



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA DE
VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

***APORTACIONES A LA MECANIZACIÓN DE LA SIEMBRA DEL AJO
DISEÑO DE UNA SEMBRADORA NEUMÁTICA DE PRECISIÓN***

AUTOR:

EFRAÍN CADERÓN REYES

DIRECTOR:

RYSZARD SERWATOWSKI HLAWINSKA

DIRECTOR:

CARLOS GRACIA CALANDÍN

SEPTIEMBRE 2015

TESIS DOCTORAL

***APORTACIONES A LA MECANIZACIÓN DE LA SIEMBRA DEL AJO.
DISEÑO DE UNA SEMBRADORA NEUMÁTICA DE PRECISIÓN***

por:

Efraín Calderón Reyes

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO (MÉXICO)

Presentada en:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA (ESPAÑA)

Para obtener el grado de:

DOCTOR

Director de Tesis:

D. Ryszard Serwatowski Hlawinska

Doctor Ingeniero Mecánico, profesor del Departamento de Ingeniería del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, México

Director de Tesis:

D. Carlos Gracia Calandín

Doctor Ingeniero Industrial y Máster en Agroingeniería, profesor de la Universitat Politècnica de Valencia, España

Septiembre, 2015.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE TABLAS	VIII
UNIDADES UTILIZADAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
RESUM	XIII
1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS	1
1.1 Interés del cultivo del ajo y de la mecanización de su siembra	2
1.2 Objetivos de la Tesis	7
2 REVISIÓN SOBRE EL CULTIVO DEL AJO	8
2.1 Características del cultivo del ajo	9
2.1.1 Descripción botánica	9
2.1.2 Propiedades medicinales y nutricionales	10
2.1.3 Característica agronómicas	11
2.1.4 Variedades cultivadas en México	14
2.2 La siembra	17
2.2.1 Preparación del suelo	17
2.2.2 Preparación de la semilla	18
2.2.3 La siembra en México	21
2.2.4 Riego	23
2.2.5 Control de malezas	24
2.2.6 Plagas y enfermedades	25
2.3 La recolección	25
2.3.1 Sistema tradicional	25
2.3.2 Sistema mecanizado	28
2.3.3 Maquinaria para transporte y apoyo en la cosecha	33
2.3.4 Almacenado y secado del ajo	34

3 REVISIÓN DE TÉCNICAS Y EQUIPOS PARA SIEMBRA DE AJO	36
3.1 Métodos de siembra	37
3.1.1 Siembra manual	37
3.1.2 Siembra mixta	38
3.1.3 Siembra mecanizada	39
3.2 Tipología y descripción de las sembradoras de ajo	41
3.3 Marcos de plantación en la siembra mecanizada	47
4 EFICIENCIA COMPARADA DE LA SIEMBRA MANUAL Y MECÁNICA	50
4.1 Comparación entre la siembra manual y mecanizada, en zona de producción de ajo en México.	51
4.1.1 Siembra manual	51
4.1.2 Sembradora mecánica a chorrillo	52
4.1.3 Metodología para evaluación de las siembras	53
4.1.4 Resultados y discusión	54
4.2 Análisis comparado de sembradoras de precisión para ajo: mecánica de pinzas y neumática	55
4.2.1 Antecedentes	55
4.2.2 Estudio en zona de producción de ajo en España	56
4.2.2.1 Caracterización de los tipos de semilla	56
4.2.2.2 Descripción de la sembradora automática de pinzas	57
4.2.2.3 Descripción de la sembradora neumática	58
4.2.3 Condiciones de trabajo con ambas máquinas	60
4.2.4 Metodología para evaluación	62
4.2.5 Resultados y discusión	64
5 BANCO DE PRUEBAS PARA SEMBRADORAS	69
5.1 Características de un banco de pruebas	70
5.2 Diseño y construcción del banco de pruebas para sembradoras de ajo	73
5.3 Detalles de mecanismos de control de variables que integran el banco	78
6 DISEÑO DE DISPOSITIVO DOSIFICADOR DE SIEMBRA DE PRECISIÓN	83
6.1 Dispositivo dosificador tipo rodillo	84
6.1.1 Construcción del dispositivo	84
6.1.2 Pruebas del rodillo dosificador	87
6.1.3 Análisis de los resultados, conclusiones parciales	92

6.2 Dispositivo dosificador tipo disco	93
6.2.1 Construcción de prototipos dosificadores tipo disco	93
6.2.1.1 Disco de 5,5 pulgadas	93
6.2.1.2 Disco de 10 pulgadas	95
6.2.2 Construcción de un dosificador de disco doble	96
6.3 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	97
6.3.1 Consideraciones previas	97
6.3.2 Etapas del análisis de experimentos	100
6.3.3 Pruebas a realizar con el prototipo dosificador de disco	101
6.3.4 Resultados y análisis sobre la dosificación	104
6.4 Estudio sobre la uniformidad en la deposición de semillas	113
6.4.1 Construcción de una estructura para la recogida de semillas	113
6.4.2 Método experimental	115
6.4.3 Resultados y análisis sobre la uniformidad de la deposición	116
6.5 Conclusiones sobre el dispositivo dosificador	118
7 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE LA SEMBRADORA NEUMÁTICA DE PRECISIÓN	119
7.1 Diseño conceptual y consideraciones generales	120
7.2 Diseño detallado, fabricación y ensamble de la máquina	122
7.2.1 Barra porta-herramienta	124
7.2.2 Módulo de suspensión y copiado	125
7.2.3 Módulo de siembra	126
7.2.4 Sistema de generación de vacío	135
7.2.5 Sistema de generación de presión	144
7.2.6 Sistema de accionamiento de los discos dosificadores	145
7.3 Pruebas preliminares con el prototipo de la sembradora fuera de parcela	148
7.4 Pruebas de siembra en el campo	155
7.4.1 Evaluación del sistema dosificador	155
7.4.2 Evaluación de la deposición de semillas	158
7.4.3 Conclusiones de las pruebas de campo	163
CONCLUSIONES GENERALES DE LA TESIS	164
BIBLIOGRAFÍA	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Imágenes de los dientes de ajo y cabeza	13
2	Desgranadora de rodillos horizontales	19
3	Clasificadora de ajo	20
4	Desarrollo de la planta en diferentes posiciones de la semilla	21
5	Cultivo en surcos siembra en charolas para trasplante	22
6	Sistema de riego por goteo	23
7	Trabajo manual	24
8	Daño por nematodos y fusarium	24
9	Agrupación manual de ajos	26
10	Sistema de arranque por empuje	28
11	Cuchilla de apoyo para arranque por empuje	28
12	Sistema de elevación por correas	29
13	Arrancadora cargadora	29
14	Arrancadora hileradora	30
15	Arrancadora atadora	30
16	Arrancadora destalladora	31
17	Sistema de arranque y elevación de ajo	32
18	Línea de confección y calibrado del ajo	33
19	Diagrama del proceso en el almacén	33
20	Encajado y producto terminado	34
21	Siembra manual	36
22	Emergencia del ajo según posición de siembra de la semilla	39
23	Clasificación de las sembradoras	41
24	Sembradora semiautomática o asistida de cangilones	41
25	Sembradora de ajo con mecanismo de correa dentada.	42

26	Sembradora automática de disco escotado	42
27	Sembradora automática con distribuidor por rueda dentada	43
28	Sembradora automática de pinzas	44
29	Sembradora neumática	45
30	Prototipo de sembradora neumática de precisión	46
31	Siembra manual realizada a 8 cm entre semillas	52
32	Vista general de la sembradora	53
33	Sembradora automática de chorrillo	53
34	Distancia entre semillas en la siembra mecánica	54
35	Distancia entre semillas de la siembra manual	54
36	Diferencias entre cultivos de ajo en pleno desarrollo	55
37	Sembradora automática de pinzas	57
38	Unidades de siembra y su sistema de accionamiento	58
39	Sembradora neumática	58
40	Sembradora neumática (Disco de succión)	59
41	Disco de acero de 2 mm de espesor y cámara de succión	60
42	Colocación de talco en platos para evitar atasco en los orificios	61
43	Limpieza de los discos	61
44	Limpieza del mecanismo de agitación	61
45	Posición de las semillas sembradas y tapadas	63
46	Desempeño de la sembradora mecánica	65
47	Desempeño de la sembradora neumática	65
48	Porcentaje de semillas dejadas en cada posición	67
49	Porcentaje de plantas emergidas en cada posición	67
50	Desarrollo de las plantas según la posición de la semilla	68
51	Vistas generales de la estructura del banco	73
52	Vista lateral del banco de pruebas	74
53	Vista frontal del banco con accionamiento hidráulico	75
54	Instrumentos para realizar las pruebas	76
55	Circuito hidráulico del sistema	77
56	Fuente regulable voltaje	78

57	Banco ensamblado para realizar las pruebas	78
58	Vista posterior del banco	79
59	Vista lateral del banco de Pruebas	80
60	Vista del dispositivo individualizador	80
61	Vista del dispositivo en funcionamiento	81
62	Vista del dispositivo	81
63	Mecanismo oscilador y tolva de descarga de semilla	82
64	Cinta adhesiva en banda transportadora	82
65	Rodillo del dosificador de precisión	85
66	Unidad experimental del rodillo con su eje	86
67	Vista del disco de 10 pulgadas de diámetro	94
68	Dosificador en forma de disco de 10 pulgadas	95
69	Dosificador en forma de disco de 10 pulgadas, material acrílico	95
70	Disco de 10 pulgadas con doble disco	96
71	Imagen de la prueba del disco doble	97
72	Gráficos de Probabilidad Normal de los datos	105
73	Intervalos LSD variable %Dobles	111
74	Intervalos LSD variable %Fallos	112
75	Vista a detalle del sistema dosificador	114
76	Vista posterior del banco.	114
77	Detalles de la banda transportadora	116
78	Detalles análisis	117
79	Sembradora comercial.	122
80	Vista lateral general del ensamble	123
81	Vista frontal del prototipo	123
82	Vista lateral del prototipo	124
83	Componentes principales del módulo de suspensión y copiado	125
84	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	126
85	Componentes del conjunto del módulo de suspensión y copiado	126
86	Vista general del módulo de siembra	127
87	Vistas del marco en su temprana etapa del desarrollo	127

88	Paralelogramo	128
89	Esquema funcionamiento de la tolva	129
90	Sistema de vibración y esquema de construcción	129
91	Circuito hidráulico del sistema de vibración	130
92	Esquema de funcionamiento del sistema dosificador	131
93	Distribuidor de vacío montado y ensamble final conjunto	131
94	Disco con conductos internos radiales y lomos en periferia	132
95	Detalle del desfase angular entre los discos de cada pareja	132
96	Tolva, dispositivo dosificador y conducto de descarga	133
97	Vistas del conjunto de abridores y tapadores de hileras un surco	134
98	Dibujo del conjunto de tapadores de hilera	134
99	Esquema de componentes del sistema de transmisión de potencia	135
100	Vistas del sistema de transmisión de potencia del extractor	136
101	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	139
102	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	140
103	Vistas generales de la transmisión modificada	140
104	Opresores aplicados en ambos pasos de la transmisión	141
105	Ventilador centrífugo para soplar las túnicas de ajo	145
106	Rueda copidora y sistema de transmisión por cadena	146
107	Vistas del segundo paso de transmisión	147
108	Tercer paso de la transmisión y armado de la transmisión	148
109	Imagen del prototipo y preparación para la prueba	150
110	Vista del sistema dosificador en funcionamiento	150
111	Colocación de cinta y calibración de los abresurcos	151
112	Semilla depositada por la sembradora en la prueba	152
113	Sembradora antes de la prueba	153
114	Prueba de deposición de semillas	154
115	Distribución de la semilla depositada	154
116	Medición de parámetros durante la prueba	155
117	Funcionamiento de los discos durante la prueba	156
118	Semilla depositada sin cubrir sobre el terreno	157

119	Detalle de atasco en las ruedas tapadoras por exceso de humedad	158
120	Diferentes tamaños de semillas	159
121	Niveles abertura de compuerta de abastecimiento	160
122	Gráficos de caja y bigotes para diferentes velocidades de avance	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Producción mundial de ajo. Superficie y volumen por país (FAO,2012)	3
2	Exportación mundial por países (2014)Propiedades nutricionales	3
3	Producción de ajo en México. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP y SAGARPA, México 2013)	5
4	Propiedades nutricionales	11
5	Características del cultivo	12
6	Cultivares de ajo para evaluar rendimiento y calidad en el ICA de la Universidad de Guanajuato (1991)	13
7	Rendimiento de las operaciones de desgranado	19
8	Tiempos requeridos para labores	25
9	Mano de obra en labores	40
10	Características de la semilla empleada	57
11	Características promedio de ajo americano blanco	57
12	Características del disco	59
13	Posiciones de la semilla en el suelo	63
14	Criterio de evaluación de la posición	64
15	Número de semillas depositadas en cincuenta metros	66
16	Porcentaje de semillas depositadas en cincuenta metros	66
17	Porcentaje de plantas que han emergido en cada posición	66
18	Parámetros a determinar en el modelo	99
19	Esquema diseño de experimentos 2^{k-p}	102
20	Valores parámetros del diseño de experimentos 2^{k-p}	102
21	Resumen estadístico de fallos y dobles	105
22	Análisis de varianza para la variable “fallos”	106

23	Análisis de varianza para la variable “dobles”	106
24	ANOVA para diseño 2^3 para la variable “fallos”	107
25	ANOVA para diseño 2^3 para la variable “dobles”	107
26	Medias por mínimos cuadrados variable “fallos”	107
27	Medias por mínimos cuadrados variable “dobles”	108
28	Correlación entre variables y factores	108
29	Normalidad de los datos para la variable “dobles”	109
30	Normalidad de los datos para la variable “fallos”	109
31	ANOVA para la variable “dobles”	110
32	Múltiples rangos para variable “dobles”	110
33	Resumen estadístico para variable “dobles”	111
34	ANOVA para la variable “fallos”	112
35	Múltiples rangos para variable “fallos”	112
36	Resumen estadístico para variable “fallos”	113
37	Resumen estadístico de deposición	116
38	Indicadores de normalidad de variable “fallos”	117
39	ANOVA de los datos para la distancia entre semillas	117
40	Resultados de la prueba del extractor centrífugo	137
41	Resultados de la prueba del extractor centrífugo modificado	138
42	Parámetros de trabajo del extractor con la transmisión	142
43	Parámetros de trabajo de la prueba en campo del prototipo	149
44	Parámetros de trabajo en campo de posicionamiento semilla	153
45	Características de la semilla empleada	159
46	Características promedio de ajo americano blanco	159
47	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de compuerta	160
48	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de vacío	161
49	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes avances del tractor	162
50	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de oscilación	163

UNIDADES UTILIZADAS

Las unidades utilizadas en la presente tesis están recogidas en el cuadro siguiente

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO
* Fundamentales.		
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
* Derivadas, suplementarias y otras unidades especiales utilizadas		
Superficie	Hectárea	ha
Volumen	Litro	l
Tiempo	Día	d
Tiempo	Hora	h
Tiempo	Minuto	min
Velocidad lineal	Metros/segundo	m/s
Velocidad de rotación	Revoluciones/minuto	rev/min
Longitud	Pulgada	" (<>25,4 mm)
Masa	Tonelada	t
Fuerza	Newton	N
Presión	Hectopascal	hPa
Presión	Libras/pulgada ²	psi
Presión	Pulgadas de agua	" agua (<>2,54 hPa)
Potencia	Vatio	W
Temperatura	Grados Celsius	°C
Potencial eléctrico	Voltios	V

La presente tesis doctoral aborda el diseño, construcción y evaluación de una sembradora neumática de precisión para el cultivo del ajo, que satisfaga las condiciones de las explotaciones mexicanas, definidas su clima, su suelo, sus prácticas y sus recursos (capital, mano obra, semilla).

