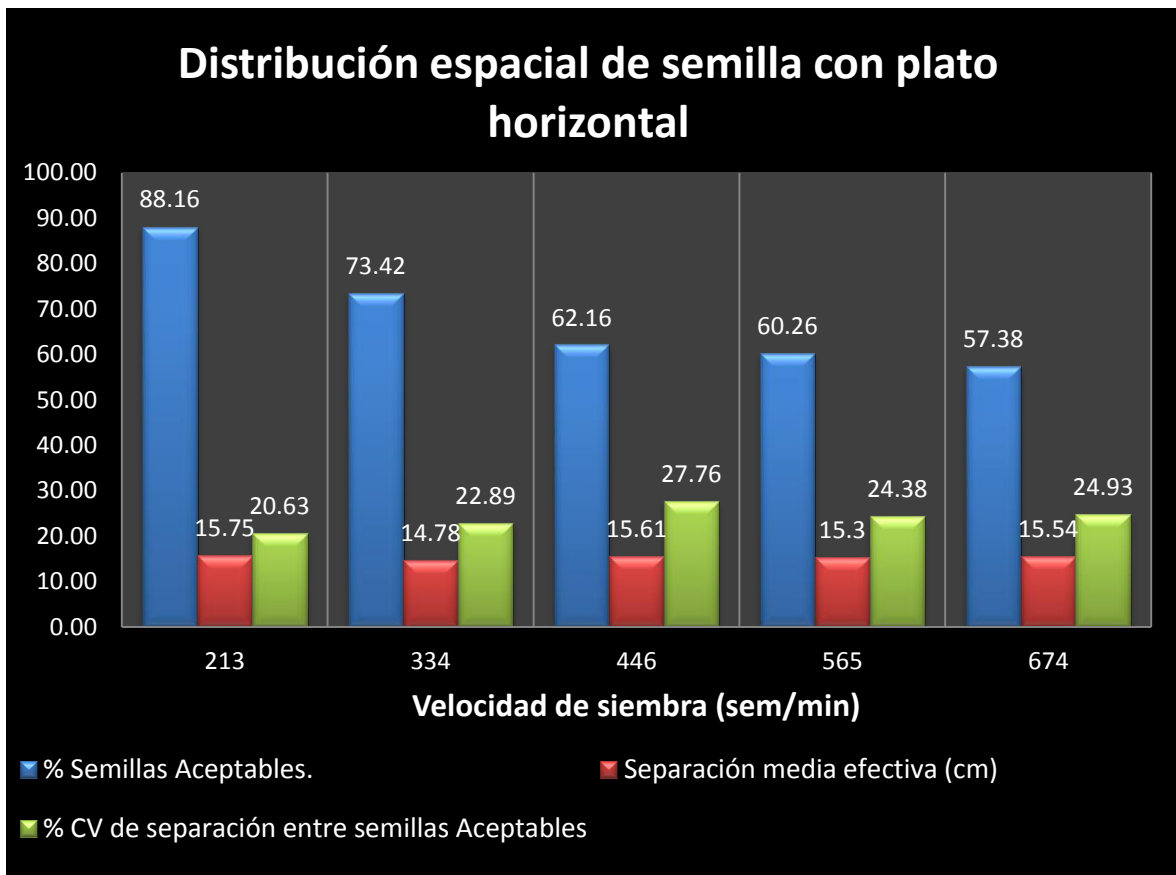


Figura 68 Grafica de distribución espacial en semilla con plato horizontal.

El comportamiento que presentó el sistema de plato inclinado en la eficiencia para medir semilla, trabajando en el rango de velocidad de siembra que se configuró, fue un máximo de 110.09 hasta decaer a 87.22%, a medida que se incrementa la velocidad de siembra. La ecuación característica (Figura 69) que tiene un 67.8% de confiabilidad estima que en la velocidad de avance de  $5.29 \text{ km h}^{-1}$ , se obtienen mejores resultados en la medición de semilla, lo que quiere decir que el sistema a esa velocidad entrega una densidad de siembra muy aproximada a la teórica. Esta ecuación también nos indica que el rango de velocidades de avance en el que se trabajó, la eficiencia de la densidad de dosificación encuentran dentro del  $100\% \pm 10$ , resultado que es aceptable.

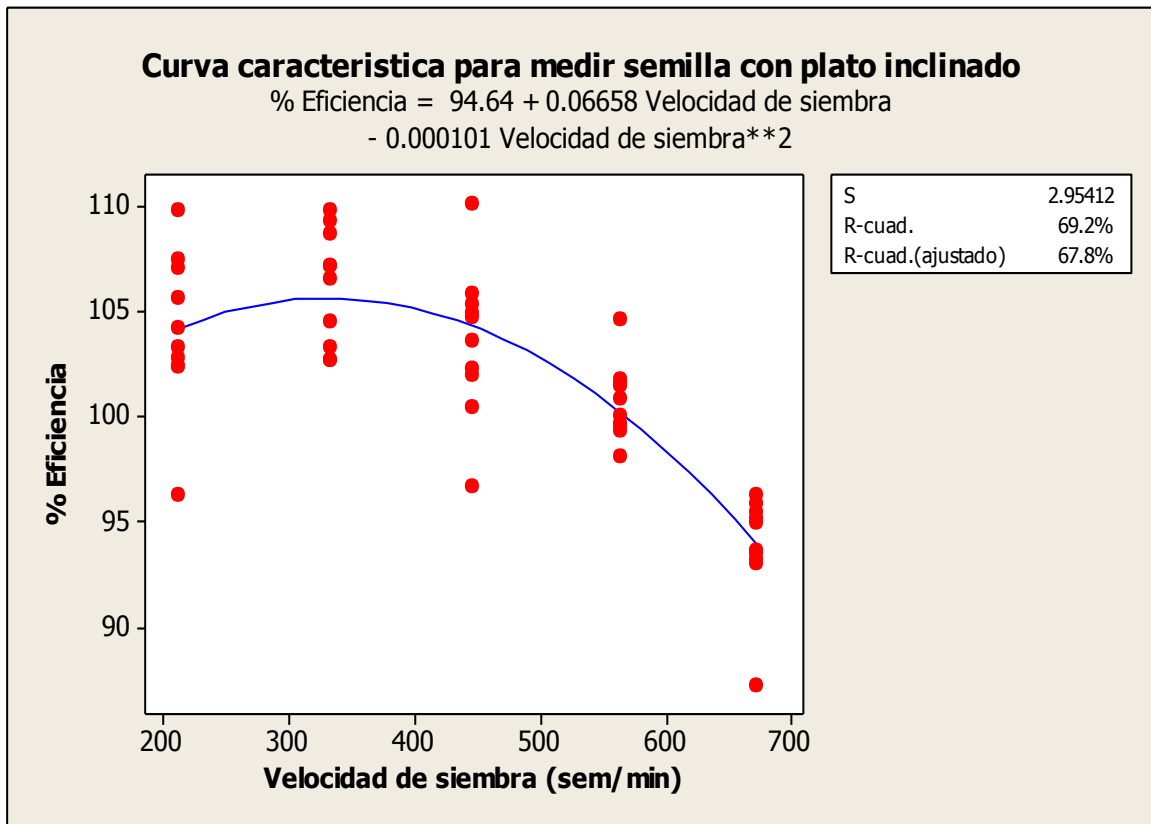


Figura 69 Grafica de curva característica para medir semilla con plato inclinado.

Respecto al daño mecánico que provocó el sistema de plato inclinado fue un promedio máximo de 0.14% y se registró en una prueba un máximo de 0.46% en la velocidad de  $3.13 \text{ km h}^{-1}$ , equivalente a  $334 \text{ sem min}^{-1}$ , valor que no impacta de una manera grave en la disminución de la semilla aceptables que como se muestra en la Figura 70.

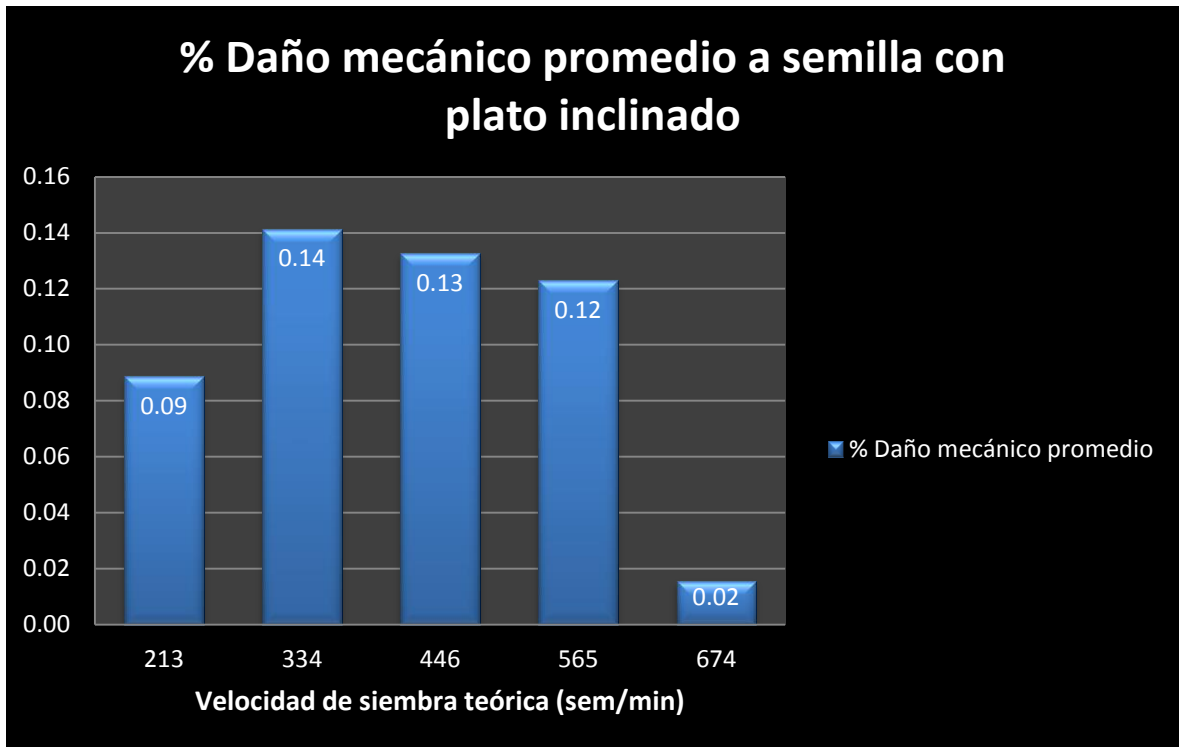


Figura 70 Grafica de daño mecánico con plato inclinado.

En la distribución espacial que brinda el plato inclinado a la semilla se puede notar (Figura 71), que existe un valor en la sumatoria del porcentaje de semillas fallas y múltiples (32.93%), operando el sistema a  $6.31 \text{ km h}^{-1}$ . Además con el incremento de velocidad de avance decae el porcentaje de semillas aceptables y aumenta la variabilidad en la uniformidad de estas de un 18.89% hasta 29.28%, por lo que es recomendable operar el sistema a  $2 \text{ y } 3 \text{ km h}^{-1}$  para tener mejor precisión.