Se parte de una revisión sobre el cultivo del ajo y el estado de la técnica en cuanto a los equipos de siembra. Se realizan unas pruebas preliminares que analizan la eficiencia de la siembra mecánica de diferentes modelos comerciales.

Se diseña y construye un banco de pruebas, necesario para la evaluación del dispositivo de dosificación desarrollado en la tesis.

Se diseña y construye un sistema dosificador original para semilla de ajo, basado en el principio de aspiración neumática. La evaluación del dispositivo se realiza en laboratorio mediante técnicas estadísticas basadas en análisis de la varianza (ANOVA).

Se diseña y construye una sembradora neumática de precisión provista del sistema dosificar desarrollado en esta tesis. Además, incluye los siguientes elementos principales: barra porta-herramienta, módulo de suspensión y transmisión, sistema de generación de vacío y sistema de accionamiento de discos. Igualmente, el prototipo se somete a un doble ensayo dinámico, en terreno firme y en suelo de labor.

Se realiza el tratamiento estadístico de los datos correspondiente para estudiar la influencia de diferentes parámetros (velocidad de trabajo, nivel de vacío, frecuencia e intensidad de oscilaciones provocadas en la tolva y nivel de llenado de la tolva) sobre el desempeño de la máquina. A partir de los resultados se optimiza el ajuste de la sembradora obteniendo una evaluación favorable de su trabajo.

This thesis addresses the design, construction and evaluation of a pneumatic precision planter for growing garlic, satisfying the conditions of Mexican farms, defined by its climate, its soil, its practices and its resources (capital, labor hand, seed).

The document starts with a review on the cultivation of garlic and the state of the art in terms of seeding equipment. Preliminary tests which analyze the efficiency of mechanical planting of different business models are made.

A test bench to assess the dosing device developed in this thesis is designed and built a.

An original garlic dosing system, based on the principle of pneumatic suction is designed and built. The evaluation of the device is made in laboratory using statistical techniques based on analysis of variance (ANOVA).

A pneumatic precision seeder provided with the dosing system developed in this thesis is designed and built. The seeder also includes the following main elements: tool holder bar, suspension and transmission module, vacuum generating system and disc drive system. Likewise, the prototype undergoes a double dynamic test, on ground and land.

The statistical treatment of the corresponding data is performed to study the influence of different parameters (working speed, vacuum level, frequency and intensity of oscillations caused in the hopper and fill level of the hopper) on the performance of the machine. From the results the seeder is adjusted and optimized in order to obtain a favorable assessment of its work.

La present tesi doctoral aborda el disseny, construcció i avaluació d'una sembradora pneumàtica de precisió per al cultiu de l'all, que satisfaci les condicions de les explotacions mexicanes, definides pel seu clima, la seva terra, les seves pràctiques i els seus recursos (capital, mà d'obra, llavor).

Es parteix d'una revisió sobre el cultiu de l'all i l'estat de la tècnica pel que fa als equips de sembra. Es realitzen unes proves preliminars que analitzen l'eficiència de la sembra mecànica de diferents models comercials.

Es dissenya i construeix un banc de proves, necessari per a l'avaluació del dispositiu de dosificació desenvolupat en la tesi.

Es dissenya i construeix un sistema dosificador original per la llavor d'all, basat en el principi d'aspiració pneumàtica. L'avaluació del dispositiu es realitza en laboratori mitjançant tècniques estadístiques basades en anàlisis de la variància (ANOVA).

Es dissenya i construeix una sembradora pneumàtica de precisió proveïda del sistema dosificar desenvolupat en aquesta tesi. A més, inclou els següents elements principals: barra porta eina, mòdul de suspensió i transmissió, sistema de generació de buit i sistema d'accionament de discos. Igualment, el prototip es sotmet a un doble assaig dinàmic, en terreny ferm i en sòl de conreu.

Es realitza el tractament estadístic de les dades corresponent per estudiar la influència de diferents paràmetres (velocitat de treball, nivell de buit, freqüència i intensitat d'oscil·lacions provocades en la tremuja i nivell d'ompliment de la tremuja) sobre l'acompliment de la màquina. A partir dels resultats s'optimitza l'ajust de la sembradora obtenint una avaluació favorable del seu treball.

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA
TESIS

1.1 Interés del cultivo del ajo y de la mecanización de su siembra

El cultivo de ajo es muy apreciado en todo el mundo como condimento y por sus propiedades medicinales. Desde la antigüedad tuvo una gran importancia en la dieta del hombre. Hoy en día su uso se ha incrementado al descubrirse nuevas propiedades benéficas, con gran cantidad de sustancias químicas y productos que de él se extraen. El crecimiento de demanda ha llevado a mayores producciones, mayor superficie cultivada y nuevas variedades, a nivel mundial.

Se conocen registros de 3000 años a.c., en que el ajo era utilizado tanto para su uso culinario como por sus propiedades curativas. Su cultivo se remonta pues a los tiempos de las primeras civilizaciones, Babilonia, Egipto, y más tarde Grecia, Roma. Su origen geográfico aún es hoy un tema de discusión. Se le atribuye una gran cantidad de poderes, además de ser un afrodisíaco muy potente. La mención más antigua del ajo es de un herborista chino que vivió hace 4.000 años. Lo cita entre las plantas medicinales y hace un listado de sus propiedades terapéuticas.

En Europa, durante el siglo XIV, la peste negra atacó a gran parte de la población. Parece ser que entre los supervivientes se encontraban los que habían consumido en cantidad y de forma continua ajo en su dieta.

La producción mundial de ajo se ha destacado por tener una tendencia al alza en los últimos diez años en que hay datos (2003-2012). En el año 2012 se cosechó una superficie de casi 1,5 millones de hectáreas, con una producción de 24,8 millones de toneladas (Tabla 1). Existe una concordancia entre la producción mundial y de China, país que influye fuertemente en la producción mundial.

En el cuadro se pueden observar históricamente a los principales países productores de ajo, de acuerdo a las estadísticas de la FAO, 2012. China ha logrado una participación de 81% de la producción con sólo 58% de la superficie cosechada, lo que indica el buen desarrollo que ha alcanzado este cultivo en ese país. En segundo lugar de producción se encuentra India, con 14% de la superficie mundial dedicada a esta hortaliza y 5% de la producción.

Tabla 1. Producción mundial de ajos. Superficie y volumen producido por país (FAO, 2012)

N°	País	Área cosechada (ha)	Producción
1	China	856.5	20,082,000.00
2	India	202	1,150,000.00
3	Bangladés	44.284	233,609.00
4	Myanmar	29.3	213.00
5	Corea del Sur	28.278	339,113.00
6	Rusia	27.7	239,312.00
7	Ucrania	22.5	171,400.00
8	Etiopía	21.258	222,548.00
9	España	16.9	151,900.00
10	Argentina	16	135,000.00
Otros países		201.053	1,898,995.00
Total		1.465.773	24,836,877.00

China actualmente también es líder en las exportaciones mundiales de ajo, tanto en volumen como en valor, con participaciones de más de 84% y 73%, respectivamente. En segundo lugar se ubica España, pero con una participación bastante menor.

Tabla 2. Exportación mundial por país (2014)

N°	País	Volumen (ton)	Participación en volumen (%)	Valor	Participación en valor (%)	Precio (USD/kg)
				(miles USD)		
1	China	1.669.442	84,5	2.071.615	73,1	1,2
2	España	64.774	3,3	214.309	7,6	3,3
3	Argentina	92.048	4,7	207.591	7,3	2,3
4	Países Bajos	28.948	1,5	90.116	3,2	3,1
5	Francia	12.337	0,6	56.49	2,0	4,6
6	Italia	11.18	0,6	54.405	1,9	4,9
7	Chile	10.381	0,5	27.874	1,0	2,7
8	Estados Unidos	11.636	0,6	19.936	0,7	1,7
9	México	12.526	0,6	13.297	0,5	1,1
10	Egipto	13.242	0,7	10.659	0,4	0,8
Otro		48.594	2,5	68.488	2,4	1,4
Total		1.975.108	100,0	2.834.780	100,0	1,4

Fuente: elaborado con información de FAO 2014.

En el Tabla 2, se observa la aparición de México, que ocupa el noveno lugar según el valor de las exportaciones de ajo a nivel mundial, con algo más de 12,000 toneladas por un valor mayor de 13 millones de dólares.

En el 2013 se sembraron en México 5468 ha (SIAP 2015), con la producción de 59,015 mil toneladas de ajo, con un valor de 768.6 millones de pesos. El rendimiento promedio fue de 11.11 toneladas por hectárea y el precio medio de 13,020 pesos por tonelada.

En la República Mexicana, los tres estados productores más importantes son: Zacatecas, Guanajuato y Baja California; en su conjunto, estas entidades producen cerca del 67% del total nacional.

En el estado de Guanajuato en 2013 se sembraron 896 hectáreas, produciendo 8 248 toneladas de ajo, con un rendimiento medio de 9.64 toneladas por hectárea y precio de 13 900 pesos por tonelada. El valor total del ajo producido en el estado fue de 114.6 millones de pesos. El ajo, que se produce en Guanajuato, se destina tanto al mercado nacional como al internacional; casi el 100% de la producción se comercializa en fresco.

El consumo de ajo fresco per cápita anual, es de aproximadamente 400 gramos; sin embargo, se considera que alrededor de un 10% de la producción nacional se destina para uso industrial (aceite, polvo, medicamentos, entre otros), un 63% se consume en fresco y el restante 27% es exportado.

Su importancia económica está basada en el alto valor de la producción que se obtiene y su importancia social se fundamenta en la mano de obra que genera, ya que se utilizan aproximadamente 140 jornales por ciclo por hectárea en ajo blanco y 120 en ajo morado, lo cual genera empleo en el medio rural.

Tabla 3. Producción de ajo en México. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, y SAGARPA México 2013)

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Zacatecas	1,740.50	1,731.50	26,832.35	15.5	7,698.08	206,557.52
Guanajuato	896	856	8,248.40	9.64	13,896.95	114,627.62
Sonora	646	646	4,695.20	7.27	16,380.86	76,911.40
Puebla	419	380.4	2,269.66	5.97	11,832.08	26,854.79
Baja California	402	402	4,460.04	11.09	34,635.87	154,477.35
Nuevo León	291	276	3,251.00	11.78	12,965.27	42,150.10
Aguascalientes	234	234	3,522.00	15.05	15,336.82	54,016.30
Oaxaca	199.5	199.5	1,237.60	6.2	19,158.64	23,710.74
Guerrero	137	127	698.5	5.5	15,900.00	11,106.15
Querétaro	105	97	803.6	8.28	14,992.26	12,047.78
San Luis Potosí	72	72	775.15	10.77	11,876.05	9,205.72
Hidalgo	59	59	439.5	7.45	10,121.16	4,448.25
Tlaxcala	58	58	320	5.52	14,610.47	4,675.35
Veracruz	57	57	507	8.89	20,615.38	10,452.00
Baja California Sur	48.5	31	335	10.81	18,291.94	6,127.80
Chihuahua	47.5	27.5	145	5.27	17,482.76	2,535.00
Coahuila	21	21	302.74	14.42	17,045.40	5,160.32
Michoacán	15	15	48	3.2	9,500.00	456
Durango	12	12	84	7	29,500.00	2,478.00
Jalisco	8	8	40.1	5.01	14,219.40	570.2
	5,468.00	5,309.90	59,014.84	11.11	13,023.31	768,568.38

La superficie promedio cosechada durante los últimos años, fue de 5.468 ha con 59.309 t, como se puede apreciar en la Tabla 3. Los más de 40 años de exportación del ajo mexicano han dado como consecuencia que el canal de exportación sea prácticamente estable. Hoy en día se cuenta con un mercado muy concentrado, en el cual participan cerca de 10 distribuidores exportadores (en su mayoría californianos), los cuales buscan controlar el mercado de Estados Unidos de América, y a su vez, complementar la demanda con producto mexicano, chileno, argentino y en algunas ocasiones con chino.

El cultivo del ajo, desde la siembra hasta el empaque requiere de una gran cantidad de mano de obra, lo que incrementa sus costos de producción (Gracia, 1993; Cabrera y Serwatowski 1995; Demaldé, 1995; Serwatowski y Cabrera, 1996).

La siembra manual es una de las labores que requiere mano de obra con experiencia, para colocar la semilla a una profundidad y posición adecuada, ya que de la calidad de la siembra y de la calidad de la semilla depende una buena germinación y desarrollo de la planta (Bernard et al., 1989; García, 1990). Los altos costos, aunados a la falta de disponibilidad de esta clase de mano de obra en los países desarrollados han conducido a la introducción de equipos semiautomáticos y automáticos, para mecanizar esta labor pesada. Sin embargo su desempeño, aunque satisfactorio, está por debajo de

los niveles de calidad logrados con la siembra manual, o por sembradoras para otra clase de semilla, como granos (Cabrera y Serwatowski, 1996).

La semilla del ajo (diente) es una de las más difíciles desde el punto de vista de la mecanización de siembra, debido a su forma, al intervalo de variación en tamaño, a la túnica y a la resina que tiene el diente. Por otro lado, el ajo es un cultivo sensible a la uniformidad de separación de la semilla, lo que afecta en grado significativo al rendimiento de cosecha y calidad del producto. En México la siembra de ajo se realiza, en gran parte, en forma manual. Sin embargo los crecientes costos y baja disponibilidad oportuna de mano de obra calificada para esta labor, hacen que los productores busquen las posibilidades de importación o desarrollo de equipos mecánicos adecuados a las condiciones específicas locales de este cultivo. Objetivo que hasta ahora no se ha logrado un gran éxito.

El Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, ha participado desde hace diez años en éstos esfuerzos, logrando desarrollar un prototipo patentado (Serwatowski y Cabrera, 1996), con desempeño satisfactorio, que por varias razones no llegó a comercializarse.

En el año 2001 se retoma el tema de la mecanización de la siembra del ajo y con el apoyo de CONACYT, (SIHGO) y la empresa de la región (TECNOQUIM) se realiza un proyecto, dentro del cual se desarrolla la investigación aquí presentada.

1.2 Objetivos de la Tesis

En atención al interés evidenciado en México por conseguir un sistema eficiente de siembra mecánica de ajo, se desarrolla todo el trabajo de esta tesis, que tratará de ofrecer soluciones técnicamente válidas a la situación de las explotaciones mexicanas.

Se parte del estado de la técnica alcanzado en zonas de importancia mundial para cultivo mecanizado del ajo, como es el caso de España.

Así, se fijan los siguientes objetivos:

Objetivo General

- *Aportaciones a la mejora de la siembra mecánica del ajo en México*

Objetivos Específicos

- *Análisis de eficiencia de la siembra manual y de diferentes sembradoras actuales.*
- *Diseño, construcción y evaluación de un sistema dosificador de precisión para semilla de ajo*
- *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de sembradora de precisión para siembra de ajo en líneas*

REVISIÓN SOBRE

EL CULTIVO DEL AJO

2.1 Características del ajo, *Allium sativum* L.

2.1.1 Descripción Botánica

El ajo es una planta monocotiledónea, perteneciente al orden Liliiflora, familia Liliaceae, subfamilia Allioidea, género *Allium*, especie *Sativum* L. Una planta completa de ajo en su máximo desarrollo presenta las siguientes partes:

Raíces: fasciculadas, blancas, de 0,1 a 0,5 mm de diámetro, que llegan a profundizar hasta 40-50 cm con facilidad.

Tallo o disco caulinar: el tallo propiamente dicho es un disco subterráneo, de donde nacen las raíces y cuyas yemas dan lugar a las hojas y a los dientes que formarán la cabeza.

Bulbo: llamado cabeza de ajo, está formado por las yemas axilares de las hojas, desarrolladas y transformadas en órganos de reserva. Cada yema origina un diente de ajo.

Hojas: las hojas son opuestas, lineales, de unos 45 a más de 60 cm de longitud del limbo y entre 30 y 40 mm de anchura máxima. Sentadas, sin peciolo. La vaina de la hoja es más larga a medida que éstas se van sucediendo en la planta. Las más largas llegan a alcanzar en algunos ecotipos hasta 35-40 cm de altura.

Pseudotallo: las vainas cilíndricas de la planta forman el falso tallo.

Escapo: el escapo, o tallo floral, es un tallo que termina en un receptáculo floral envuelto por una espata caduca, aunque a veces puede quedar cogida a la inflorescencia, formada por una sola pieza, si bien en algunos ecotipos se abre en dos mitades que pueden dar la sensación de que son dos hojas. El escapo es cilíndrico, generalmente macizo, de 40 a más de 100 cm de largo y de alrededor de 10 a 12 mm de diámetro en su zona central, siendo más grueso en la zona basal y más fino en la apical. La mayoría de las veces se presenta encorvado o más o menos retorcido.

Las variedades y ecotipos blancos y rosas no presentan tallo floral en condiciones normales de cultivo.

Flores: las flores están formadas por seis pétalos de color violáceo, rojizo o rosado, seis estambres y un pistilo plurilocular que termina en un estigma filiforme.

Frutos: las flores rara vez dan lugar a frutos y a verdaderas semillas viables.

En el cultivo de ajos, se conoce tradicionalmente como "semilla" a los dientes que se utilizan en la plantación o las cabezas de donde proceden estos dientes.

2.1.2 Propiedades medicinales y nutricionales

El ajo contiene en todas sus partes, pero sobre todo en el bulbo, una sustancia sulfurada inodora llamada alicina. Ésta por la acción de la enzima alinaza, se convierte en alicina y ésta en disulfuro de alilo, olor característico del ajo, que se forma por auto condensación de la alicina. Esta especie ha sido considerada valiosa por su capacidad curativa y entre sus aportaciones a la salud se encuentran su poder bactericida y anti coagulante, se le reconoce por su poder para reducir las concentraciones de colesterol. Además posee efectos benéficos sobre padecimientos como el asma, la diabetes y el cáncer, se sabe también que estimula la motilidad gástrica. Ayuda a combatir el estrés, aumenta las defensas del organismo, es útil en situaciones de convalecencia de enfermedades, ayuda a normalizar la tensión arterial y es una excelente fuente de vitamina B1. El ajo contiene también minerales y vitaminas necesarias para el adecuado funcionamiento del cuerpo humano (Thompson et al., 2006).

Roy, H. and Lundy, S (2005), reportan la existencia de más de 3000 publicaciones alrededor del mundo en las que se confirman los reconocidos beneficios del ajo en la salud, al usarse en diversos modos y preparaciones. Al realizar una revisión de 335 artículos publicados con relación a los usos del ajo en la medicina humana, Kemper, K. J. 2000 establece que los activos químicos del ajo son los siguientes:

Componentes azufrados: Alina, alicina, ajoene, disulfuro de allypropyl,

trisulfuro de alilo, s-allylcysteina, vinilditinas, S-alilmercaptocisteina y otros.

Enzimas: Alinasa, peroxidasa, mirosinasa y otras.

Aminoácidos y sus glucósidos: Arginina y otras.

El ajo tiene una gran cantidad de nutrimentos como se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Propiedades nutricionales

Proteínas 4 g	Vitaminas	Macro elementos	Micro elementos
Lípidos 0.5 g	Tiamina 0.2 mg	Potasio 540 mg	Hierro 1.7-2.3 mg
	Riboflavina 0.11 mg	Calcio 10-24 mg	Manganeso 1.3 mg
	Niacina 0.7 mg	Fósforo 40-195 mg	
	Vitamina C 9-18 mg		
Glúcidos 20 g			
Celulosa 1 g			
Valor energético 98 calorías			

* Su componente aromático es que lo introduce en el uso culinario. Nota- La composición nutritiva en 100 g de ajo contenidos en 61 g de agua según estudios.

2.1.3 Características agronómicas

Los ajos pueden ser agrupados por sus características botánicas, fisiológicas o comerciales. Los intentos por hacerlo no fueron muy exitosos, complicándose aún más la situación debido a las barreras idiomáticas y de los países (Burba, 1997). En la práctica comercial los ajos se denominan en algunos casos según el color de los bulbos, o el color de los “dientes” o bulbillos, criterios fisiológicos en otros.

La propagación de la planta se puede realizar de dos formas: por semilla de procedencia sexual y por dientes o bulbillos de procedencia vegetativa. Las flores del ajo rara vez son fértiles, por ello, la obtención de semilla es anecdótica y se utiliza para la mejora genética a través de cruzamientos y para la obtención de plantas exentas de virus. La multiplicación vegetativa es la única generalizada. Los bulbillos florales, como las semillas, no se producen en cantidad suficiente y no poseen la cantidad de sustancias

nutritivas que poseen los dientes. Éstos garantizan la brotación, sobre todo a que mantienen a la plántula durante los momentos más críticos de su crecimiento.

Tiene gran importancia la selección de las partidas de la siembra. Estas deben ser: homogéneas, saneadas y en perfecto estado de conservación. Es preferible la utilización de bulbos exentos de virus y nematodos, aunque sean más caros, se deben de considerar sus características agronómicas del cultivo y de sus necesidades para una buena producción (Tabla 5).

Tabla 5 Características del cultivo

Nombre Científico	Allium sativum
Origen	Asiático – Mediterráneo
Familia	Amarillidaceae
Variedad	Morado, Blanco Americano, Chino
Período Vegetativo	165 a 180 días ó de 6 a 7 meses (según variedad)
Requerimiento de Suelo	Ricos en materia orgánica (con buena dotación de azufre). pH 5.8 - 6.5 ó 7.5 - 8. Bien mullidos y
Temperatura optima promedio	14 - 20 C°
Humedad	Baja humedad
Fertilizantes	60 Nitrógeno (N). (kg/ha): 150 Fósforo (P). (kg/ha): 90 Potasio (K). (kg/ha)

La época de plantación del ajo varía según la climatología de la zona y la variedad ó ecotipo utilizado, precoces, tardíos, (Tabla 6). En México es frecuente iniciarla en octubre y noviembre. A partir de finales de diciembre no se aconseja la plantación. Sólo en climas muy fríos se puede prolongar hasta marzo.

Tabla 6. Cultivares de ajo, tipo y ciclo vegetativo, empleados para evaluar su rendimiento y calidad, en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. (Pérez et al., 1991).

Variedad	Ciclo vegetativo	Ciclos de evaluación			
		Otoño-Invierno			
Chileno Compuesto No. I Morado	Intermedio	88-89,	89-90,	91-92,	01-02
Chileno V. O. Morado	Intermedio	α	α	α	α
Chileno San Javier Morado	Intermedio	α	α	α	α
Pocitas Morado	Intermedio	α	α	α	α
Hermosillo Morado	Intermedio	α	α	α	α
Massone Morado	Intermedio	α	α	α	α
Nápurí Morado	Intermedio	α	α	α	α
Criollo de Nacajuca Morado	Precoz	α	α		
Criollo de Guatemala Morado	Precoz	α	α		
Criollo de Nicaragua Morado	Precoz	α	α		
Taiwán Jaspeado	Tardío	α	α	α	α
Cultivares de bulbo blanco	Tardío	α	α	α	α
(Grupo III, Burba, 1991)	Tardío	α	α	α	α
Blanco de Egipto Blanco	Precoz	α	α	α	α
Cristal Blanco	Tardío	α	α		α
Blanco de Cortázar Blanco	Tardío	α	α		

α = Cultivares de ajo que se usaron, en los cuatro diferentes ciclos de evaluación.

La cabeza de ajo está formada por los dientes que una vez plantados en condiciones adecuadas, darán lugar a nuevas plantas fig. 1.



fig. 1 Imágenes de los dientes de ajo y cabeza

Un diente de ajo está constituido por un resto de tallo, una hoja protectora que lo envuelve y una hoja transformada en almacén de reservas nutritivas, en cuyo interior, en la base del diente donde se encuentra el resto de tallo, se halla la yema terminal que dará lugar a la nueva planta.

Periodo de dormancia: cuando se cosecha el ajo, esta yema terminal reducida a un pequeño abultamiento de menos de un milímetro de diámetro, se aletarga. Los dientes

entran en un estado de dormancia durante un periodo de tiempo variable en función de la variedad o ecotipo y de las condiciones en que se conservan estos dientes.

Brotación: pasados unos meses (entre 3 y 5 según tipo de ajo y condiciones de conservación de la semilla), en el diente, incluso sin plantar, se inicia la actividad de la yema terminal, alargándose en dirección a la punta, al ápice del diente. La primera hoja que emerge es una protección de las hojitas que darán lugar a la nueva planta y las acompaña hasta romper la costra del terreno, quedando como una funda, sin desplegar el limbo. Durante este tiempo la plantita toma el alimento que precisa de las sustancias nutritivas del propio diente y comienza a emitir las raicillas. El crecimiento vegetativo se desarrolla en un espacio de tiempo variable, alrededor de 100 a 150 días según las condiciones de conservación de la semilla y las técnicas de cultivo que se apliquen, característico para cada variedad o ecotipo y muy directamente influido por las condiciones de fotoperiodo, temperatura y humedad.

Bulbificación: es la fase de la formación el bulbo. Se produce cuando se alcanzan unas condiciones determinadas de temperatura, humedad y fotoperiodo, aplicando técnicas de cultivo convencionales, definidas para cada variedad y ecotipo en un área geográfica determinada. Puede modificarse sometiendo la semilla a condiciones especiales de temperatura o fotoperiodo.

Maduración: en condiciones normales de cultivo, las plantas, a los 25-30 días de la floración llegan a formar la cabeza, adquiriendo el pseudotallo una consistencia flácida. En este momento se llega a la maduración de la cabeza de ajo, que se podrá sacar unos días después.