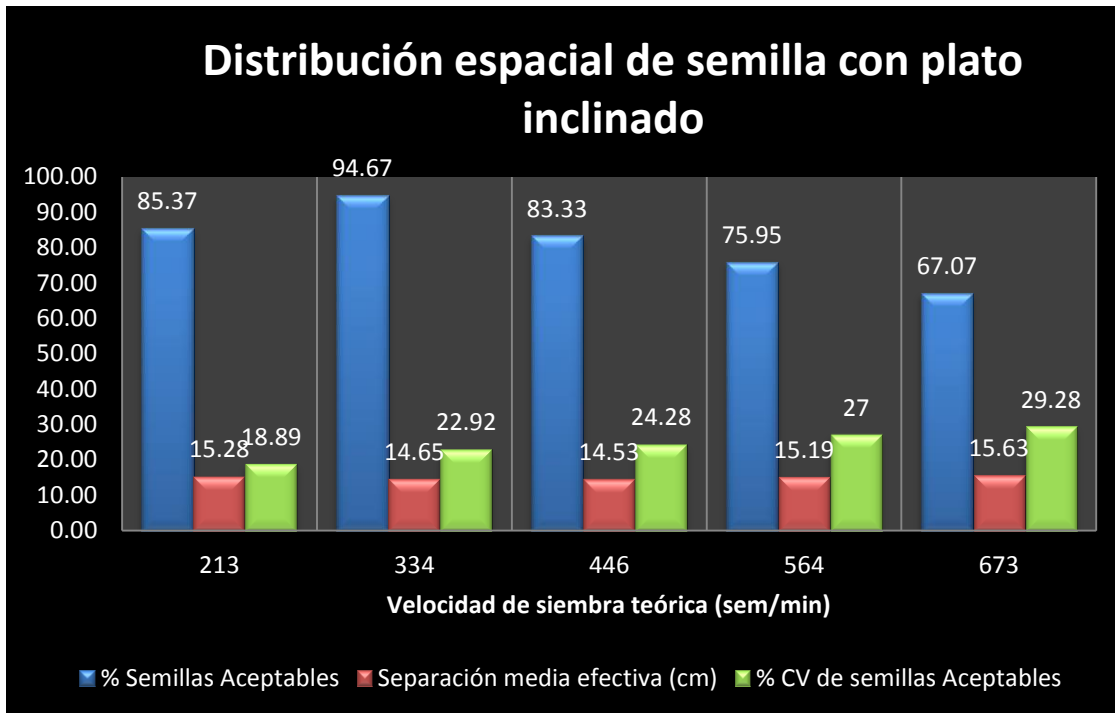


Figura 71 Grafica de distribución espacial en semilla con plato inclinado.

Para el caso del rodillo acanalado se observó que este sistema tiene una eficiencia que va desde 112% y a medida que se aumenta la velocidad de avance decae hasta el 75% según la ecuación característica con 82.6% en el coeficiente de correlación.

Es conveniente mencionar que para el caso de los tres sistemas el exceso del 100% en la eficiencia no quiere decir que sea mejor que 100%, sino indica que el sistema entrega mayor densidad de la teórica. En el caso de los valores inferiores a 100% disminuye la densidad real que puede medir el sistema.

Por otro lado la ecuación estima que la mejor velocidad de operación para este sistema es a  $4.18 \text{ km h}^{-1}$ , como se muestra en la Figura 72.

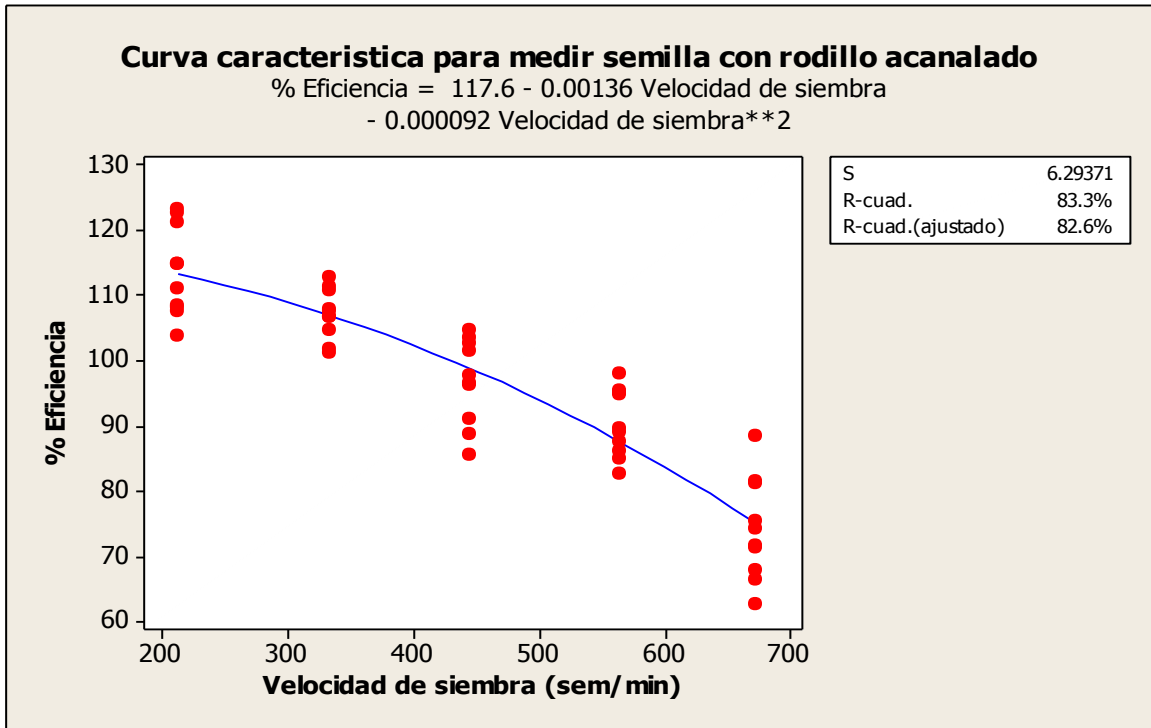


Figura 72 Grafica de curva característica para medir semilla con rodillo acanalado.

El daño mecánico máximo promedio que provoca el rodillo acanalado es de 0.32% operándolo a la velocidad de avance de 4.18 km h<sup>-1</sup> (Figura 73), lo que significa que es un valor aceptable y por lo tanto que no provoca mayor impacto en la disminución de semillas.

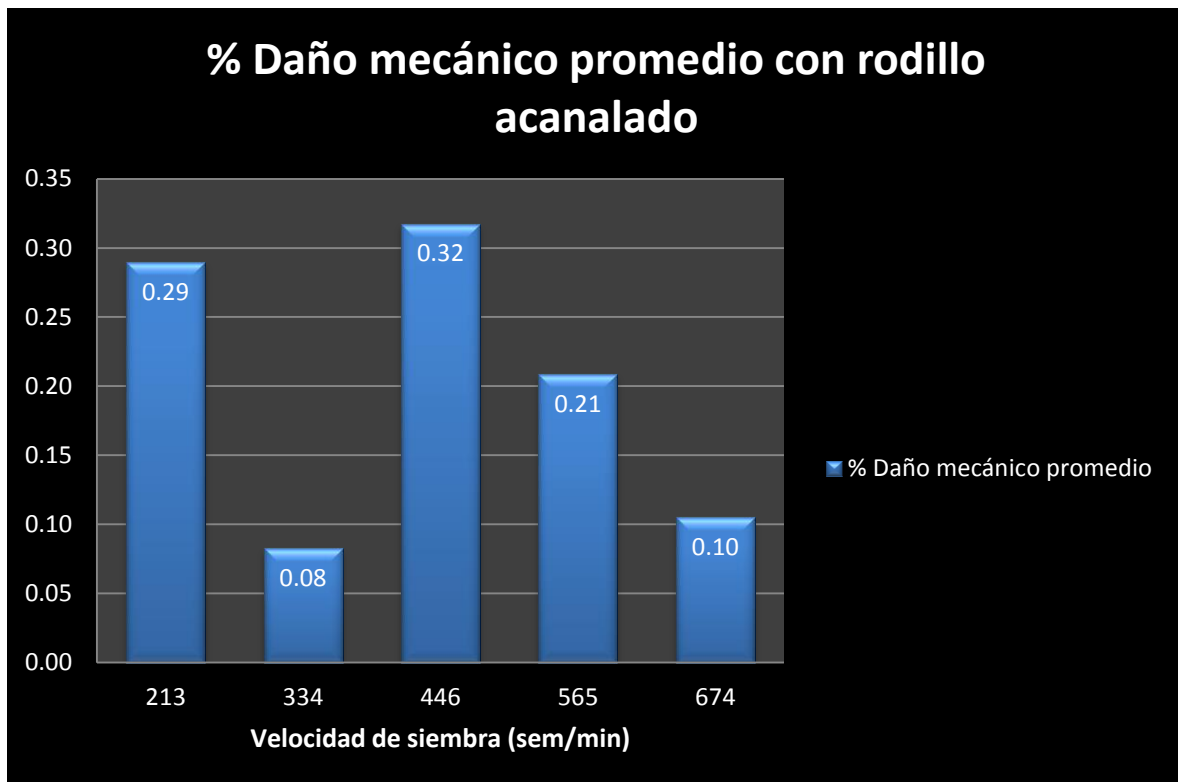


Figura 73 Grafica de daño mecánico con plato inclinado.

Para la distribución espacial que proporciona el rodillo acanalado se puede notar en la Figura 74 que el porcentaje de semillas aceptables es 88.16% a la velocidad de avance  $2 \text{ km h}^{-1}$ , pero en general el sistema presenta gran variabilidad en el distanciamiento que deja entre semillas que va desde el 27.3 hasta 31.13%, lo que provocaría perdida en el rendimiento de un cultivo, por falta de uniformidad en la distribución espacial.

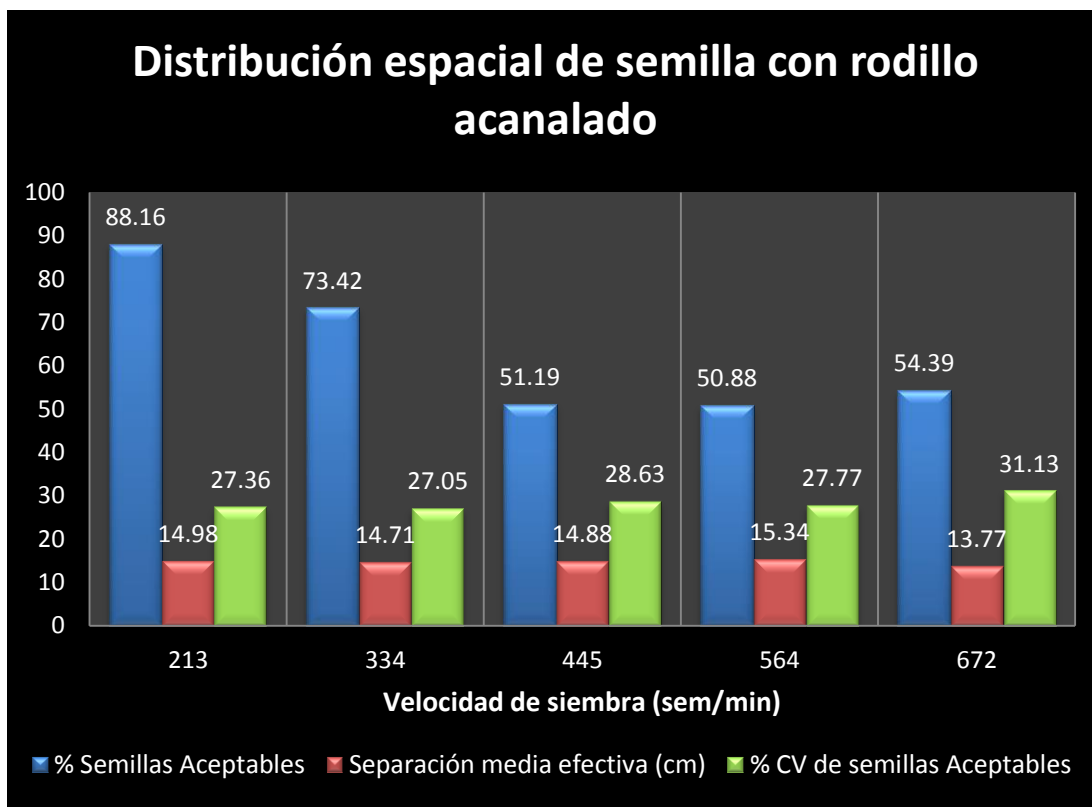


Figura 74 Grafica de distribución espacial en semilla con rodillo acanalado.