2.1.4 Variedades cultivadas en México

En México se cultivan con fines comerciales dos tipos de ajo: “tipo morado” y “tipo blanco”. Del primero existen distintas variedades siendo las principales: *Chileno*, *Taiwan*, *Criollo Regional*, *Napuri*, *Hermosillo*, *Massone*, *Pósito*, *Pata de perro*. De los

ajos de tipo blanco o rosa se tiene: *Egipcio, California, Perla, Zacatecas, Cristal, Durango, Ixmiquilpan y Early White*. (Macías Valdés, 2003 y Palemón Alberto, 2005)

- Ajos morados

Chileno: Esta variedad es la más importante, ya que reúne las mejores características para la exportación, produce bulbos de color morado con un promedio de trece dientes por bulbo y con una variación de 1 a 20. La planta, es de porte regular entre 35 y 50 cm, de follaje semiárido con hojas de color siempre intenso, es de ciclo intermedio de 180 días.

Criollo original: Variedad que se diferencia a la anterior ya que tiene 20 a 60 dientes por bulbo. Con una medida de 30 dientes, el tamaño de los dientes es menor que los del chileno y su ciclo vegetativo es de 150 a 160 días.

Napurí: Variedad parecida a las anteriores, diferente de ella porque tiene de 1 a 40 dientes por bulbo y con un promedio de 22 cm, de largos, su ciclo vegetativo es de 160 a 170 días y su rendimiento es superior al de este.

Hermosillo: Variedad derivada del criollo regional ya que por su parte, apariencia externa y número de dientes por bulbo es muy similar a este.

Massone: Esta es una introducción hecha del Perú al igual que la variedad Napurí, sus características son similares. Las plantas alcanzan hasta 55 cm de altura, su follaje es de color verde intenso, sus bulbos son de color morado y están protegidos por siete túnicas que envuelvan un promedio de 14 dientes, su ciclo vegetativo es de 175 a 180 días.

Pósitos: Es una variedad introducida de Baja California Sur, de bulbo color morado claro, de 40 a 50 cm de porte con hojas verde cenizo, de bulbo muy grande y aplanado cuyo número de dientes varía de 1-60 con un promedio de 28, su ciclo vegetativo es de 180 días.

Pata de perro: Variedad introducida del Perú que difiere del resto de los ajos morados dada su característica de “encabezarse” el 100%, quedando el bulbo totalmente abierto y los dientes separados, contiene de 1 a 14 dientes por bulbo y tiene una media de 9 dientes grandes y firmes.

Taiwan: Produce dientes de color morado con un promedio de 9 dientes por bulbo, tiene un porte de 40 a 50 cm el follaje es semiabierto, con hojas color verde intenso, largas, anchas y vigorosas. Esta variedad se destina al mercado de exportación y su ciclo vegetativo es de 180 días.

- Ajos blancos

Criollo Aguascalientes: Produce bulbos de color blanco cremoso, con un promedio de 30 a 35 dientes es de follaje abierto, con hojas de color verde pálido es de ciclo tardío de 180 a 190 días dependiendo de la fecha de siembra.

Blanco de Zacatecas: Variedad que produce bulbos de color cremoso, de porte bajo con un promedio de 30 dientes por bulbo y un ciclo de 200 a 240 días.

Blanco Durango: Es de las mismas características que el Criollo Aguascalientes

Blanco de Ixmiquilpan: Es el mismo tipo de los anteriores, se distingue en que la lámina de la hoja es más angosta que los anteriores, con un promedio de 30 dientes por bulbo y un ciclo vegetativo tardío de 220 días.

Pro – Bajío: Variedad que produce bulbos de color blanco, con un gran número de dientes por bulbo. Presenta hojas largas, delgadas erectas de color verde pálido con una altura de 70 cm y un ciclo vegetativo de 180 a 200 días. Presenta un rendimiento experimental de 15.4 t/ha, es apropiado para el mercado nacional, ya sea doméstico o industrial.

Guatemala: Presenta bulbos grandes y compactos, de color blanco con manchas moradas, contiene 22 a 30 dientes del mismo color y envueltos en cinco túnicas. Es una variedad precoz cuyo ciclo vegetativo dura 155 días a la cosecha, las plantas tienen

ocho hojas con una altura de 70 cm promedio, experimentalmente produce 11 a 15.5 t/ha.

2.2 La siembra (haciendo referencia al cultivo en México)

2.2.1 Preparación del suelo

El ajo es un cultivo que tiene raíces poco profundas; sin embargo, se requiere de una buena preparación del terreno para facilitar la siembra, favorecer la emergencia y el desarrollo del cultivo.

Subsoleo. Esta práctica tiene como función romper la capa compactada que se forma por el paso de la maquinaria, facilitar la penetración de humedad, además de permitir una mejor aireación del suelo. Dependiendo del terreno, el subsoleo se debe realizar cuando el arado al barbechar no se entierre lo suficiente (30 cm) para voltear la tierra.

Barbecho. Se debe realizar cuando el suelo tenga un contenido de humedad adecuado, que permita la penetración del arado a una profundidad de 25 a 30 cm y se recomienda realizarlo después de la cosecha del cultivo anterior para aprovechar la humedad residual.

Esta práctica se hace con el fin de romper, aflojar y voltear la capa arable e incorporar los residuos de malas hierbas y de la cosecha anterior para propiciar su descomposición y con esto aumentar la fertilidad y el contenido de materia orgánica en el suelo. También favorece a la aireación y ayuda a eliminar parcialmente las plagas del suelo al exponer los huevecillos, larvas y pupas al frío, al sol, al aire de la superficie y a sus enemigos naturales.

Rastreo. Se debe efectuar cuando el suelo tenga un contenido de humedad adecuado que permita desbaratar los terrones y dejarlo bien mullido; además, se requiere adicionar a la rastra un tablón o riel para emparejar el suelo; si el suelo lo requiere, se puede dar otro paso de rastra en sentido perpendicular al primero; en caso de no quedar bien nivelado, se recomienda utilizar la niveladora.

Surcado. Los surcos se deben hacer con una pendiente menor del 2%, siguiendo las curvas a nivel del terreno para lograr una distribución uniforme del agua de riego y evitar encharcamientos. La distancia entre surcos varía de 80 a 85 cm, dependiendo del tipo de maquinaria con que se cuente, Macías Valdés 2003.

2.2.2 Preparación de la semilla

Previo a la siembra, se realiza el desgranado de las “cabezas” para usar el “diente” como semilla. La labor la realizan máquinas sencillas. Unos rodillos acolchados accionados por un motor eléctrico pueden desgranar hasta 500 kg/h. “Rompen” la cabeza dejando los dientes sueltos. Los operarios terminan el proceso de separación y eliminación de las “túnicas”. A posteriori se coloca un calibrador que clasifica los “dientes”, los de tamaño inferior a 10 mm se consideran residuos y no se usan como semilla s. (**Agricultura. Noviembre 2010.**). El desgranado de los bulbos de ajo de plantación se puede realizar de dos formas: manual y mecánica. La primera, es la más usual en explotaciones de pequeño o mediano producto, ésta consiste en desgranar manualmente el bulbo con una selección visual por parte del operario. La segunda, se realiza en grandes explotaciones y en la producción para la industria, se emplea maquinaria especial.

La operación manual de desgrane tiene varias ventajas. Permite una selección uno a uno de los dientes utilizados para semilla. De esta forma se eliminan todos aquellos que manifiesten algún tipo de síntoma indeseable, además de que las túnicas que lo protegen permanecen intactas si el operario es lo suficientemente cuidadoso. Su gran desventaja es su alto coste. Cuando el volumen de la explotación o el área de cultivo es considerable, el desgranado mecánico es fundamental. Las desventajas de este sistema son: daños mecánicos en las túnicas de los dientes, la falta de selección sanitaria y su ventaja, su coste mínimo.

El sistema más utilizado para el desgranado es el de rodillos de compresión con giros contrarios. La alimentación puede ser por caída libre y, en este caso, los rodillos se colocan por pares. La distancia entre ellos va disminuyendo de forma progresiva.

Cuando la alimentación es horizontal, se utiliza una cinta transportadora que conduce a los bulbos hacia una serie simple de rodillos que los aplasta sobre una cinta. Después cepillos rotativos alternos terminan el desgrane, un aspirador retira las pieles y una cinta permite el acabado manual, fig. 2.



fig. 2. Desgranadora de rodillos horizontales, “ERME”, 2015.

Aunque los rodillos están acolchados es inevitable que durante el proceso de desgranado se dañen, en mayor o menor medida, las túnicas de protección de los dientes. La regulación de las distancias entre rodillos o entre rodillos y cinta es fundamental para minimizar estos daños.

La Tabla 7 muestra la diferencia entre los distintos sistemas y las ventajas al aumentar la capacidad de proceso y menor uso de mano obra.

Tabla 7. Rendimiento de las operaciones de desgranado

Tipo de operación	hTH/ha(*)
Completamente manual	60-80
Mecánica sin repaso manual	10-20
Mecánica con repaso manual	25-40

(*) hTH = horas de trabajo humano

El sistema de clasificación de semilla puede o no estar incorporado a la desgranadora y consiste por lo general, en hacer pasar el ajo por una criba permitiendo así la separación de tamaños, pueden usarse cribas oscilantes, rotativas de cilindro perforado, fig. 3. Estos cilindros están compuestos por secciones de cribas diferentes

para los tamaños que se desean, así se logra clasificar por tamaño. Es recomendable para tener una mejor selección, repasar los dientes de forma manual para eliminar los defectuosos, dañados o enfermos.



fig. 3. Clasificadora de ajo, “ERME”, 2015.

Una vez preparados los dientes, y seleccionados para realizar la plantación, se realiza una fase más. Los bulbos adquiridos normalmente están infectados por esporas de hongos, que pueden causar graves daños durante la brotación de las plántulas. La desinfección de los mismos es fundamental, una de las principales enfermedades a controlar es a causa de los nematodos del ajo (*Ditylenchus dipsoci*), para ello se pueden utilizar los siguientes métodos:

Se sumerge la semilla desgranada durante 150 minutos en agua con formol al 1% y un detergente a temperatura de 24 °C, posteriormente se repite el procedimiento en la misma solución, solo que a una temperatura de 48 °C, durante 20 minutos. Otra forma del control del nematodo del ajo es tratar la semilla con una solución de Namacur 400, durante 30 minutos. Para prevenir la pudrición blanca la semilla se sumerge en una solución de Ronilan durante 30 minutos. Este procedimiento se puede aplicar conjuntamente con el método utilizado para prevenir el ataque de nematodos del ajo. También es necesario la aplicación de un fungicida, para que una vez colocados en el suelo los proteja en la fase de implantación y desarrollo, se puede realizar la aplicación de fungicida mediante el uso de tolvas mezcladoras rotativas en donde se mezcla el fungicida con los dientes de ajo.

2.2.3 Siembra en México

La mejor época de siembra para los ajos morados es del 1 de Agosto al 15 de Octubre, siendo óptimo el mes de septiembre. Para los ajos blancos el periodo de siembra es del 15 de Octubre al 15 de Noviembre. La diferencia de fechas se debe a que los ajos blancos requieren temperaturas más bajas que los morados para iniciar sus actividades metabólicas.

La siembra puede realizarse manualmente o con máquinas. La siembra manual no sólo es crítica por su alto costo, sino también por la disponibilidad de mano de obra durante la época de siembra.

En la siembra manual primero se realiza la apertura del surco con tractor y un arado de ala, seguida por la colocación de la semilla. El diente se deposita en el surco, clavándolo ligeramente con la punta hacia arriba. Esta disposición se considera importante para facilitar la brotación y emergencia de la plántula y para evitar deformaciones en la nueva planta. Otro aspecto a tener en cuenta para obtener una producción considerable es el distanciamiento adecuado entre hileras y entre una planta y otra. La operación de cubrir la semilla y compactar el suelo alrededor de ella se realiza normalmente utilizando el tractor con discos cubridores, con lo que no solamente se altera la posición vertical de la semilla, sino también la uniformidad de distribución.

Los trabajos de investigación realizados en España han demostrado que la semilla tumbada o invertida provoca disminuciones drásticas de la producción (Bernard et al., 1989; Calderón, 2003), como consecuencia de una brotación irregular y difícil, que a menudo genera un bulbo deformado, de menor calidad comercial.

Algunas investigaciones realizadas reportan que el rendimiento de ajo disminuye entre 35 y 40% cuando la siembra se realiza con la punta del diente invertida, siendo el porcentaje de bulbos deformados superior a 80% y el peso del bulbo disminuido entre 15 y 20% (fig. 4).



fig 4. Desarrollo de la planta en diferentes posiciones de la semilla

Otros estudios comparan la razón del peso de la producción en seco de ajo contra la cantidad de semilla usada para siembra manual en posición vertical, siembra manual sin control de posición y siembra mecanizada sin control de posición (la sembradora usada no era de precisión). Reportan que el incremento en el rendimiento del ajo sembrado manualmente con control de la posición fue superior al de la siembra mecanizada, apenas en 6.3 %. Los cultivos de ajo deben rotarse después de tres años como máximo, para evitar el agotamiento del suelo, (Martinez de la Cerda 2009).

Otra posibilidad es plantar el ajo en charolas, y colocarlas en campo o en invernadero frío, hasta que se vayan a trasplantar en primavera fig. 5 .



fig. 5 Cultivo de ajo en surcos, y siembra en charolas para trasplante

De acuerdo al método de siembra y la variedad utilizada, la cantidad de semilla puede variar entre 1 y 2.5 t/ha. Con una profundidad de siembra promedio de 5 a 8 cm.

Dosis de siembra:

Diente grande (entre 8 y 10 g), 1500 kg/ha

Diente mediano (entre 6 y 7 g), de 900 a 1000 kg/ha

Diente chico (entre 4 y 5 g), de 600 a 650 kg/ha

2.2.4 Riego

Los sistemas de riego más usuales en México son riego a manta y el goteo, ya que el ajo es un cultivo rotativo y el sistema debe ser utilizado también por otros cultivos. En el Estado de Guanajuato se cuenta cada día con más accesibilidad a estos dos sistemas, fig. 6.



fig. 6 Sistema de riego por goteo

Dependiendo de la estructura del suelo, el ajo es muy sensible a la humedad durante su desarrollo, se recomienda condiciones más secas durante el periodo de bulbificación (Allen, 2009). El número de riegos requeridos puede variar constantemente, una lámina a aplicar puede ser de 12,7 cm/ha cada semana dependiendo del desarrollo del cultivo. Las aplicaciones pueden variar entre 8.000 y 9.000 m³ de agua, con una distribución de 10 a 15 riegos ligeros y frecuentes hasta el inicio de los bulbos.

El primer riego se da después de la siembra, sin permitir encharcamientos. Después del primer riego a los 8 o 15 días se recomienda otro riego ligero, con el propósito de destruir la costra del suelo y facilitar la emergencia de la plántula, los riegos posteriores estarán determinados por las características del suelo, condiciones climáticas y por el ciclo vegetativo de la variedad, junto con los riegos se realiza además

la fertilización requerida (Ca, N, P) y tratamientos a los cultivos a través del sistemas de goteo.

2.2.5 Control de malezas

Para realizar las labores de control de malezas se puede hacer con dos o tres pasadas con el cultivador con reja de ala de golondrina o reja aporcadora, cuya función es la escarda mecánica, el aporcado y la ruptura de la costra superficial según convenga, puede usarse también equipos de personas ya que existen algunas malezas que no es posible controlar con tratamientos herbicidas de preemergencia y post-emergencia para quitar las malezas de manera manual con personas. Estos grupos de personas son llamados cuadrillas, dirigidos por un encargado; estas personas para realizar su trabajo deben de tener experiencia y habilidad para hacerlo, fig. 7



fig. 7 Trabajo manual

Estas personas para arrancar las malezas utilizan diferentes herramientas: hoz, cuchillas, sierras. Una cuadrilla está formada por 25 personas, éstas realizan las labores con un avance de 3 ha/día.

2.2.6 Plagas y enfermedades

Existen varios métodos de control de algunas plagas y enfermedades que atacan al cultivo del ajo en las principales zonas productoras (J. Allen 2009), por lo que es necesario el tratamiento preventivo y correctivo para controlar el problema usando distintos tipos de pulverizadores hidráulicos (barras para cultivo bajo, carretillas, mochilas), fig. 8.



fig. 8 Daño por Nematodos Izquierda, Fusarium Derecha. (J. Allen, 2009)

2.3 La recolección

2.3.1 Sistema tradicional

El periodo de cosecha se realiza generalmente seis meses después de su siembra. Para los ajos morados su cosecha es entre febrero-marzo. Para los ajos blancos su cosecha es generalmente en Abril-Mayo.

Se caracteriza por realizar diferentes labores, donde tenemos una intervención de maquinaria y de un gran uso de mano de obra, las actividades realizadas en este sistema son:

- Arranque (con cultivador).
- Recolección manual
- Secado (en campo)
- Cargado de camiones(manualmente)

Tabla 8 Tiempos requeridos para labores

Labor	Capacidad de trabajo (ha/h)	Mano de obra (horas hombre/ha)
Arranque (cultivador)	0.65	1.53
Recolección manual		38
Carga de camiones		19

(Gracia, 1996)

El arranque tradicional se realiza con una cuchilla accionada por un tiro de mulas o un arado con tractor que se introduce en la línea de plantas de ajo a una profundidad por debajo de los bulbos para no dañarlos, este cultivador está provisto normalmente de 3 a 5 brazos. Al pasar por los surcos estas rejas van rompiendo el suelo y aflojando los bulbos. La capacidad de trabajo de estos equipos se estima en 0.65 ha/h, Tabla 8.

La capacidad de arranque es buena si el cultivo está medianamente alineado. Alrededor de un 2% de cabezas quedan sin arrancar o cortadas por el arado, lo que es un porcentaje aceptable.

Detrás del cultivador los operarios cogen, sacuden y agrupan los ajos arrancados realizando el enchufado. Los tiempos útiles se supone de 38 horas hombre/ha por este conjunto de operaciones, fig. 9.



fig. 9 Agrupación de los ajos manualmente

Esta labor ayuda a que se sequen en el campo y para ser cargados posteriormente en un remolque o camión.

Después del enchufado se realiza el “mochado”, el cual se hace con tijeras especiales, se corta la parte foliar dejando 5 cm de tallo y también se cortan las raíces.

Es frecuente el manajo de 25 a 35 unidades según el calibre de las cabezas. Pero hay localidades en donde el manajo es de 40 a 50 ajos.

Finalmente cuando han transcurrido unas semanas (15 o 20 días) desde que se arrancó se procede a la carga manual, depende realmente de la necesidad de introducirlo

al mercado. Pero debido a los hurtos de las cosechas arrancadas, cada vez más productores de ajo prefieren recoger y secar en almacenes (cámaras de secado).

Se puede resumir que las necesidades de mano de obra por el procedimiento tradicional se supone entre 14 a 17 jornales/ha y las pérdidas de cosecha del 2 al 3%. Cuando el ajero prefiere que se corten los tallos y raíces en campo, y transportar las cabezas en pallots , se calcula un coste de 0.4 pesos/kg en esta operación y quedan suprimidas las tareas de atado y carga manual.

- Empaque del ajo

En el empaque el ajo es descargado en cintas de selección, aquí se realiza el confeccionado final, las mujeres mediante unas tijeras realizan labores de limpieza y selección a los ajos, les quitan hojas superficiales, recortan las raíces y el tallo, los empacan en cajas por tamaños y calidades, en diversas presentaciones para la exportación, los ajos son almacenados en cuartos fríos y se les embarca al mercado.

Existen tres tipos de calidades:

- 1º calidad: Son los ajos de tamaño más grande, dientes uniformes y compactos.
- 2º calidad: Son los ajos de tamaño mediano
- 3º calidad: Son los ajos pequeños o reventados.

Los ajos de 1ª y 2ª calidad son generalmente para mercado internacional, los ajos de 3ª calidad se utiliza para mercado nacional, industrial o son vendidos en mercados populares. Pero puede haber variantes según cada país y su clasificación.

2.3.2 Sistema mecanizado

El sistema mecanizado se ha introducido por la necesidad de poder realizar de una manera más rápida y a un menor costo la cosecha reduciendo la necesidad de mano de obra en los momentos críticos de recolección; implica un gran uso de maquinaria y puede estar combinada con apoyo de mano de obra para realizar una mejor labor. Existen varias máquinas utilizadas de acuerdo al grado de mecanización y el tipo de

producto que se desea obtener ya que se puede obtener producto con tallo o sin él y según el proceso de secado, (“ERME”, 2015).

- Arranque por empuje.

El arranque por empuje es un método bastante agresivo para el producto, su forma de separación consiste en una reja que corta el terreno por debajo de los bulbos y estos conjuntamente pasa a una cadena de varillas metálicas que debido a su movimiento, permiten la separación de la tierra y los bulbos, Los ajos son transportados o dejados tras la máquina, fig. 10.

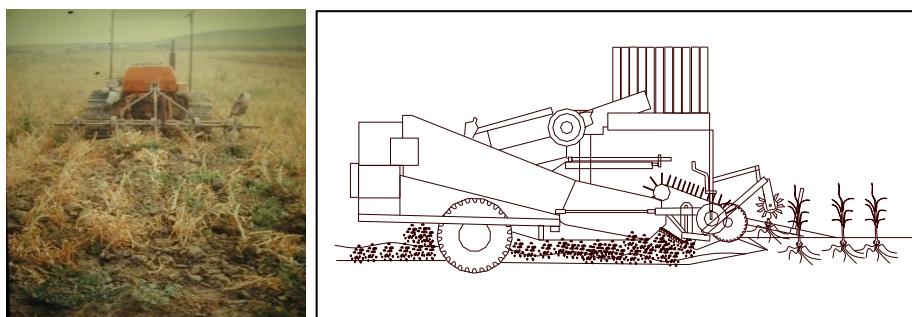


fig. 10 Sistema de arranque por empuje

- Arranque por tracción.

El método de arranque por empuje es superado en calidad y limpieza por el arranque mixto, éste utiliza unas correas prensoras para sujetar el tallo y elevan la planta, mientras una pequeña cuchilla estrecha y plana (reja extirpadora, fig. 11), va actuando por debajo del bulbo rompiendo el suelo y liberando las raíces. Este sistema es utilizado por varias máquinas cosechadoras de productos hortícolas y es ajustado para cada producto de acuerdo a las necesidades, tomando varios detalles para que la operación se realice.



Fig. 11. Cuchilla de apoyo para arranque por tracción (Campos de producción, Jesus Requena y Cia S A., España 2001)

Sistema de elevación: Está compuesto de un sistema de poleas, donde giran dos correas una al lado, presan a la planta con su cara externa y la transportan. Ambas poleas motrices giran en sentido contrario y las caras de las bandas que toman a la planta tienen el mismo movimiento y sentido. Cada correa gira entre dos poleas, donde una es motriz y la otra es una polea seguidora. El sistema se encuentra inclinado y cada polea motriz es accionada por un motor hidráulico. En la cara donde ambas correas éstas ejercen una fuerza que obliga a mantener un contacto continuo entre ambas caras externas que cualquier cosa que entre en ellas queda sujeta, fig. 12.

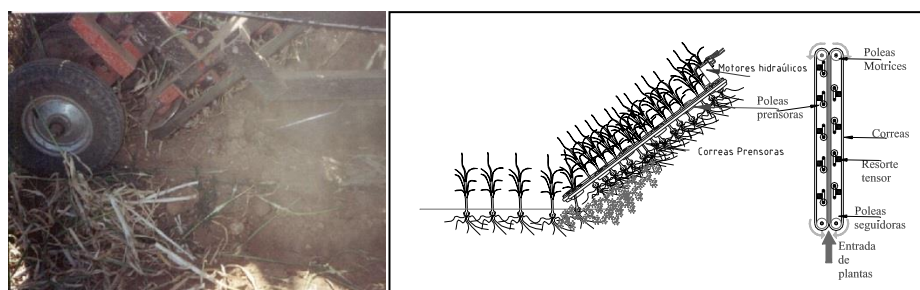


fig. 12. Sistema de elevación con correas, (Campos de producción, Jesus Requena y Cia S A., España 2001)

El efecto que provoca la extracción y elevación de la planta del suelo es debido al vector resultante de la velocidad de las correas y del movimiento de avance de la máquina. El movimiento de elevación de la planta debe ser vertical; de no ser así pueden provocar varios problemas para la correcta extracción de la planta.

a) Arrancadora-Cargadora

Una vez que son arrancados los bulbos por las bandas prensoras y tras la sacudida para su limpieza, son depositados a granel en pallots. Además del tractorista, trabaja un peón recogiendo cabezas y plantas perdidas y caídas en la máquina y otro quitando malas hierbas y ordenando la entrega en el pallots. La retirada del pallots lleno se hace mediante un giro en la base con accionamiento hidráulico, fig. 13.

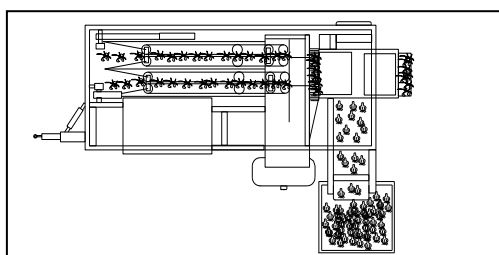


fig. 13. Arrancadora cargadora

Se trata de máquinas de 3 y 5 líneas suspendidas al tractor que tras arrancar las líneas que dejan los ajos limpios y ordenados en el surco y formando hileras con cabezas tapadas, fig. 14.



fig. 14. Arrancadora hileradora

El producto hilerado puede ahora, tras una desecación natural recogerse y atarse, o lo que es más práctico recogerlo, destallararlo y pasarlo a cajas paletizadas.

c) Arrancadora-Atadora

Existen actualmente modelos de una y dos líneas, éstos realizan el atado de manojos, entregándolos al suelo. El modelo de una línea puede ser acoplado al

enganche de tres puntos del tractor o lleva el cabezal arrancador acoplado lateralmente al tractor. Los de dos líneas son conectadas al enganche de tres puntos, fig. 15.



fig. 15 Arrancadora atadora, (“ERME”, 2015).

Los manojos pueden hacerse de tamaño variado, siendo normal de 20 a 30 unidades, los manojos son dejados sobre el terreno, después una persona pasa a acomodar los que se sueltan y a sacar las plantas que no fueron levantadas, se amontonan los manojos para que se sequen sobre el terreno.

d) Arrancadora-Destalladora

Esta mecanización es la más razonable de cara a la mecanización total. La idea de que las hojas son útiles al bulbo y que le permiten a engrosar después de la recolección, además de mejorar la conservación, ha tenido que ceder ante la evidencia de que tratándose de ajo ya maduro, las variaciones de peso no se ven influidas por la presencia o no del tallo y hojas. Incluso se consideran nocivas e inútiles para la mejor conservación de los bulbos tras el secado.

El proceso tradicional se modifica en lo siguiente:

- Los tallos son cortados antes del secado.

- El secado debe de realizarse ahora en el almacén, en cajas o palots. Esto último es lo más recomendable.
- Las conocidas “ristras” o “trenzas” que suponen el 10% del producto total comercializado, ya no se podrán confeccionar debido al eliminado de tallo y hojas.
- Arrancadora-destalladora para una hilera, acoplable al tractor agrícola



fig. 16. Arrancadora-destalladora, (“ERME”, 2015).

Estas máquinas están dentro de la mecanización total, por tener un requerimiento de mano de obra bastante reducido, acortando el tiempo para la cosecha y confección del producto, los tiempos de secado en el campo son sustituidas por el uso de secaderos, evitando pérdidas y deterioros con una confección y disposición rápida, fig. 16 y fig. 17.