En lo que respecta a la evaluación de los sistemas para medir fertilizante, se trabajó con la mezcla de fertilizante granulado de sulfato de amonio y superfosfato de calcio triple que presentaba una forma esférica. El fertilizante tenía un tamaño en su granulometría de 3.36, 2.38, 2, 1.68, 1.41, 1.19, 1, 0.841 mm y una distribución de 22.44, 23.19, 15.91, 8.82, 6.91, 2.53, 1.23, 0.88% respectivamente al cada tamaño de gránulo. Predominando con un 23.19% la granulometría de 2.38 mm. El fertilizante se operó con un contenido de humedad promedio de 4.91% y una densidad a granel de  $0.9430 \text{ g cm}^{-3}$ ; su ángulo de reposo promedio fue de  $26.32^\circ$ .

De los tres sistemas que se evaluaron para medir el fertilizante con las características antes mencionadas, se encontró que el sistema de plato horizontal no sirve para medir fertilizante debido a que el fertilizante obstruye el área donde

se gira el plato y provoca que se atasque dicho plato, paralizándose el funcionamiento del plato horizontal.

En el caso del plato inclinado se determinó, mediante la ecuación de comportamiento que se puede alcanzar un 92% en la eficiencia operando el sistema a 2 km h<sup>-1</sup>, pero el sistema presenta demasiada inestabilidad que va desde un 100% ± 43, lo que puede provocar pérdidas severas en la aplicación de fertilizante como se muestra en la Figura 75.

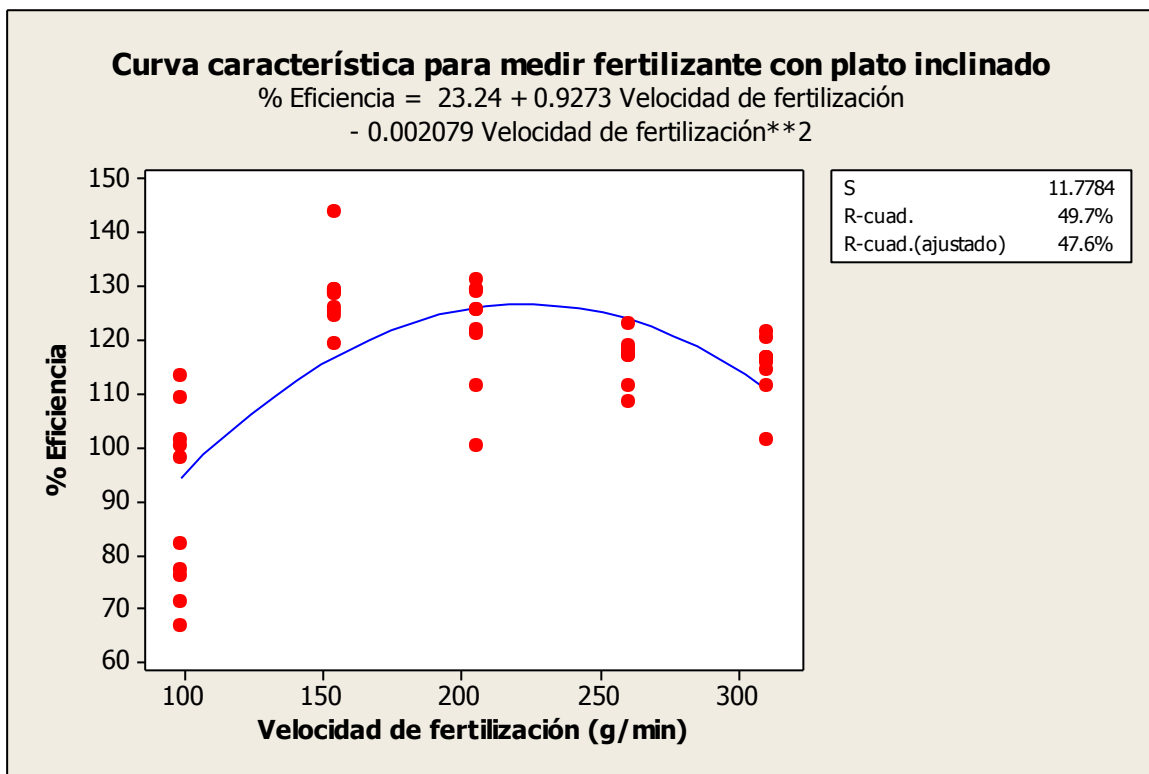


Figura 75 Grafica de curva característica para medir fertilizante con plato inclinado.

La eficiencia que presenta el rodillo acanalado para medir fertilizante según la ecuación del comportamiento que tiene un coeficiente de correlación de 71.2%, estima que es factible medir fertilizante operando el sistema a una velocidad de avance de 4.18, 5.29, 6.31 km h<sup>-1</sup>, para tener alcanzar una eficiencia de fertilización que se encuentre dentro del rango de 100% ±10 (Figura 76).

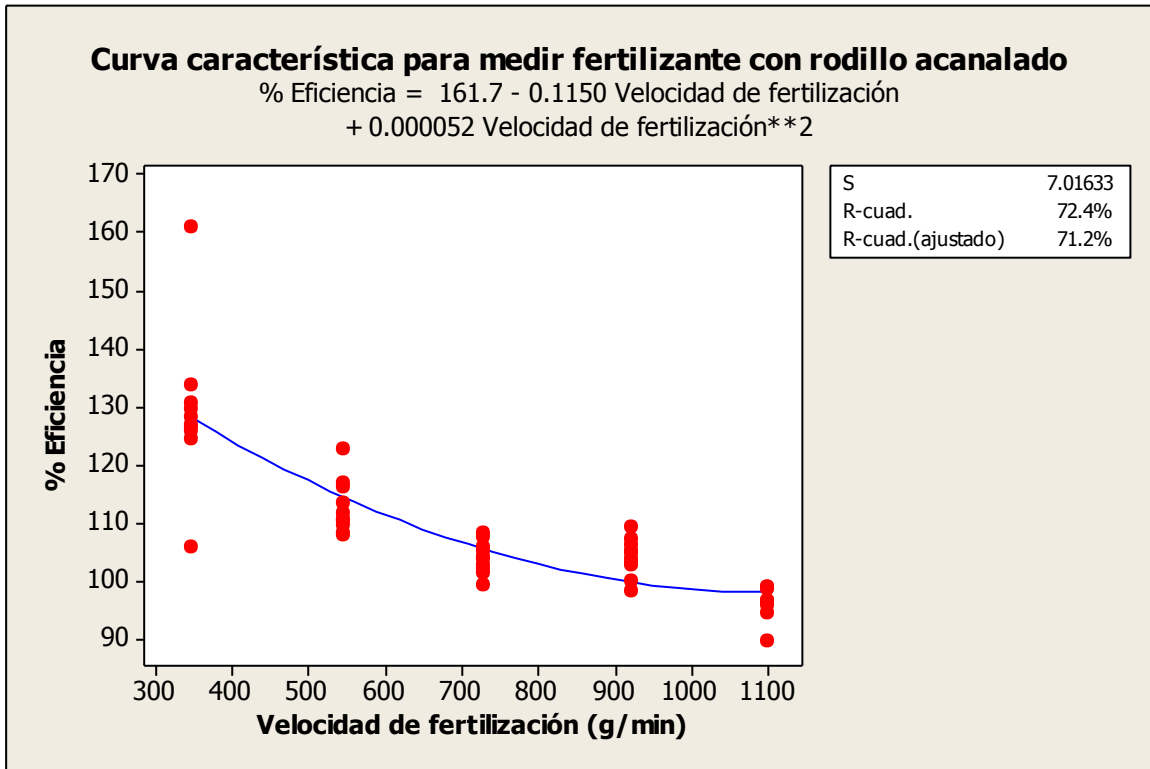


Figura 76 Grafica de curva característica para medir fertilizante con rodillo acanalado.

El problema relacionado con los platos en comparación con el rodillo acanalado al dosificar fertilizante, es el espacio en el fondo del plato por donde se introduce el fertilizante y por ende lo muele y provoca bloquear los sistemas.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema de plato horizontal tiene una eficiencia de entrega de semilla de  $100\% \pm 10$  entre el rango de 213 hasta 674 semilla por minuto con menos del 0.91% de daño mecánico en la semilla de maíz, por lo que se considera que el sistema en este rango de velocidades de siembra entrega una densidad de siembra aceptable.
- El sistema de plato horizontal presenta una distribución espacial aceptable de semillas de maíz con un coeficiente de variación en la separación de semillas de 20.63%, en la velocidad de siembra de 213 semillas por minuto, las velocidades mayores provocan una alta heterogeneidad en la uniformidad de siembra.
- El sistema de plato inclinado tiene una eficiencia aceptable que va del  $100\% \pm 10$  en el rango de velocidad de siembra de 213 semillas por minuto hasta 673, con menos del 0.46% de daño mecánico en la semilla de maíz, por lo que se considera que entrega una densidad de siembra aceptable.
- El sistema de plato inclinado muestra distribución espacial para la semilla de maíz aceptable en las velocidades de siembra de 213 y 334 semilla por minuto con un coeficiente de variación de la separación entre semillas de 18.89% y 22.92%. Las velocidades mayores provocan alta heterogeneidad en la uniformidad de siembra.
- El sistema de rodillo acanalado tiene una eficiencia aceptable de  $100\% \pm 10$  en la velocidad de siembra de 445 semillas por minuto, las velocidades de siembra inferiores superan la tolerancia del 10% y las velocidades superiores pierden eficiencia hasta llegar al 70%.