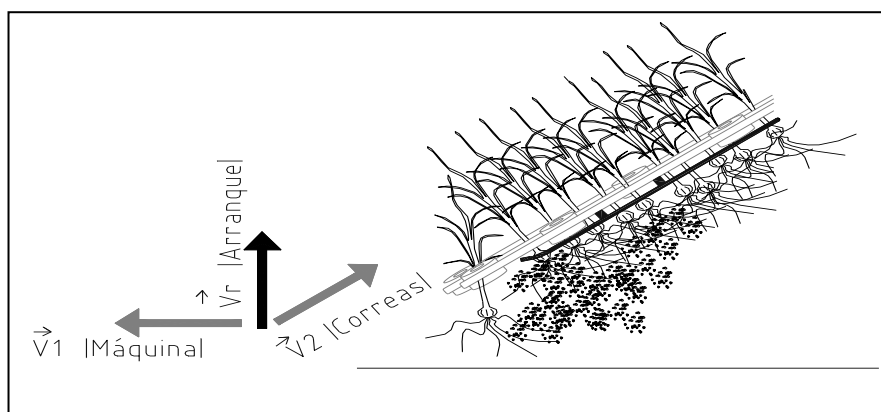


fig. 17. Sistema de arranque y elevación de ajo.

Es necesario, no obstante, contar con plantaciones bien alineadas y uniformes; suelos nivelados con muy poca piedra y ausencia de malas hierbas durante el trabajo de recolección.

2.3.3 Maquinaria para transporte y apoyo en la cosecha

Una vez que el producto ha sido cosechado, es necesario llevarlo hasta los lugares donde será almacenado y procesado, para realizar estas labores se requiere de un equipo de personas, máquinas y herramientas necesarias que faciliten la organización. La maquinaria requerida para apoyar la cosecha puede ser:

- Camiones de carga
- Carretilla estibadora autopropulsada
- Máquina de recolección mecánica por tracción y destallado
- Tractor auxiliar con horquilla estibadora trasera para mover pallets y cajas

2.3.4 Almacenado y desecado del ajo

Una vez que el ajo ha sido recolectado, ya sea en sacos o pallets, son transportados a los centros de secado y confección. Según el lugar, clima y demanda del mercado, se realizarán diferentes tareas de secado y confección. A continuación se describe el proceso de empaque del ajo (fig. 18)



fig. 18 Línea de confección y calibrado automático

El producto llega en los camiones del campo al departamento de recepción en donde es pesado y se reconoce su estado y características. Las operaciones del proceso de confección es (Calderón, 2003):

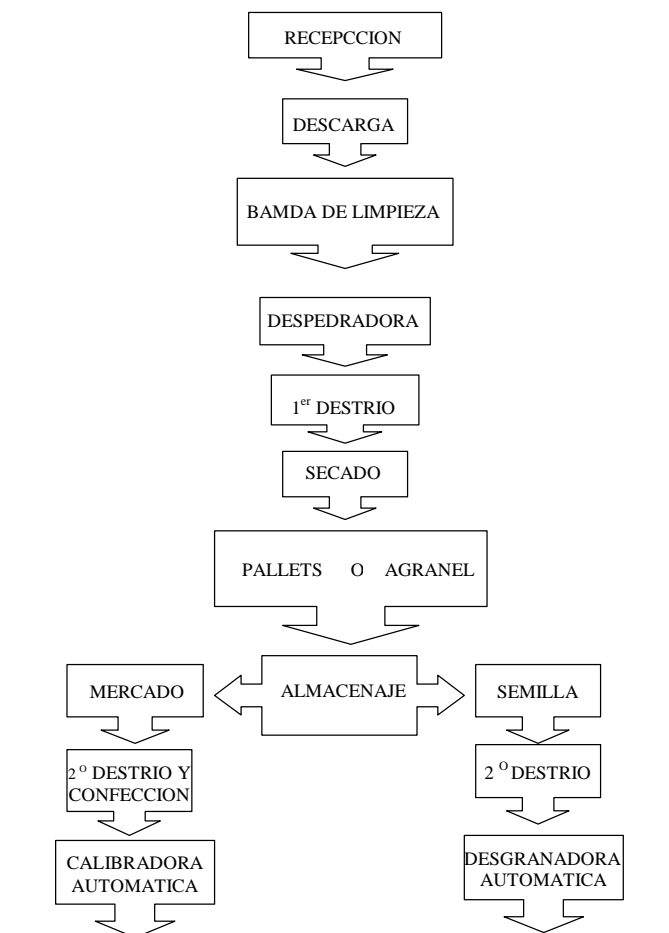


fig. 19 Diagrama del proceso en el almacén

A continuación, se coloca en palots y se lleva a la cámara de secado, cada cámara suele tener 4 m de altura, y su planta rectangular a razón de 100 m² para 100 toneladas. Cuando se reduce su humedad a valores del 70 al 75 %, las cámaras son cerradas, y se ponen en funcionamiento los equipos de generación de frío, para mantener la temperatura entre -2° y -4° C.

Así son conservados los ajos para la venta, la conservación que puede durar hasta un año para después ser empacados y enviados al mercado fig. 19.



fig. 20 Encajado, producto terminado

REVISIÓN DE TÉCNICAS Y EQUIPOS
PARA LA SIEMBRA DEL AJO

3.1 Métodos de siembra

La siembra podemos realizarla de dos maneras: a) siembra manual, b) siembra mecánica. El desarrollo de la maquinaria agiliza la labor y reduce los costos de producción, es por ello que la siembra mecanizada cada día se aplica aún más. No obstante su eficiencia debe acreditarse por una posterior emergencia y aceptable uniformidad en la distribución y desarrollo de los bulbos.

3.1.1 Siembra manual

No sólo es crítica por su costo, sino también por la disponibilidad de mano de obra durante la época adecuada.

Se realiza con un grupo de personas, que después de que ha sido abierto el surco colocan manualmente la semilla del ajo en el fondo del surco a una constante profundidad, distribución lineal con intervalos regulares y con la “yema” hacia arriba, para facilitar su emergencia y normal desarrollo.

Se atan a la cintura pequeño recipiente, una bolsa o paño doblado, donde almacenan una pequeña cantidad de semillas, que el responsable del grupo les suministra, ésta labor es costosa, pero en contrapartida es muy homogénea y garantizada si los trabajadores son expertos, fig. 21.



fig. 21. Siembra manual

Una vez que los dientes se disponen sobre la superficie del terreno según el marco elegido, es necesario proceder a su enterrado (Macías Valdez 1999). La labor de enterrado es extremadamente delicada por una serie de consideraciones como son:

- La profundidad de la plantación debe oscilar entre 4-6 cm
- La disposición de los dientes debe permanecer con la punta hacia la superficie.

Esta labor se realiza con un arado cultivador, el más frecuente en las zonas ajeras españolas es el cultivador con rejas binadoras entre líneas. A medida que avanza el tractor tapa las filas de forma somera. Esta operación debe realizarse inmediatamente después de realizada la plantación manual, puesto que los dientes son susceptibles de recibir daños (frío, calor, animales, etc.) si permanecen largo tiempo sobre el terreno.

Una vez cubiertos los dientes la capa de tierra desmenuzada queda demasiado esponjosa y el terreno irregular. Un pase de rodillo ligero o una rastra lisa convencional (cadenas, vigas o tablones) es muy adecuado para: compactar la tierra alrededor del diente y dejar el terreno liso en perfectas condiciones para el cultivo. De esta forma se favorece la brotación (Ministerio de Agricultura y Alimentación Hojas Divulgadoras 1984).

La siembra mecánica no necesita de este tipo de labores ya que la propia sembradora, cubre y compacta el suelo sobre el diente.

3.1.2 Siembra mixta

Se realizaba mediante la utilización de un bastidor arrastrado por el tractor. El operario va sentado en un asiento fijo al bastidor, desde donde coloca manualmente los dientes con la "punta" hacia arriba. Los bulbillos se encuentran en recipientes fijos al bastidor o bien en una bolsa atada al cuerpo del plantador.

No es un sistema muy utilizado, debido a que es necesaria una perfecta coordinación entre los plantadores. Hay que tener en cuenta que cualquier incidente provoca una paralización completa del proceso.

El rendimiento de este sistema es algo superior al obtenido en la plantación manual. Reduce la fatiga del operario facilitando globalmente el proceso aunque el trabajo es monótono y favorece las distracciones, que se traduce en pérdida de alineación y de equidistancia.

3.1.3 Siembra mecanizada

La siembra mecánica en su desarrollo ha logrado un avance muy importante. Hasta hace poco tiempo la siembra se realizaba manualmente por el difícil manejo de la semilla de forma y tamaño irregular y con dificultad para fluir en el depósito de la máquina. Además la pérdida de la túnica y el posicionamiento en el suelo comprometían el uso de medios mecánicos, (IGP Ajo Morado de las Pedroñeras, 2015)

Estudios realizados indican que los ajos con posición de la semilla distintas a la de la punta hacia la superficie, provocan disminuciones de la producción. Este fenómeno causa una brotación irregular y dificultosa (Bernad, J.J. et al., 1989), la plántula debe orientarse en el interior del suelo hacia la superficie usando una gran cantidad de sus reservas nutricionales, por lo que si ésta se encuentra invertida también presentará mayor cercanía de las raíces a la superficie, provocando mal enraizamiento en el suelo, poca humedad en la zona radicular o mala germinación, reflejándose en la cosecha.

El resultado es una planta de porte y vigor inferior al normal, que a menudo, genera un bulbo deformado con su calidad comercial mermada, fig. 22.



fig. 22. Emergencia del ajo de acuerdo a la posición de siembra de la semilla

El problema de la posición del diente en el terreno también es afectado por la morfología del diente, si tiene una sección transversal con las caras bastante planas y una cóncava muy curvada. Esta estructura hace que sea muy sencillo su vuelco, tanto en la caída libre como en el momento del impacto sobre el terreno. También el tamaño de la semilla influye en la brotación de la plántula ya que si es pequeña ésta tiene menos reservas nutritivas de apoyo a la brotación (Calderon Reyes, 2003).

Aunque el principal problema asociado a la plantación mecánica del ajo es el del posicionado del diente en el terreno, existen otros factores que dificultan la operación. Estos se encuentran asociados al proceso de desgrane, cribado y selección de los bulbos. El ajo segrega una sustancia mucilaginosa altamente adherente (de hecho puede ser utilizada como adhesivo). Un exceso de dientes dañados provoca que los dientes se peguen unos a otros y la proliferación de hongos se disemine a otros dientes. Esta resina provoca un incremento notable de las obturaciones y afecta el rendimiento de la operación inferior al esperado, y lo que es más grave, una densidad y marco de

plantación irregulares. Una manera de remediar esto es agregar talco para reducir la humedad dentro del ajo y hacer que no se adhieran las semillas.

Tabla 9 Mano de obra en labores

Tipo de siembra	Tiempo en horas de trabajo humano/ha (hTH/ha)
Completamente manual	60-80
Sembradora de discos(*)	4-5
Sembradora neumática(*)	4-6

(*) Con cinco cuerpos a 50 cm. entre ellos.

Nota- Se considerar una eficiencia entre el 0,7 para la sembradora de discos y el 0,8 para la neumática. (Cabrera y Serwatowski, R. 1999)

Las dificultades para singularizar la semilla (dosificar): forma túnicas, resina. A pesar de lo anterior, la enorme diferencia en el rendimiento y costo entre la siembra manual y la mecanizada (Tabla 9) hace indispensable el uso de la máquina para esta labor

3.2 Tipología y descripción de las sembradoras de ajo

De acuerdo a los estudios realizados y a la experiencia que se ha recopilado de varios investigadores se ha propuesto la siguiente clasificación fig. 23.

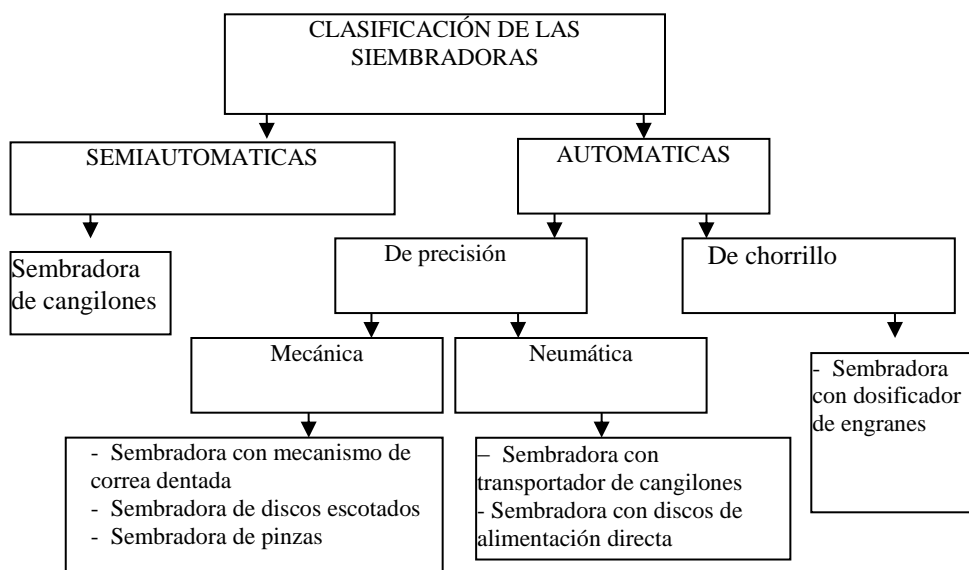


fig. 23 Clasificación de las sembradoras

Esta clasificación define a las sembradoras semiautomáticas como aquellas sembradoras que son asistidas por una persona y a las sembradoras automáticas a las sembradoras en donde no interviene directamente la mano del hombre.

Sembradora semiautomática de cangilones: Los primeros modelos de máquinas plantadoras disponían de un bastidor con asientos para los operarios, que colocaban los dientes en los compartimentos de un transportador de cangilones vertical. La máquina realizaba las labores de apertura, colocación del diente, cierre del surco, profundidad y aseguraba distanciamiento entre semillas, ajustando la velocidad de la rueda de terreno y el transportador de cangilones, fig. 24.



fig. 24. Sembradora semiautomática de cangilones

Sembradora automática de ajo con mecanismo de correa dentada: Consiste en una cinta dentada que individualiza las semillas de una tolva, al caer éstas entre los dientes. La cinta las transporta y deposita las semillas sobre el suelo, fig. 25.