- El sistema de rodillo acanalado muestra que ninguna velocidad de siembra satisface una uniformidad de siembra aceptable debido a que en todas las velocidades supera el 25% del coeficiente de variación lo que quiere decir que este sistema no entrega una distribución espacial en la semilla de maíz aceptable.
- El sistema de plato horizontal no sirve para medir fertilizante granulado.
- El sistema de plato inclinado presenta una eficiencia para medir fertilizante que no es aceptable en ninguna velocidad de operación debido a que todas las velocidades de fertilización que se probaron exceden el 10% del valor ideal.
- El sistema de rodillo acanalado presenta una eficiencia aceptable para medir fertilizante del  $100\% \pm 10$  en las velocidades de 728 gramos por minuto hasta 1100 gramos por minuto, las velocidades inferiores alcanzan hasta un 130%, lo que indica que existe una sobredosis en la fertilización.
- Se puede comprobar que de los tres sistemas evaluados ninguno cumple el concepto de doble propósito, lo que indica que no pueden medir de manera individual semilla y fertilizante con una eficiencia de trabajo aceptable.
- Se recomienda seguir trabajando con estas evaluaciones en el banco de pruebas a una altura menor a 90 cm del sistema hacia la banda móvil. Para conocer si la falta de uniformidad de siembra se debe a la variable de altura o al diseño del embudo y tubo de suministro de semillas de cada sistema.



- Se recomienda colocar un motoreductor en el banco de pruebas en el banco para trabajar con un rango más amplio en la manipulación de la frecuencia, esto con la finalidad que exista una menor variabilidad en la velocidad angular que proporciona el motor al banco de pruebas, debido a pérdidas mecánicas.
  
- Se recomienda implementar un sistema de conteo de semillas para realizarlo de manera automatizada y de esta manera realizar las pruebas con un parámetro de semilla más grande.
  
- Se recomienda mejorar el sistema de soporte y ajuste con el que cuenta la banda móvil.

## 6 LITERATURA CITADA

Altieri, M., C. I. Nicholls. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente. México, D.F.

Alvarado, C. A. 2004. Maquinaria y mecanización agrícola. Editorial Universidad Estatal Distancia. Costa Rica, San José.

Baker, C. J., K. E. Saxton, W. R. Ritchie, W. C. T. Chamen, D. C. Reicosky, M. F. S. Ribeiro, S. E. Justice, P. R. Hobbs. 2008. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Acribia. España, Zaragoza.

Bongiovanni, R., J. Lowenberg-DeBoer. 2001. Agricultura de Precisión y Sustentabilidad. Trabajo presentado en el VII Congreso Nacional del Maíz. Argentina, Pergamino.

Campos-Magaña, S. G., M. Cadena-Zapata, A. Reynolds-Chávez, S. Jácome-Maldonado, J. A. Cruz-Ballado, J. J. Bonilla-Bada, V. A. Esqueda-Esquivel. 2007. DESARROLLO DE UN SISTEMA NEUMÁTICO DE ALTA PRECISION PARA LABRANZA DE CONSERVACIÓN PARA TRACTORES DE POTENCIA MEDIA. Terra 25: 85-91.

Cervantes-Ortiz, F., J. Covarrubias-Prieto, J. A. Rangel-Lucio, A. D. Terrón-Ibarra, M. Mendoza-Elos, R. E. Preciado-Ortiz. 2013. DENSIDAD DE POBLACIÓN Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA HÍBRIDA DE MAÍZ. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 24(1):101-110.

CGIAR. 2004. Una Alianza Estratégica para el Siglo XXI. [[http://library.cgiar.org/bitstream/handle/10947/5515/cgbrochure04\\_sp.pdf?sequence=1?sequence=1](http://library.cgiar.org/bitstream/handle/10947/5515/cgbrochure04_sp.pdf?sequence=1?sequence=1) consultada el 13 de noviembre 2014].

CIMMYT. 2014a. Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional. [<http://www.cimmyt.org/es/donde-trabajamos/america/masagro-modernizacion-sustentable-de-la-agricultura-tradicional> consultada el 13 de noviembre 2014].

CIMMYT. 2014b. Nuestra Historia. [<http://www.cimmyt.org/es/quienes-somos/nuestra-historia> consultada el 13 de noviembre 2014].

D'Oleo, J. R., F. Oviedo. 1999. INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays*, L.). Centro de Investigaciones Agropecuarias del Suroeste. San Juan de la Maguana, REP. DOM.

Díaz, S. O. E. 2008. GASTO PÚBLICO, MULTIFUNCIONALIDAD Y DESARROLLO RURAL EN MÉXICO. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

FAO. 2006. EXAMEN MUNDIAL Y POR REGIONES Parte II. EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma.

Gil, G. F. 1995. Energía y mecanización en la agricultura. Universidad Central de Venezuela. Venezuela, Caracas.

Jorgenson, M. E. 1988. Choosing the Right Seeding and Fertilizing Equipment. Prairie Agricultural Machinery Institute. Canadá, Saskatchewan.

Landers, J. N. 2004. Desarrollo de la siembra directa en el Brasil Tropical. FAO. Roma.

Flores, J. P., Vázquez, B.P. y Quintero, M.L. 2012. ¿SOBERANÍA, SEGURIDAD, AUTOSUFICIENCIA O CRISIS ALIMENTARIA? CASO DE MÉXICO Y LA REGIÓN ESTE DE ÁFRICA. PROBLEMA BÁSICO EN SALUD Y CALIDAD DE VIDA. Revista Digital Universitaria 13(8): 19pp.

Murillo, G. N. 1987. Tractores y Maquinaria Agrícola. Editorial Universidad Estatal Distancia. Costa Rica, San José.

Murray, J. R., J. N. Tullberg, B. B. Basnet. 2006. Planters and their Components: types, attributes, functional requirements, classification and description. Australian Centre for International Agricultural Research. Australia, Canberra.

Negrete, C. J. 2011. Políticas de mecanización agrícola de México. Revista Iberoamericana CTS. México, D.F.

SAGARPA. 2014. Precios de semilla Obregón Sonora Mes: Febrero. [<http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/precios/Paginas/obregon-febrero.aspx> Consultada el 13 noviembre de 2014].

Universidad de Castilla-La Mancha Fertilización de Olivar. [<http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/tfcaps1/pdf/TEMA4.pdf>. consultada el 25 de septiembre 2014].

Van, L. J. 2014. Model-based design and development of seed/fertilizer meters for high precision application systems. Propuesta para tesis en CIMMYT. México, D.F.

Violic, A. D., R. I. Paliwal, G. Granados, H. R. Lafitte. 2001. EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS. FAO. Roma.

Yepis-Vargas, O., O. Fundadora-Herrera, C. Pereira-Marín, T. Crespo-Borges. 1999. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EL USO EXCESIVO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL CULTIVO DEL TOMATE. SCIENTIA gerundensis 24: 5-12.

# ANEXOS

## Anexo A Dimensiones de la semilla de maíz.

# Semilla	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)
1	1.25	0.98	0.41
2	1.3	0.96	0.43
3	1.25	0.88	0.41
4	1.19	0.91	0.35
5	1.3	0.92	0.46
6	1.29	0.9	0.41
7	1.27	0.9	0.41
8	1.25	0.95	0.4
9	1.22	0.9	0.39
10	1.35	0.96	0.37
11	1.25	0.91	0.44
12	1.28	0.87	0.41
13	1.23	0.99	0.41
14	1.3	0.9	0.4
15	1.2	0.93	0.43
16	1.24	0.88	0.4
17	1.34	0.91	0.44
18	1.24	0.88	0.44
19	1.3	0.89	0.42
20	1.37	0.91	0.5
21	1.19	0.85	0.46
22	1.29	0.94	0.37
23	1.25	0.88	0.45
24	1.29	0.93	0.49
25	1.29	0.89	0.46
26	1.27	0.91	0.49
27	1.23	0.94	0.49
28	1.33	0.88	0.31
29	1.18	0.87	0.44
30	1.29	0.89	0.42
31	1.27	0.85	0.48
32	1.28	0.9	0.41

# Semilla	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)
33	1.37	0.93	0.45
34	1.2	0.91	0.5
35	1.28	0.9	0.5
36	1.34	0.89	0.39
37	1.27	0.95	0.41
38	1.29	0.95	0.4
39	1.34	0.91	0.41
40	1.28	0.87	0.44
41	1.28	0.9	0.37
42	1.34	0.9	0.41
43	1.41	0.9	0.37
44	1.25	0.88	0.41
45	1.23	0.9	0.42
46	1.2	0.98	0.44
47	1.3	0.9	0.52
48	1.28	0.91	0.4
49	1.28	0.93	0.46
50	1.28	0.87	0.45
<b>Promedio</b>	<b>1.28</b>	<b>0.91</b>	<b>0.43</b>
Max.	1.41	0.99	0.52
Min.	1.18	0.85	0.31
DS	0.0499	0.0323	0.0425
<b>CV (%)</b>	<b>3.91</b>	<b>3.55</b>	<b>9.96</b>

## Anexo B Procedimiento de operación del analizador de humedad para granos.

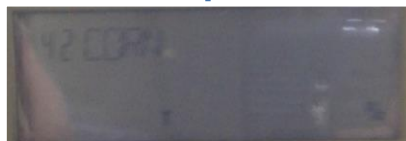


Primeramente el instrumento se encendió oprimiendo el boton de **on**



En seguida se oprimió el boton de **select** y se tecléo el codigo 42.

Este codigo se tomó del manual de operación que significa que el instrumento puede trabajar con maiz.



Se verificó que en el display apareciera la palabra **corn**.



Despues se oprimió el boton **mea** y en un lapso de 3 segundos apareció la palabra **puor**.



En cuanto apareció la palabra **pour** se agregó una medida de semilla al interior del instrumento.



Por ultimo el instrumento indicó el porcentaje de humedad (13.1) de la prueba número uno.

### Anexo C Contenido de humedad de la semilla de maíz.

Muestra	% Humedad de la semilla
1	13.1
2	13.1
3	12.9
4	12.8
5	13.7
6	12.7
7	13.2
8	13
<b>Humedad promedio</b>	<b>13.0625</b>



### Anexo D Densidad a granel de la semilla de maíz.

Muestra	Masa de la semilla (g)	Volumen del cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad a granel de la semilla (g cm <sup>-3</sup> )
1	74.46	98.1797	0.7584
2	74.75	98.1797	0.7613
3	74.22	98.1797	0.7559
4	75.72	98.1797	0.7712
5	74.72	98.1797	0.7610
<b>Densidad promedio</b>			<b>0.7616</b>

### Anexo E Distribución del tamaño del fertilizante.

Apertura del tamiz (mm)	Masa del fertilizante en cada tamiz (g)	Distribución del tamaño (%)
4.76	5.38	0.53
3.36	224.42	22.44
2.38	231.93	23.19
2	159.11	15.91
1.68	88.20	8.82
1.41	69.15	6.91
1.19	25.37	2.53
1	12.32	1.23
0.841	8.83	0.88
Recipiente	175.24	17.52

### Anexo F Contenido de humedad del fertilizante.

Masa del cilindro vacío (g)	Masa de cilindro con fertilizante húmedo (g)	Masa con cilindro y fertilizante seco (g)	% Contenido de humedad
90.48	185	180.29	4.98
90.57	183.42	178.91	4.85
90.48	185.15	180.41	5.00
90.42	182.61	178.17	4.81
88.41	183.32	178.64	4.93
<b>Humedad promedio</b>			<b>4.91</b>

### Anexo G Densidad a granel del fertilizante.

Muestra	Masa del fertilizante (g)	Volumen del cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad a granel del fertilizante (g cm <sup>-3</sup> )
1	92.17	98.1747	0.9388
2	90.02	98.1747	0.9169
3	91.54	98.1747	0.9324
4	94.22	98.1747	0.9597
5	94.94	98.1747	0.9671
<b>Promedio de la densidad</b>			<b>0.9430</b>



## Anexo H Método del embudo fijo utilizando el instrumento MAR.

Éste método consiste en hacer pasar el fertilizante mediante un embudo para formar un cono de fertilizante en la base del instrumento de la siguiente manera.



Se agregó fertilizante al embudo enrasandolo con una placa metalica plana en forma de zigzag, tapando el cilindro de descarga.



Se dejó caer el fertilizante en la base del instrumento, colocada en posición horizontal y cubierta previamente con papel estraza.



Se marcó la periferia formada por el cono del fertilizante, para despues ser medida en forma de cruz tomando dos mediciones, las cuales se promediaron obteniendo el diametro.



Se coloco un nivel de burbuja perpendicularmente a la punta del cono formado, para asegurar realizar una medicion correcta de la altura del cono.

Por ultimo mediante la siguiente ecuación se calculó el ángulo de reposo:

$$\text{Ángulo de reposo del fertilizante} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Altura del cono formado}}{\text{Radio promedio de la base del cono}} \right)$$

## Anexo I Ángulo de reposo del fertilizante.

Diámetro base formado por el cono (mm)	Diámetro promedio de la base del cono (mm)	Altura del cono formado (mm)	Ángulo de reposo (Grad.)
450	443.5	111	26.59
437			
445	449.5	111	26.28
454			
457	453.0	113	26.1
449			
<b>Ángulo promedio</b>			<b>26.32</b>

## Anexo J Procedimiento para medir velocidad con tacómetro.



Primeramente colocamos la base con el adaptador para medir velocidad, en el tacómetro.



Enseguida se colocó la perilla en la opción para medir velocidad **m/min**.



Posteriormente se colocó el adaptador circular sobre la banda, presionando el botón de encendido que se encuentra a un costado del tacómetro.

El tacómetro expresa la velocidad en m/min como se visualiza en el display.

## Anexo K Procedimiento para variar la frecuencia de operación del motor.



Con el variador encendido, ponemos en marcha el motor eléctrico oprimiendo el botón de **Hand On**.



Enseguida se giró la perilla (potenciometro) que se visualiza arriba del botón Auto on, hacia la derecha o izquierda, según si se quería aumentar la frecuencia o disminuir.

El display del variador de frecuencia muestra la frecuencia a la que se estaba operando el motor.



Por último para detener el motor eléctrico se presionó el botón de **Off Reset**.

## Anexo L Procedimiento para medir revoluciones por minuto con tacómetro.



Primeramente se colocó un cuadrado de 2 cm<sup>2</sup> aproximadamente sobre la superficie que se midió (rodillo acanalado).



Enseguida se colocó la perilla en la opción para medir revoluciones por minuto (rpm) en la opción photo, que significa que se utilizó la opción de sensor por medio de un haz de luz que emite el tacómetro.



Se colocó el tacómetro a una distancia de 20 cm aproximadamente respecto a la cinta reflejante y se mantuvo presionado el botón de encendido que se encuentra en la parte posterior del tacómetro.

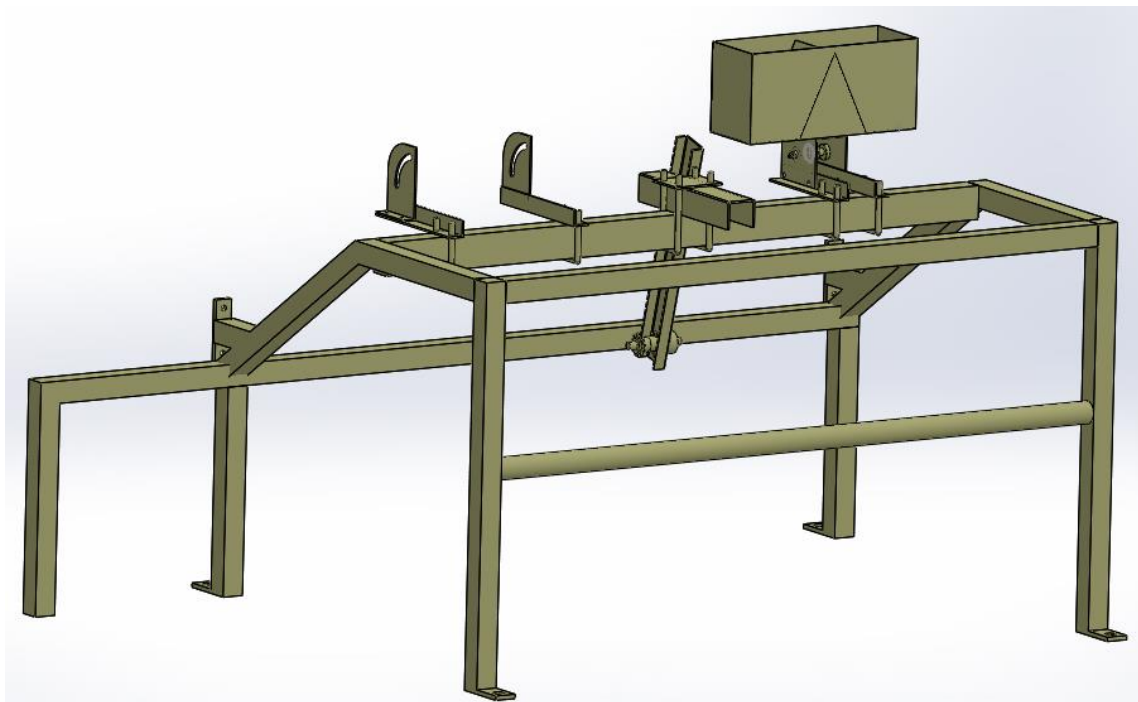
El tacómetro emite un haz de luz que debe apuntar en dirección de la cinta reflejante.

A continuación el display mostró las rpm a las que operaba la banda.

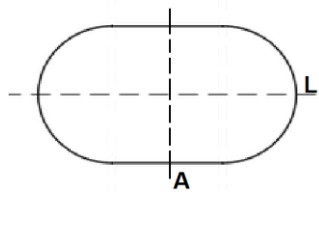
**Anexo M Tabla de calibración de velocidades del banco de pruebas.**

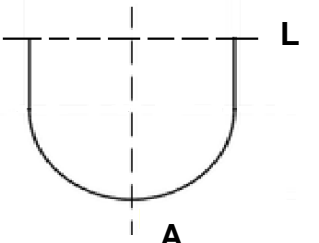
Velocidad de avance			Frecuencia	Polea de 6" de $\phi$
Km h <sup>-1</sup>	M min <sup>-1</sup>	m s <sup>-1</sup>	Hz	Rpm
2	33.33	0.555	8	98.2
3.13	52.26	0.86	12	154
4.18	69.74	1.16	15	205.5
5.29	88.24	1.46	19	260
6.31	105.21	1.75	22.3	310

**Anexo N Diseño de soportes de dosificadores.**



**Anexo Ñ Dimensiones de las celdas de platos y rodillo dosificador.**

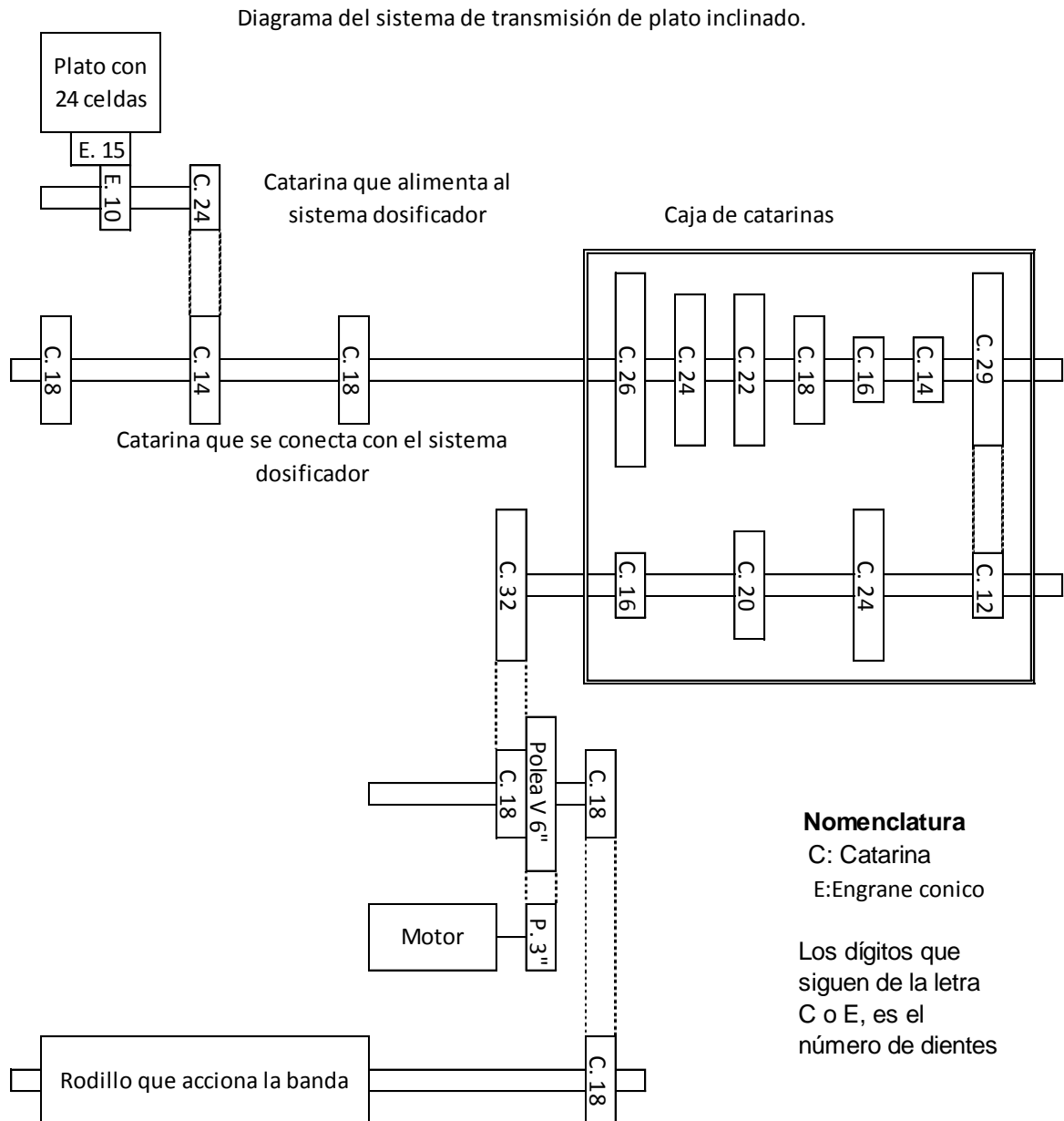
Dimensiones de celdas del plato horizontal				Forma de óvalo
Largo (L) mm	Ancho (A) mm	Contraplaca (espesor) mm	# Celdas	
13	10.5	4	28	
<b>13.5</b>	<b>10.5</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	
15	10.5	4	28	
18	10.5	4	28	
Celdas con forma de círculo miden 12.5 y 11 mm de diámetro.				