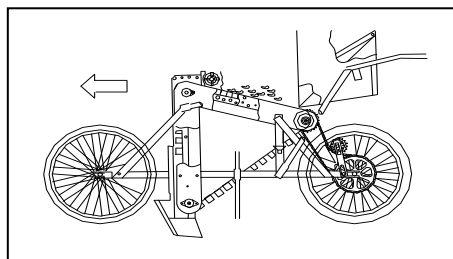


fig. 25. Sembradora de ajo con mecanismo de correa dentada.

Sembradora automática de discos escotados: Los discos están provistos de una serie de escotaduras, dispuestas regularmente a lo largo del borde. El tamaño, forma y tipo de la escotadura, depende de las características morfológicas de los dientes a plantar.

Los primeros modelos introdujeron un disco de manera vertical, pero posteriores estudios determinaron que con un eje inclinado (sobre 30° aproximadamente) se conseguían mejores resultados. El giro del mecanismo en la pared inclinada de la tolva eleva un diente en cada "escote" del disco, ayudándose de un diente enrazador que aseguraba la presencia de un solo diente por alvéolo (en teoría) desde la tolva, hasta que un empujador lo despedía hacia el conducto de salida, fig. 26.

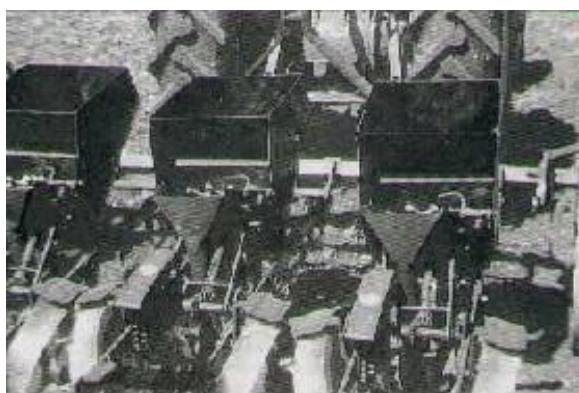


fig. 26. Sembradora automática de disco escotado

La distancia entre semillas se regula en función de los engranajes que accionan el disco. Al ser una máquina arrastrada el movimiento del disco se sincroniza con la velocidad del tractor, a través de las ruedas de la sembradora.

El posicionamiento de los dientes sobre el terreno se realiza igual que en otras máquinas por caída libre en el interior de un conducto cerrado. En este proceso el diente se golpea, rebota de un sitio a otro y finalmente impacta sobre el terreno. Presenta algunas daño por aplastamiento de los dientes entre el disco y los soportes. Esta característica obliga a un continuo ajuste, es muy simple y robusta.

Sembradora automática con distribuidor por rueda dentada: Esta sembradora mecánica de fabricación estadounidense, cuenta con dos tolvas y ruedas dentadas. En el fondo de la tolva se encuentra un agitador y las ruedas dentadas que transportan la semilla. Una compuerta permite la regulación de la cantidad de semillas que entran a los dientes del engrane y que se depositan en el suelo a través de un conducto, fig. 27.



fig. 27. Sembradora automática con distribuidor por rueda dentada.

Sembradora automática de pinzas: El modelo de plato de pinzas que va tomando de la tolva dientes (con más frecuencia dobles que fallos) de modo automático. Este consiste en dos discos colocados verticalmente y paralelos entre sí, uno de ellos porta una cucharilla, y el otro es una leva que va posicionando a la cucharilla.

Puede utilizarse con semillas de diversos tamaños y formas solo con cambiar el tamaño de las cucharas. El disco portador va girando y arrastra las cucharas, éstas

entran en la zona de la tolva en donde se abren mientras pasa por la zona de semillas, después se cierran ayudadas por la leva atrapando la semilla, manteniéndola prensada con la cucharilla al llegar a la zona de descarga se abre dejando caer la semilla (ZOCAPI, 2015), fig. 28.

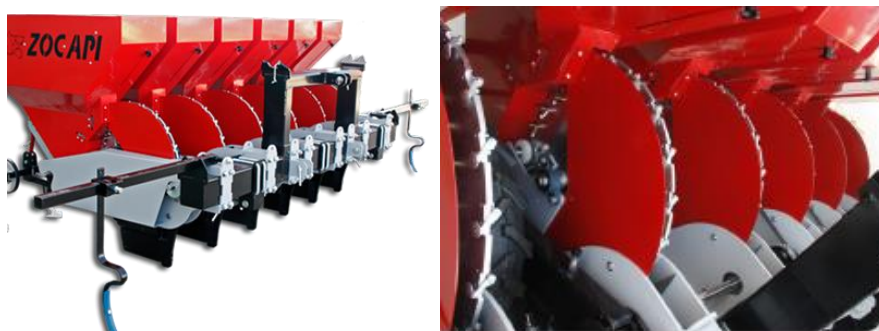


fig. 28. Sembradora automática de pinzas

Sembradora automática con transportador de cangilones y selector neumático: Las plantadoras neumáticas, por lo general de origen francés y español, montan sistemas mecánicos más avanzados. El más corriente es el que dispone de una cadena de pequeños cangilones o pestañas que eleva los dientes desde la tolva, evitando la problemática del machacamiento. Una vez en la parte superior las semillas son seleccionadas y posicionadas en los orificios de un disco manteniéndose adheridas de forma neumática por un sistema de succión accionado por la toma de fuerza.

El tamaño de los agujeros de los platos depende del tamaño y forma de la semilla, ya que agujeros demasiado grandes puede dar lugar a “dobles golpes” y agujeros demasiado pequeños dará lugar a “fallos”. Se requiere de un buen calibrado del diente de ajos. El plato se somete a la acción de una corriente de aire, que crea un vacío parcial a través de los orificios, manteniendo adheridos los dientes durante un cierto recorrido circular donde son seleccionados, espaciados e individualizados, después se descargan a un conducto que los conduce al surco. El giro del plato, y cadena están sincronizados y accionados con el giro de una rueda que gira sobre el terreno, variando la velocidad de estos elementos se logra modificar las distancias entre plantas dentro de la línea, fig. 29.

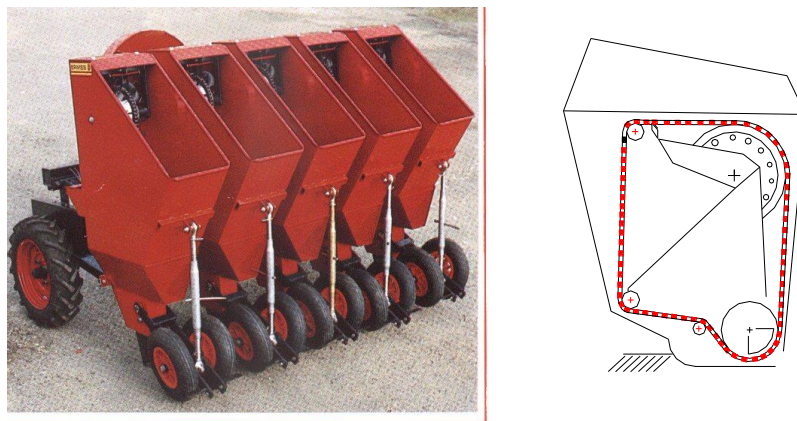


fig. 29 Sembradora Neumática

Con independencia del sistema elevador (cangilones o pestañas), los orificios de succión pueden tener sección plana u oblicua. En muchos casos se dispone de un mecanismo de selección, que intenta eliminar los golpes dobles, motivados por una irregular selección preliminar de los dientes de plantación.

Por lo general el sistema de plantación neumático funciona aceptablemente reduciendo gastos de semilla “semillas dobles”; aunque la velocidad de plantación es baja, permitiendo una mayor vigilancia de la operación.

El sistema mecánico de accionamiento, dosificación y posicionamiento no es robusto por lo que exige una cama de plantación en perfectas condiciones, un terreno bastante llano, sin piedras, una regulación cuidadosa y un mantenimiento constante.

Es de gran importancia tener en cuenta que esta máquina se encuentra adaptada a ciertas variedades, por lo que es necesario adecuar los agujeros de los discos a la morfología de la variedad que se desea sembrar.

La problemática de la plantación mecánica del ajo sigue pasando por una investigación exhaustiva sobre sus principales condicionantes (sistemas de selección, separación de semilla y posicionamiento de ésta en el suelo).

Sembradora neumática de precisión con discos de succión: En esta sembradora, el ajo es alimentado en las tolvas superiores y cada tolva cuenta con un dosificador helicoidal bidireccional que alimenta dos unidades de siembra (Serwatowski

y Cabrera, 1996). Las unidades de siembra están formadas por un disco vertical giratorio, la cámara de succión y la tolva de la unidad. La succión es generada por un ventilador turbo accionado por la toma de fuerza.

Los discos tienen orificios con chaflán y cerca de cada orificio tiene un pequeño listón radial el cual empuja los ajos hacia el orificio, ayudando así al ajo a adherirse al orificio lo que posibilita una velocidad de operación mayor que en otras sembradoras existentes. Los discos son intercambiables y pueden tener orificios de 6, 9 o 12 mm dependiendo del tamaño de la semilla a sembrar. Se usa un ventilador extra para limpiar los orificios después de que el ajo ha sido soltado, y un ciclón para limpiar el aire succionado, fig. 30.

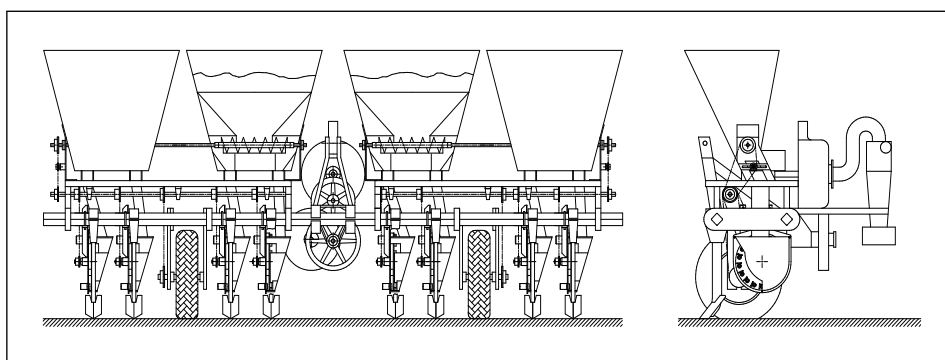


fig. 30. Prototipo de sembradora neumática de precisión

3.3 Marcos de plantación de la siembra mecanizada

El marco de plantación más común en las zonas ajeras españolas es el de 50 cm y 7 cm entre semillas, lo que proporciona una densidad de 200.000 plantas/ha.

La planta de ajo es exigente en iluminación, estudios realizados para optimizar el marco de plantación, han concluido que una distancia entre golpes inferior a 10 cm no es aconsejable.

La plantación en llano es la más frecuente, con independencia del marco. En realidad siempre existe un ligero acaballonado en la fila debido a la labor cultural de enterrado mecánico. La conformación de caballones o bordos en la gran mayoría de los

cultivos se acostumbra para facilitar el paso de agua en el riego rodado como la de ayudar al drenaje de los cultivos.

Con este sistema se evita que el agua llegue a mojar la base de las plantas lo que provocaría problemas sanitarios de importancia. La distancia entre caballones oscila entre 0,5-0,8 m y 0,1-0,15 m entre plantas en dos filas paralelas o a tresbolillo a ambas caras del caballón.

Menos frecuentes son las plantaciones en llano a 0,20-0,30 m entre filas y 0,10-0,15 entre plantas, marco que recuerda al de la cebolla. La densidad es muy elevada, 333.000 plantas/ha, el cultivo debe realizarse en regadío y no son de esperar grandes calibres en los bulbos. La bibliografía más antigua sigue insistiendo en este tipo de marco.

La importancia del tamaño del ajo siempre se debe tener en cuenta dependiendo del tipo de mercado donde se destine. De este modo, se determina si se desean obtener bulbos de gran tamaño (mayor valor comercial) o gran productividad (kg/ha). Por tanto, los marcos tradicionales 0,5 x 0,15 m son los más adecuados para bulbos grandes. Cuando su destino sea el procesamiento industrial (deshidratación, en gran medida) se deben elegir los más densos. En Andalucía (España) se suele utilizar la distancia entre filas de 0,7 m y entre plantas 0,1 m (143.000 plantas/ha), (Thomas G. 2014).

En algunos países la sistematización del terreno es diferente, lo que condiciona el marco de plantación. En los caballones planos, separados a 1m aproximadamente, se disponen dos filas a 30-36 cm con una distancia entre semillas de 0,08-0,10 m.

La Universidad de California a través de sus servicios de extensión agraria, recomienda una distancia entre filas del mismo tipo; sin embargo, dependiendo de la variedad, una distancia entre semillas entre 0,08-0,13 m, parece una densidad demasiado elevada. La bibliografía más moderna en este país recomienda un marco de 0,35-0,50 m entre líneas y 0,10-0,15 m entre semillas. (Gilroy Foods, 2004).

Los nuevos cultivos brasileños del ajo adoptan un marco que varía entre 0,20-0,30 m de distancia entre filas y 0,075-0,10 m entre plantas.

Las explotaciones de riego admiten los marcos densos, siempre y cuando la iluminación sea suficiente, mientras que en temporal impone los largos, en superficies con riego de auxilio, los marcos de plantación intermedios.

Para la elección de los marcos de alta densidad, hay que tener presente que distancias entre líneas menores de 25 cm imposibilitan las labores entre líneas. El control de las malas hierbas deberá realizarse con aplicación de herbicidas.(Ron L. 2014)

La profundidad más adecuada para la plantación de los dientes oscila entre los 4-6 cm. En los suelos más ligeros se puede sembrar a profundidades más grandes, mientras que en suelos arcillosos es preferible sembrar superficialmente. El porcentaje de dientes aptos para la plantación oscila entre el 70-85% siempre y cuando sean partidas seleccionadas cuidadosamente.