Dimensiones de celdas del plato inclinado.				Forma de medio óvalo
Largo (L) mm	Ancho (A) mm	Profundidad (espesor) mm	# Celdas	
13.99	8.66	6.07	24	
<b>13.59</b>	<b>9.17</b>	<b>5</b>	<b>24</b>	
8.67	7.9	6.5	35	
7.52	7.13	6.78	35	
6.88	5.65	5.97	40	

Dimensiones de celda del rodillo acanalado				Forma de medio óvalo
Largo (L) mm	Ancho (A) mm	Profundidad (espesor) mm	# Celdas	
<b>17</b>	<b>7</b>	<b>7.51</b>	<b>6</b>	
17	7	9.5	6	
17	7	13	6	

## Anexo O Diagramas de relación de transmisión de los sistemas.

### Para plato inclinado.

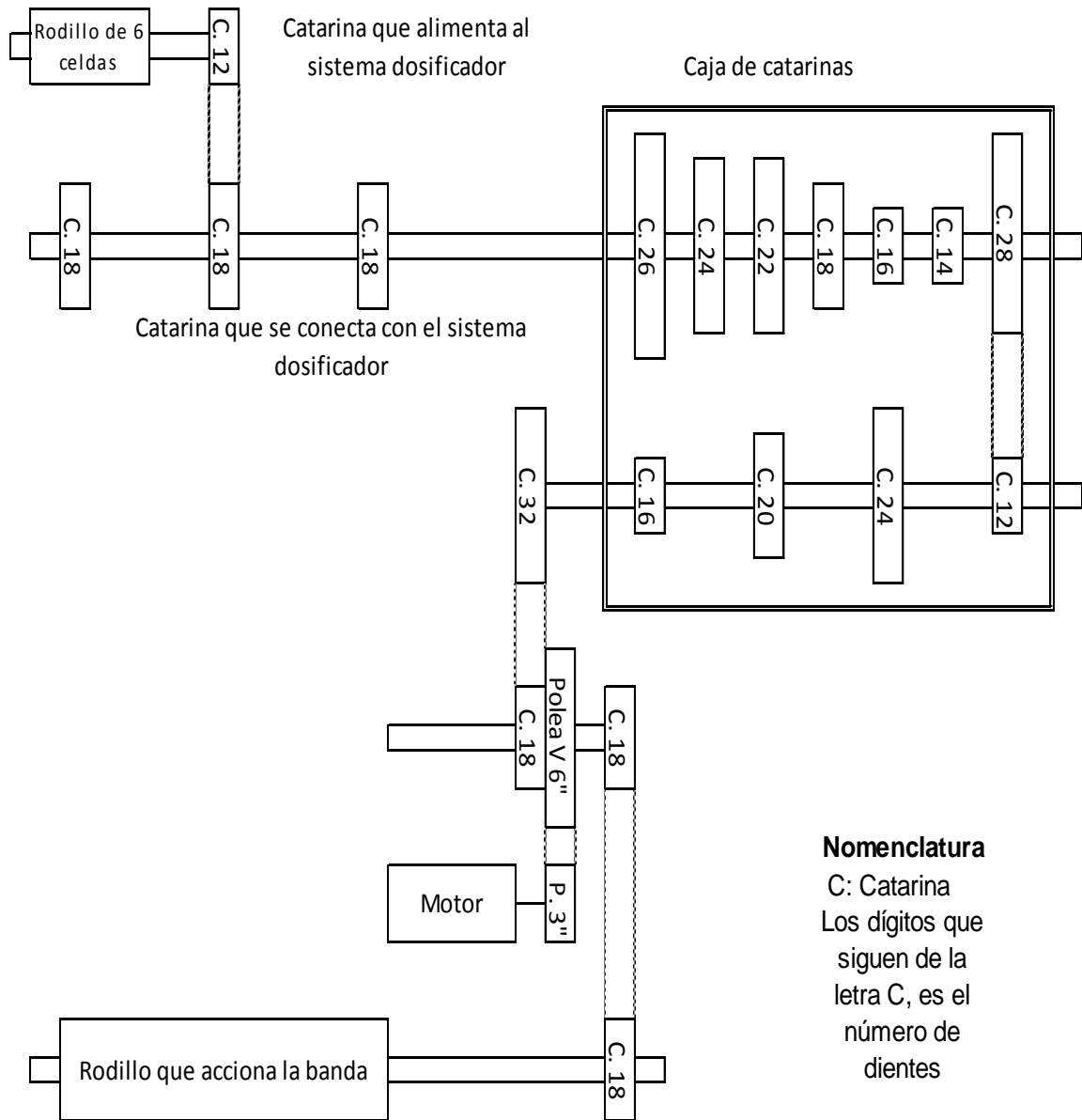


$$R_t = \frac{32}{18} * \frac{29}{12} * \frac{24}{14} * \frac{15}{10} = 11.0476$$



**Para rodillo acanalado.**

Diagrama del sistema de transmisión de rodillo acanalado.



$$Rt = \frac{32}{18} * \frac{28}{12} * \frac{12}{18} = 2.7654$$

**Anexo P Tabla de velocidad de siembra de los sistemas.**

Velocidad de avance (m min <sup>-1</sup> )	Velocidad de referencia (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )			Separación teórica entre semillas (cm)		
		PH	PI	RA	PH	PI	RA
33.33	213.31	213.54	213.33	213.06	15.6	15.62	15.64
52.26	334.46	334.88	334.55	334.12	15.6	15.62	15.64
69.74	446.33	446.87	446.43	445.86	15.6	15.62	15.64
88.24	564.73	565.39	564.82	564.1	15.6	15.62	15.64
105.21	673.34	674.12	673.44	672.59	15.6	15.62	15.64

Rt de plato horizontal= 12.876

Rt de plato inclinado= 11.0476

Rt de rodillo acanalado= 2.7654

**Anexo Q Tabla de revoluciones de platos y rodillos.**

Velocidad de avance (m min <sup>-1</sup> )	Revoluciones de la polea 6"	Revoluciones de plato H.	Revoluciones de plato I.	Revoluciones de rodillo A.
33.33	98.2	7.62	8.88	35.51
52.26	154	11.96	13.93	55.68
69.74	205.5	15.95	18.6	74.31
88.24	260	20.19	23.53	94.01
105.21	310	24.07	28.06	112.09

**Fotos de revoluciones de la polea de seis pulgadas.**



**Fotos de revoluciones de plato horizontal.**



**Fotos de revoluciones de rodillo acanalado.**



## Anexo R Tablas de eficiencia en la dosificación de semilla de los sistemas.

**Tabla de plato horizontal.**

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de plato horizontal
1-1	8	59:81	213	196	92.02
1-2	8	01:00:22	213	202	94.84
1-3	8	01:00:25	213	201	94.37
1-4	8	01:00:16	213	196	92.02
1-5	8	01:00:28	213	208	97.65
1-6	8	01:00:22	213	205	96.24
1-7	8	01:00:09	213	205	96.24
1-8	8	01:00:19	213	209	98.12
1-9	8	01:00:06	213	203	95.31
1-10	8	01:00:18	213	207	97.18
2-1	12	01:00:09	334	330	98.80
2-2	12	01:00:25	334	330	98.80
2-3	12	01:00:12	334	327	97.90
2-4	12	01:00:22	334	330	98.80
2-5	12	01:00:19	334	326	97.60
2-6	12	01:00:25	334	327	97.90
2-7	12	01:00:28	334	331	99.10
2-8	12	01:00:09	334	328	98.20
2-9	12	01:00:16	334	329	98.50
2-10	12	01:00:29	334	341	102.10
3-1	15	01:00:25	446	434	97.31
3-2	15	01:00:38	446	429	96.19
3-3	15	01:00:13	446	428	95.96
3-4	15	01:00:22	446	432	96.86
3-5	15	01:00:25	446	451	101.12
3-6	15	01:00:03	446	437	97.98
3-7	15	01:00:15	446	434	97.31
3-8	15	01:00:00	446	448	100.45
3-9	15	01:00:25	446	446	100.00
3-10	15	01:00:19	446	431	96.64
4-1	19	01:00:13	565	534	94.51
4-2	19	01:00:22	565	527	93.27
4-3	19	01:00:00	565	531	93.98

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de plato horizontal
4-4	19	01:00:06	565	505	89.38
4-5	19	01:00:09	565	554	98.05
4-6	19	01:00:22	565	542	95.93
4-7	19	01:00:07	565	525	92.92
4-8	19	01:00:28	565	525	92.92
4-9	19	01:00:19	565	534	94.51
4-10	19	01:00:03	565	531	93.98
5-1	22.3	01:00:10	674	616	91.39
5-2	22.3	01:00:21	674	631	93.62
5-3	22.3	01:00:00	674	636	94.36
5-4	22.3	01:00:16	674	633	93.92
5-5	22.3	01:00:19	674	625	92.73
5-6	22.3	01:00:22	674	607	90.06
5-7	22.3	59:79	674	620	91.99
5-8	22.3	59:80	674	617	91.54
5-9	22.3	59:98	674	637	94.51
5-10	22.3	01:00:02	674	616	91.39

### Tabla de plato inclinado.

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de plato inclinado
1-1	8	01:00:19	213	234	109.86
1-2	8	01:00:37	213	222	104.23
1-3	8	01:00:37	213	205	96.24
1-4	8	01:00:15	213	225	105.63
1-5	8	01:00:21	213	218	102.35
1-6	8	01:00:22	213	228	107.04
1-7	8	01:00:22	213	220	103.29
1-8	8	01:00:07	213	229	107.51
1-9	8	59:87	213	219	102.82
1-10	8	01:00:00	213	218	102.35
2-1	12	01:00:00	334	356	106.59
2-2	12	01:00:22	334	343	102.69
2-3	12	01:00:10	334	358	107.19
2-4	12	01:00:25	334	349	104.49
2-5	12	01:00:34	334	365	109.28

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de plato inclinado
2-6	12	01:00:06	334	345	103.29
2-7	12	01:00:19	334	363	108.68
2-8	12	01:00:19	334	358	107.19
2-9	12	59:34	334	367	109.88
2-10	12	1:00:21	334	343	102.69
3-1	15	01:00:16	446	468	104.93
3-2	15	01:00:21	446	470	105.38
3-3	15	01:00:25	446	472	105.83
3-4	15	01:00:31	446	448	100.45
3-5	15	59:59	446	462	103.59
3-6	15	01:01:24	446	467	104.71
3-7	15	01:00:25	446	491	110.09
3-8	15	01:00:22	446	431	96.64
3-9	15	01:00:34	446	455	102.02
3-10	15	01:00:38	446	456	102.24
4-1	19	59:91	564	574	101.77
4-2	19	01:00:19	564	573	101.60
4-3	19	01:00:16	564	569	100.89
4-4	19	01:00:19	564	590	104.61
4-5	19	01:00:06	564	562	99.65
4-6	19	01:00:16	564	553	98.05
4-7	19	01:00:25	564	572	101.42
4-8	19	01:00:25	564	560	99.29
4-9	19	01:00:19	564	562	99.65
4-10	19	01:00:19	564	564	100.00
5-1	22.3	01:00:09	673	640	95.10
5-2	22.3	01:00:02	673	642	95.39
5-3	22.3	01:00:25	673	587	87.22
5-4	22.3	01:00:18	673	627	93.16
5-5	22.3	01:00:12	673	629	93.46
5-6	22.3	59:22	673	648	96.29
5-7	22.3	01:00:05	673	645	95.84
5-8	22.3	01:00:25	673	639	94.95
5-9	22.3	01:00:19	673	630	93.61
5-10	22.3	01:00:16	673	626	93.02

**Tabla de rodillo acanalado.**

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de rodillo acanalado
1-1	8	01:00:29	213	262	123.00
1-2	8	01:00:29	213	261	122.54
1-3	8	01:00:29	213	230	107.98
1-4	8	59:89	213	236	110.80
1-5	8	01:00:38	213	229	107.51
1-6	8	01:00:35	213	244	114.55
1-7	8	01:00:06	213	244	114.55
1-8	8	01:00:28	213	221	103.76
1-9	8	01:00:20	213	231	108.45
1-10	8	59:85	213	258	121.13
2-1	12	01:00:28	334	356	106.59
2-2	12	01:00:16	334	338	101.20
2-3	12	01:00:28	334	359	107.49
2-4	12	59:96	334	340	101.80
2-5	12	01:00:19	334	356	106.59
2-6	12	01:00:27	334	360	107.78
2-7	12	01:00:25	334	349	104.49
2-8	12	01:00:16	334	370	110.78
2-9	12	01:00:25	334	376	112.57
2-10	12	01:00:28	334	371	111.08
3-1	15	01:00:19	445	434	97.53
3-2	15	59:91	445	394	88.54
3-3	15	01:00:25	445	456	102.47
3-4	15	01:00:00	445	465	104.49
3-5	15	01:00:32	445	428	96.18
3-6	15	01:00:09	445	380	85.39
3-7	15	01:00:22	445	405	91.01
3-8	15	01:00:41	445	460	103.37
3-9	15	01:00:06	445	451	101.35
3-10	15	01:00:12	445	429	96.40
4-1	15	01:00:03	564	536	95.04
4-2	15	59:80	564	466	82.62
4-3	15	01:00:21	564	534	94.68
4-4	15	01:00:03	564	505	89.54
4-5	15	01:00:15	564	494	87.59

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad de siembra teórica (sem min <sup>-1</sup> )	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de rodillo acanalado
4-6	15	59:85	564	479	84.93
4-7	15	59:94	564	485	85.99
4-8	15	01:00:29	564	537	95.21
4-9	15	01:00:19	564	502	89.01
4-10	15	01:00:38	564	552	97.87
5-1	19	01:00:19	672	547	81.40
5-2	19	01:00:03	672	545	81.10
5-3	19	01:00:22	672	593	88.24
5-4	19	01:00:22	672	498	74.11
5-5	19	01:00:21	672	421	62.65
5-6	19	01:00:16	672	446	66.37
5-7	19	01:00:28	672	481	71.58
5-8	19	01:00:31	672	506	75.30
5-9	19	01:00:22	672	479	71.28
5-10	19	01:00:22	672	456	67.86

### Anexo S Tabla de daño mecánico de semillas de los tres sistemas.

Plato horizontal			Plato inclinado			Rodillo acanalado		
Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico
196	1	0.51	234	1	0.43	262	0	0.00
202	0	0.00	222	0	0.00	261	1	0.38
201	0	0.00	205	0	0.00	230	2	0.87
196	0	0.00	225	0	0.00	236	0	0.00
208	1	0.48	218	1	0.46	229	0	0.00
205	0	0.00	228	0	0.00	244	0	0.00
205	0	0.00	220	0	0.00	244	2	0.82
209	0	0.00	229	0	0.00	221	0	0.00
203	0	0.00	219	0	0.00	231	1	0.43
207	0	0.00	218	0	0.00	258	1	0.39
330	0	0.00	356	1	0.28	356	0	0.00
330	0	0.00	343	1	0.29	338	0	0.00
327	1	0.31	358	0	0.00	359	0	0.00
330	0	0.00	349	0	0.00	340	1	0.29
326	1	0.31	365	0	0.00	356	0	0.00



Plato horizontal			Plato inclinado			Rodillo acanalado		
Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico	Velocidad de siembra real (sem min <sup>-1</sup> )	# Semillas dañadas	% Daño mecánico
327	0	0.00	345	1	0.29	360	0	0.00
331	0	0.00	363	0	0.00	349	0	0.00
328	3	0.91	358	1	0.28	370	0	0.00
329	1	0.30	367	1	0.27	376	2	0.53
341	1	0.29	343	0	0.00	371	0	0.00
434	0	0.00	468	0	0.00	434	1	0.23
429	1	0.23	470	0	0.00	394	0	0.00
428	0	0.00	472	1	0.21	456	1	0.22
432	1	0.23	448	2	0.45	465	3	0.65
451	1	0.22	462	0	0.00	428	4	0.93
437	0	0.00	467	0	0.00	380	0	0.00
434	0	0.00	491	1	0.20	405	1	0.25
448	1	0.22	431	2	0.46	460	0	0.00
446	1	0.22	455	0	0.00	451	3	0.67
431	0	0.00	456	0	0.00	429	1	0.23
534	2	0.37	574	2	0.35	536	0	0.00
527	2	0.38	573	1	0.17	466	1	0.21
531	0	0.00	569	1	0.18	534	0	0.00
505	0	0.00	590	0	0.00	505	0	0.00
554	0	0.00	562	0	0.00	494	0	0.00
542	1	0.18	553	1	0.18	479	1	0.21
525	2	0.38	572	2	0.35	485	0	0.00
525	1	0.19	560	0	0.00	537	6	1.12
534	1	0.19	562	0	0.00	502	0	0.00
531	1	0.19	564	0	0.00	552	3	0.54
616	2	0.32	640	0	0.00	547	1	0.18
631	1	0.16	642	0	0.00	545	0	0.00
636	3	0.47	587	0	0.00	593	0	0.00
633	0	0.00	627	0	0.00	498	1	0.20
625	0	0.00	629	0	0.00	421	0	0.00
607	0	0.00	648	0	0.00	446	1	0.22
620	2	0.32	645	1	0.16	481	0	0.00
617	0	0.00	639	0	0.00	506	0	0.00
637	0	0.00	630	0	0.00	479	0	0.00
616	0	0.00	626	0	0.00	456	2	0.44
<b>Promedio total</b>		<b>0.15</b>	<b>Promedio total</b>		<b>0.10</b>	<b>Promedio total</b>		<b>0.20</b>

## Anexo T Distribución espacial de las semillas para los sistemas.

### Plato horizontal.

Marca	# Semillas	Separación entre semillas (cm), en sección de 2.5m de banda móvil																	Separación media efectiva (cm)	Desviación estándar (cm)	% Semillas A.	% Semillas M.	% Semillas F.	% CV de sem. A.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
1-1	16	14	23	15	17	15	16	10	16	16	16	18	22	7	26	19			15.75	3.25	88.16	6.58	5.26	20.63
1-2	17	7	14	15	4	27	19	12	14	16	18	16	12	18	10	16	20							
1-3	16	16	14	18	16	7	23	10	16	14	19	35	13	16	15	1								
1-4	16	18	20	11	9	25	14	14	16	19	15	10	23	14	18	11								
1-5	16	16	15	13	22	16	16	16	16	10	17	18	17	16	16	12								
2-1	17	16	17	15	15	15	25	15	10	14	23	8	14	17	13	16	16	14.78	3.38	73.42	11.39	15.19	22.89	
2-2	19	12	11	22	12	14	18	15	13	0.5	0.5	13	25	10	29	11	24							1
2-3	16	18	19	10	15	15	15	21	9	15	23	18	1	17	25	17								
2-4	16	35	15	12	18	17	16	18	1	25	13	24	12	9	27	6								
2-5	17	1	16	28	6	10	25	14	15	19	14	11	25	16	6	12	13							
3-1	15	17	21	9	22	1	29	20	10	15	35	10	6	2	5			15.61	4.33	62.16	21.62	16.22	27.76	
3-2	17	6	18	14	26	6	23	16	3	21	9	29	18	12	3	8	18							
3-3	15	18	26	29	3	19	18	14	14	25	5	10	18	16	25									
3-4	15	8	20	20	13	17	8	30	19	1	15	30	17	1	8									
3-5	17	11	26	6	16	16	19	18	1	25	22	20	6	3	14	11	18							
4-1	18	5	17	17	1	16	6	22	11	17	29	12	3	31	1	20	19	9	19 nrz15.30	3.73	60.26	23.08	16.67	24.38
4-2	16	18	8	29	10	21	1	29	6	17	15	30	15	1	18	11								
4-3	15	15	19	17	27	1	17	13	14	25	25	13	13	13	18									
4-4	18	10	23	11	1	10	6	24	15	7	24	5	27	6	19	14	18							
4-5	16	2	8	19	16	16	38	12	16	18	6	25	7	13	21	15								

Marca	# Semillas	Separación entre semillas (cm), en sección de 2.5m de banda móvil																	Separación media efectiva (cm)	Desviación estándar (cm)	% Semillas A.	% Semillas M.	% Semillas F.	% CV de sem. A.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
5-1	11	7	31	16	19	24	27	15	3	30	33								15.54	3.88	57.38	14.75	27.87	24.93
5-2	11	27	11	18	17	25	12	25	13	25	25													
5-3	15	10	9	7	20	19	9	13	31	6	13	29	18	4	20									
5-4	15	24	20	20	13	16	10	16	19	11	16	38	4	20	14									
5-5	14	20	25	29	1	12	22	24	20	18	10	15	0.5	0.5										

# Semillas Fallas (F)  
# Semillas Múltiples (M)  
# Semillas Aceptables (A)

### Plato inclinado.

Marca	# Semillas	Separación entre semillas (cm), en sección de 2.5m de banda móvil																		Separación media efectiva (cm)	Desviación estándar (cm)	% Semillas A.	% Semillas M.	% Semillas F.	% CV de sem. A.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
1-1	17	16	14	14	17	14	14	30	14	15	1	20	15	13	20	13	20		15.28	2.88	85.36	13.41	1.21	18.89	
1-2	19	12	2	12	6	14	18	13	17	17	13	2	1	2	1	16	4	12							20
1-3	19	14	19	16	13	2	14	19	15	2	8	20	19	16	13	14	15	12							16
1-4	17	12	18	17	15	16	17	14	14	16	18	15	5	10	21	8	8								
1-5	15	17	13	18	19	15	18	16	16	16	.5	.5	.5	17	.5										
2-1	17	.5	18	15	10	7	13	.5	13	17	17	.5	14	17	15	.5	7.5			14.65	3.36	94.66	2.66	2.66	22.92
2-2	17	15	10	20	9	11	9	9	17	12	5	14	16	8	31	.5	15								
2-3	16	18	13	10	20	18	12	16	14	14	.5	.5	14	5	19	21									
2-4	14	16	.5	.5	16	16	10	17	21	12	12	34	18	11											

Marca	# Semillas	Separación entre semillas (cm), en sección de 2.5m de banda móvil																		Separación media efectiva (cm)	Desviación estándar (cm)	% Semillas A.	% Semillas M.	% Semillas F.	% CV de sem. A.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
3-1	17	13	14	31	33	12	5	10	7	18	15	7	9	31	13	20	12			14.53	3.52	83.33	8.33	8.33	24.28
3-2	11	16	14	13	18	20	12	18	16	10	11														
3-3	16	11	21	9	15	18	16	15	14	1	34	13	14	37	11	16									
3-4	16	5	35	14	20	7	8	15	16	13	13	17	16	12	13	23									
3-5	17	11	21	16	16	9	20	9	18	18	16	16	16	16	14	11	8								
4-1	17	36	12	13	13	22	12	3	12	16	21	12	2	15	8	16	11		15.19	4.10	75.94	13.92	10.12	27.00	
4-2	17	17	12	18	22	3	26	20	10	21	9	2	19	17	11	20	21								
4-3	16	23	11	16	18	24	17	14	21	19	5	12	6	18	15	9									
4-4	16	21	22	4	24	33	14	2	29	15	9	5	13	16	16	14									
4-5	16	9	18	14	12	19	11	5.	5	10	1	25	13	18	25	13	11								
5-1	17	5	15	16	38	22	11	15	16	16	2	23	16	14	2	31	6		15.63	4.57	67.07	21.95	10.97	29.28	
5-2	19	12	12	16	8	22	18	1	22	15	21	1	10	21	24	5	15	18							5
5-3	16	19	17	36	15	30	3	11	19	12	18	.5	14	5	18	5	20								
5-4	18	3	11	18	9	23	30	.5	6	17	1	23	21	5	9	9	18	14							
5-5	17	4	14	10	9	17	22	26	1	19	9	9	9	47	10	2	35								

# Semillas Fallas (F)  
# Semillas Múltiples (M)  
# Semillas Aceptables (A)

1 1 2  
5 6 11 19 1 0 18 10 17 14 16 16 16 13

### Rodillo acanalado.

Marca	# Semillas	Separación entre semillas (cm), en sección de 2.5m de banda móvil																				Separación media efectiva (cm)	Desviación estandar (cm)	% Semillas A.	% Semillas M.	% Semillas F.	% CV de sem. A.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
1-1	17	11	12	19	5.5	19	18	12	20	7.5	7.5	8	25	5.5	15	8.5	10					14.98	4.10	88.16	6.58	5.26	27.36
1-2	16	17	21	22	17	17	22	10	22	3	24	29	5	6	18	14											
1-3	21	17	19	4	13	8	13	21	9	9	13	2	21	2	5	13	7	14	13	7	14						
1-4	21	19	19	13	14	9	16	18	18	13	16	16	0.5	0.5	12	4.5	21	2	6	15	12						
1-5	19	13	15	12	14	4	15	15	7	9	20	9	19	17	13	8	20	20	10								
2-1	18	3	10	6	11	19	30	14	15	16	13	5	9	5	10	14	13	14				14.71	3.98	73.42	11.39	15.19	27.05
2-2	20	9	17	13	11	4	6	4	13	20	19	1	13	45	10	12	15	16	3	19							
2-3	16	24	6	17	24	22	16	20	19	15	10	9	5	1	2	15											
2-4	16	13	14	22	9	9	21	6	15	19	19	8	12	18	5	32											
2-5	16	11	14	15	22	15	15	6	10	30	13	6	22	24	7	20											
3-1	19	5	9	3	19	23	3	20	20	15	12	10	6	25	26	8	2	26	15			14.88	4.26	51.19	30.95	17.86	28.63
3-2	17	12	18	5	5	5	35	10	18	18	10	10	5	10	16	1	32										
3-3	19	15	4	30	5	29	18	6	25	1	3	18	14	9	10	20	12	12	15								
3-4	18	7	20	14	4	26	12	10	24	5	16	4	5	15	23	13	1	4	15								
3-5	15	23	11	24	19	29	5	6	24	4	28	2	13	24	20												
4-1	11	4	44	38	10	20	33	8	13	6	25											15.34	4.26	50.88	31.58	17.54	27.77
4-2	15	19	12	4	1	9	22	7	15	17	6	5	4	1	13												
4-3	13	17	5	4	4	21	19	9	2	40	29	2	18														
4-4	10	2	51	10	20	12	13	21	13	20																	
4-5	13	4	29	2	36	17	20	13	1	12	13	29	19														
5-1	14	15	20	20	48	24	8	29	4	9	3	4	15	38								13.77	4.29	54.39	21.05	24.56	31.13
5-2	10	10	12	18	40	40	17	12	35	1																	
5-3	17	9	4	9	8	60	7	12	25	20	17	3	10	11	2	12	9										
5-4	7	18	6	54	16	10	2																				
5-5	14	23	15	7	14	18	27	30	30	5	8	28	17	15													

## Anexo U Eficiencia en la dosificación de fertilizante para los sistemas.

Tabla de plato inclinado.

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad teórica de fertilización ( $\text{g min}^{-1}$ )	Velocidad de fertilización real ( $\text{sem min}^{-1}$ )	% Eficiencia del sistema del plato inclinado
1-1	8	59:58	98.33	96.39	98.03
1-2	8	1:00:28	98.33	107.23	109.05
1-3	8	1:00:22	98.33	99.55	101.24
1-4	8	1:00:13	98.33	98.34	100.01
1-5	8	1:00:25	98.33	75.81	77.10
1-6	8	1:00:22	98.33	74.64	75.91
1-7	8	1:00:19	98.33	65.69	66.81
1-8	8	1:00:25	98.33	70.08	71.27
1-9	8	1:00:16	98.33	80.37	81.73
1-10	8	1:00:28	98.33	111.14	113.03
2-1	12	1:00:25	154.26	183.72	119.10
2-2	12	1:00:12	154.26	192.1	124.53
2-3	12	59:44	154.26	199.55	129.36
2-4	12	1:00:02	154.26	197.96	128.33
2-5	12	59:94	154.26	198.84	128.90
2-6	12	1:00:25	154.26	198.31	128.56
2-7	12	1:00:19	154.26	192.9	125.05
2-8	12	1:00:25	154.26	221.92	143.86
2-9	12	1:00:19	154.26	199.42	129.28
2-10	12	1:00:19	154.26	193.92	125.71
3-1	15	1:00:28	205.97	258.27	125.39
3-2	15	1:00:15	205.97	250.7	121.72
3-3	15	1:00:31	205.97	265.99	129.14
3-4	15	1:00:02	205.97	258.34	125.43
3-5	15	59:75	205.97	265.78	129.04
3-6	15	1:00:32	205.97	270.2	131.18
3-7	15	1:00:35	205.97	265.2	128.76
3-8	15	1:00:28	205.97	249.3	121.04
3-9	15	01:00:25	205.97	206.38	100.20
3-10	15	1:00:18	205.97	229.59	111.47
4-1	19	1:00:03	260.57	289.88	111.25
4-2	19	59:32	260.57	319.7	122.69
4-3	19	59:84	260.57	306.72	117.71

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad teórica de fertilización ( $\text{g min}^{-1}$ )	Velocidad de fertilización real ( $\text{sem min}^{-1}$ )	% Eficiencia del sistema del plato inclinado
4-4	19	1:00:15	260.57	309.9	118.93
4-5	19	1:00:25	260.57	304.72	116.94
4-6	19	01:00:25	260.57	304.96	117.04
4-7	19	01:00:22	260.57	305.8	117.36
4-8	19	1:00:19	260.57	308.02	118.21
4-9	19	1:00:25	260.57	305.27	117.15
4-10	19	1:00:19	260.57	282.1	108.26
5-1	22.3	1:00:15	310.73	314.49	101.21
5-2	22.3	59:91	310.73	362.69	116.72
5-3	22.3	1:00:29	310.73	359.61	115.73
5-4	22.3	1:00:25	310.73	361.65	116.39
5-5	22.3	1:00:22	310.73	373.37	120.16
5-6	22.3	1:00:35	310.73	377.52	121.49
5-7	22.3	1:00:58	310.73	360.29	115.95
5-8	22.3	1:00:22	310.73	346.5	111.51
5-9	22.3	1:00:25	310.73	362.1	116.53
5-10	22.3	1:00:16	310.73	355.2	114.31

**Tabla de rodillo acanalado.**

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad teórica de fertilización ( $\text{g min}^{-1}$ )	Velocidad de fertilización real ( $\text{sem min}^{-1}$ )	% Eficiencia del sistema de rodillo acanalado
8	1-1	1:00:22	348.35	368.56	105.80
8	1-2	1:00:56	348.35	440.85	126.55
8	1-3	59:32	348.35	433.3	124.39
8	1-4	1:00:19	348.35	437.95	125.72
8	1-5	1:00:03	348.35	559.92	160.73
8	1-6	1:00:22	348.35	445.62	127.92
8	1-7	1:00:18	348.35	440.65	126.50
8	1-8	1:00:41	348.35	465.2	133.54
8	1-9	1:00:21	348.35	450.46	129.31
8	1-10	1:00:25	348.35	454.13	130.37
12	2-1	59:72	546.22	590.87	108.17
12	2-2	1:00:19	546.22	601.56	110.13
12	2-3	1:00:28	546.22	604.36	110.64
12	2-4	1:00:12	546.22	617.93	113.13
12	2-5	1:00:41	546.22	633.63	116.00

Marca de repetición	Frecuencia de operación	Tiempo de prueba (min)	Velocidad teórica de fertilización (g min <sup>-1</sup> )	Velocidad de fertilización real (sem min <sup>-1</sup> )	% Eficiencia del sistema de rodillo acanalado
12	2-6	59:93	546.22	597.17	109.33
12	2-7	1:00:15	546.22	610.2	111.71
12	2-8	1:00:22	546.22	588.91	107.82
12	2-9	1:00:06	546.22	636.6	116.55
12	2-10	1:00:05	546.22	668.78	122.44
15	3-1	1:00:38	728.98	765.49	105.01
15	3-2	1:00:46	728.98	749.24	102.78
15	3-3	1:00:34	728.98	754.29	103.47
15	3-4	1:00:59	728.98	722.1	99.06
15	3-5	1:00:16	728.98	738.11	101.25
15	3-6	1:00:25	728.98	769.58	105.57
15	3-7	1:00:28	728.98	758.52	104.05
15	3-8	1:00:31	728.98	783.79	107.52
15	3-9	1:00:16	728.98	787.79	108.07
15	3-10	1:00:28	728.98	742.29	101.83
19	4-1	1:00:25	922.23	945	102.47
19	4-2	59:50	922.23	906	98.24
19	4-3	1:00:31	922.23	949	102.90
19	4-4	1:00:25	922.23	922	99.98
19	4-5	1:00:56	922.23	979	106.16
19	4-6	59:88	922.23	989	107.24
19	4-7	1:00:06	922.23	968	104.96
19	4-8	1:00:31	922.23	964	104.53
19	4-9	1:00:37	922.23	1008	109.30
19	4-10	1:00:22	922.23	955	103.55
22.3	5-1	1:00:28	1099.6	1088	98.95
22.3	5-2	1:00:09	1099.6	1061	96.49
22.3	5-3	1:00:15	1099.6	986	89.67
22.3	5-4	1:00:09	1099.6	1037	94.31
22.3	5-5	1:00:25	1099.6	1055	95.94
22.3	5-6	1:00:18	1099.6	1082	98.40
22.3	5-7	1:00:41	1099.6	1088	98.95
22.3	5-8	59:57	1099.6	1059	96.31
22.3	5-9	1:00:25	1099.6	1051	95.58
22.3	5-10	1:00:25	1099.6	1062	96.58