EFICIENCIA COMPARADA DE LAS SIEMBRAS
MANUAL Y MECÁNICA
CON DIFERENTES SEMBRADORAS

La calidad de la siembra es fundamental para el buen desarrollo y el rendimiento de la planta. Los elevados costes de producción de la siembra manual, así como la falta de disponibilidad de mano de obra, hacen necesario pensar en soluciones de siembra que pasen por una automatización. En (Gracia López, 1993) se describen detalladamente las operaciones que se realizan en los diferentes sistemas (tradicional y mecanizado), tomando en cuenta las necesidades de personal, tiempos requeridos, maquinarias, funcionamiento de las mismas, y se realiza un estudio económico en plantadoras mecánicas y equipos de recolección. Por otro lado, el ajo es una de las semillas más difíciles para la siembra mecanizada por sus condiciones morfológicas. El objetivo del presente capítulo es poner de manifiesto la necesidad de desarrollar una máquina de siembra automática que mejore los resultados obtenidos por las sembradoras disponibles en el mercado, con esta finalidad a lo largo del capítulo se realizan dos estudios comparativos.

En el apartado 4.1 se diseñan pruebas de campo a fin de comparar el desempeño de la siembra manual frente a la siembra mecanizada. Sobre muestras aleatorias, se registra la posición y la distancia entre las semillas así como la emergencia de la planta. Con estas pruebas se constatan las diferencias significativas existentes entre un método y otro. En el apartado 4.2 se comparan dos tipos diferentes de sembradoras automáticas: mecánica de pinzas y neumática. El estudio se realiza en la provincia de Albacete. Se obtienen resultados muy similares para ambas máquinas, pero en ambos casos con niveles de eficiencia bastante por debajo de los obtenidos con la siembra manual.

4.1 Comparación entre la siembra manual y mecanizada, con el uso de una sembradora a chorrillo en zona de producción de ajo en México.

La siguiente investigación se realizó en México en campos de la compañía Tecniagrícola S. A. de C. V. Se comparó el trabajo realizado por una sembradora mecánica de chorrillo con la siembra manual.

4.1.1 Siembra manual

La siembra manual se realizó en cinco tramos de diez metros, colocando el ajo con el ápice hacia arriba a intervalos de 8 cm y enterrándolo manualmente, fig. 31. Ambas pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones de manejo de cultivo.



fig. 31 Siembra manual realizada a 8 cm entre semillas

4.1.2 Siembra con sembradora mecánica a chorrillo

La siembra con la sembradora mecánica a chorrillo se realizó bajo las mismas condiciones de la siembra manual y las características de la máquina son las siguientes:

- Sembradora tipo chorrillo con dosificador de engrane fig. 32.
- Sistema de enganche al tractor de 1 punto (remolcado)
- Accionamiento con sistema hidráulico al mecanismo de vibración de las tolvas y control de la profundidad (patines).
- Sistema de dosificación tipo engrane accionado con rueda copiadora.
- Plataforma de suministro y transporte de semilla.
- Rejas abridoras y tapadoras para la semilla.



fig. 32 Vista general de la sembradora

4.1.3 Metodología para evaluación de las siembras

La metodología en la evaluación de ambas pruebas, una vez sembrada la semilla y cubierta por un arado cultivador, consistió en la verificación de cinco tramos de 10 metros tomados aleatoriamente en diferentes zonas de las parcelas, descubriendo manualmente las semillas y anotando la posición y distancia entre ellas, fig. 33. Para evaluar la emergencia se regresó a los cuarenta y cinco días para apreciar y contabilizar los brotes. Los esquemas de siembra se igualaron para tener un mismo patrón de siembra y tratamiento a continuación se muestra el seguimiento realizado.



fig. 33 Sembradora automática de chorrillo

4.1.4 Resultados y discusión de las pruebas

De las pruebas de campo de la comparación entre la siembra manual y la siembra realizada con una sembradora automática de chorrillo, sobre la emergencia y desarrollo de las plantas. Se obtuvieron los resultados que se indican en las figuras 34 y 35.

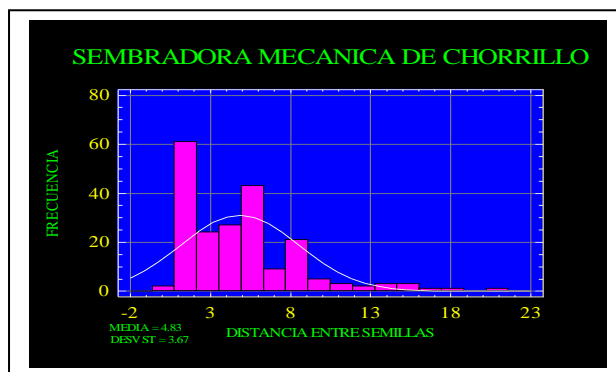


fig. 34. Distancia entre semillas en la siembra mecánica

La sembradora mecánica de chorrillo deja una mayor cantidad de semilla con mucha variación de distancia y una gran cantidad de semillas pegadas entre sí, dificultando la emergencia. La media fue de 4.83 cm y una desviación estándar de 3.67, mientras que en la siembra manual la media fue de 9.3 cm y 2.5 de desviación estándar. La emergencia evaluada resultó en 60% y 95%, respectivamente. fig. 34, 35.

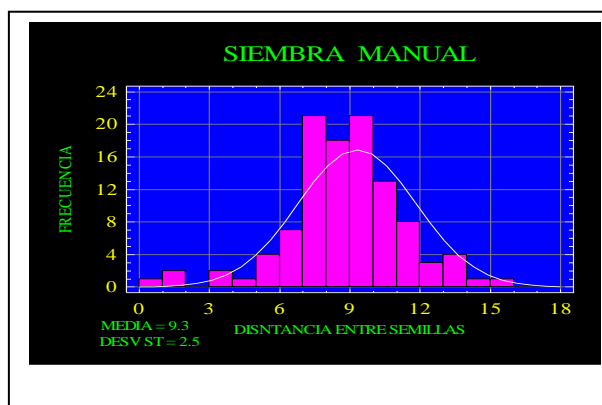


fig. 35. Distancia entre semillas de la siembra manual

Como consecuencia de la variabilidad de la deposición de semillas, la siembra mecánica apenas consigue una emergencia del 60% frente a niveles de emergencia (95%) de la siembra manual. Los resultados de la sembradora de chorrillo distan mucho de los obtenidos por la siembra manual, lo que hace necesario pensar en el desarrollo de

nuevos principios y esquemas a fin de mejorar estos resultados. En la figura 36 se representan las diferencias existentes entre un método y otro en la fase de pleno desarrollo de la planta.

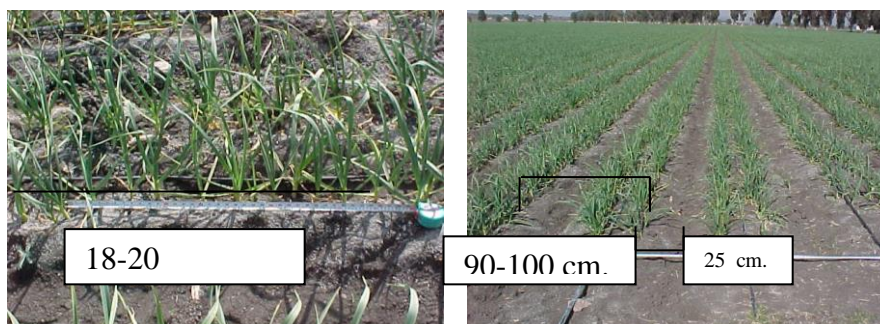


fig. 36. Diferencias entre cultivos de ajo en pleno desarrollo

4.2 Análisis comparado de sembradoras de precisión para ajo: mecánica de pinzas y neumática

4.2.1 Antecedentes

Existe escasa bibliografía que reporte investigaciones sobre el diseño y evaluación de las sembradoras de precisión para ajo. Como se ha mencionado anteriormente el tamaño y forma de la semilla, así como otras características específicas, son requisitos muy exigentes para los dispositivos automáticos de dosificación (separación y entrega), de modo que los diseños empleados para granos han resultado con poco éxito en el caso del ajo.

En las sembradoras mecánicas de pinzas, que toman la semilla individualmente, el porcentaje de fallos y dobles resulta alto. (Calderón Reyes, 2003). Por otro lado, las neumáticas de disco plano vertical, de producción Italiana, probadas en México se caracterizan por un elevado nivel grado de fallos, y desbordamiento de la semilla, a pesar de un dispositivo excéntrico acoplado al disco, para agitar la semilla y controlar el flujo. (Serwatowski, R. y Cabrera S., J.M. 1996). Hasta el momento, sembradoras del

modelo Rockplant, que combinan el factor mecánico (elevador de cangilones) con el neumático (disco parado vertical), no se han difundido entre los productores Mexicanos debido a su elevado número de fallos en las explotaciones de estos productores (Calderón Reyes, 2003).

No obstante, **Cabrera y Serwatowski (1996)** desarrollan una sembradora neumática de precisión con resultados muy aceptables, incluso comparables a los de la siembra manual. La máquina combinaba el factor neumático con el mecánico para individualizar la deposición de la semilla. El prototipo encontró problemas prácticos al no asegurar la hermeticidad de las cámaras de succión y la generación de vacío suficiente en algunas fases del trabajo.

4.2.2 Estudio realizado en zona de producción de ajo en España

La investigación se llevó a cabo en campos de la compañía “JESUS REQUENA Y C.I.A. S.A.”, en la localidad de Barrax de la provincia de Albacete, España; se comparó el trabajo realizado por una sembradora mecánica de pinzas y una sembradora neumática de disco, trabajando ambas máquinas en las mismas condiciones. La finca cuenta con una superficie de siembra de 105 ha. Se seleccionó una área de trabajo para cada máquina, las máquinas realizaban la siembra continua en una tabla que cuenta con un sistema de aspersión fijo, formando una cuadrícula (18 X 20.6 m) con dirección al lado recto en toda la tabla, con lo que se puede realizar una separación e identificación de zonas.

4.2.2.1 Caracterización de los tipos de semillas

Se realizaron tomas de varias muestras de diferentes cajas de cada uno de los tipos de semilla (tamaño 1, 2, 3, 4), para determinar el número de semillas/kg, su densidad y dimensiones. Los resultados se presentan a continuación, Tabla 10 Y Tabla 11.

Tabla 10 Características de la semilla empleada

Tipo de semilla	Densidad	Número se semillas /kg
1	0,487	267
2	0,506	189
3	0,524	161
4	0,485	85

Tabla 11 Características promedio de ajo americano blanco.

Características promedio del ajo Blanco americano

Tipo	Peso(g)	Dimensiones (cm)		
		Longitud	Transversal	Grosor
1	3,14	3,27	1,83	1,27
2	5,52	3,23	2,32	1,51
3	6,52	3,21	2,35	1,75
4	9,84	3,36	2,96	1,94

4.2.2.2 Descripción de la sembradora automática de pinzas, fig. 37



fig. 37 Sembradora automática de pinzas

- Sembradora automática de 5 líneas marca Erme (Española).
- Dispositivo dosificador: plato con 16 pinzas, fig. 38
- Enganche de tres puntos para su arrastre y levantamiento.
- Tolva con capacidad de 40 kg.
- Distancia mínima entre filas de 35 cm.
- Velocidad nominal de trabajo de 2.5 km/h (0.7 m/s).

La máquina cuenta con dos ruedas (neumáticos) de accionamiento, de 3 a 5 unidades de siembra, cada una con su reja, chasis, plato con 16 pinzas y tolva con agitador.

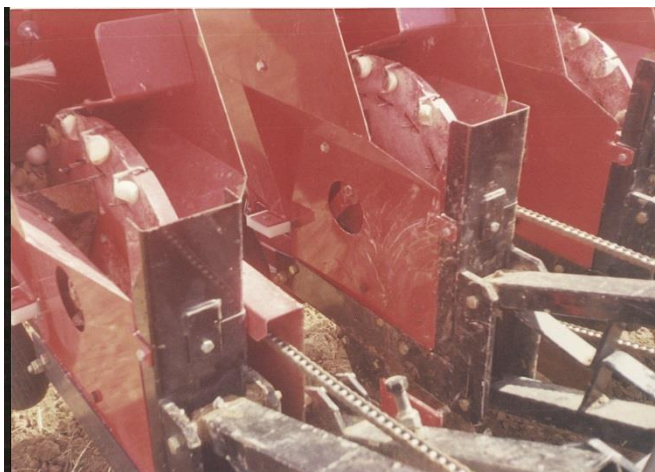


fig. 38 Unidades de siembra y su sistema de accionamiento

4.2.2.3 Descripción de la sembradora automática neumática fig. 39



fig. 39 Sembradora neumática

- Sembradora neumática de 5 líneas marca Erme.
- Dispositivo dosificador: disco vertical de acero con orificios.
- Accionamiento de la turbina mediante toma de fuerza
- Enganche de tres puntos para su arrastre y levantamiento.
- Accionamiento de los mecanismos mediante una rueda de arrastre.
- Tolva con capacidad de 50 kg.
- Distancia mínima entre filas de 43 a 50 cm.
- Velocidad nominal de trabajo de 4 km/h (1.1 m/s).

La máquina está constituida por una barra porta-herramienta con 3 a 5 unidades de siembra, una turbina y dos ruedas de accionamiento. Cada unidad se acopla por medio de un paralelogramo. Los discos pueden tener orificios de diferentes diámetros, Tabla 10 según el tamaño y tipo de ajo a sembrar, de acuerdo a las indicaciones del fabricante, fig.40 y fig. 41

Tabla 12, Características del disco.

Tipo de ajo	Diámetro del orificio (mm)
1	8
2	10
3	12
4	14

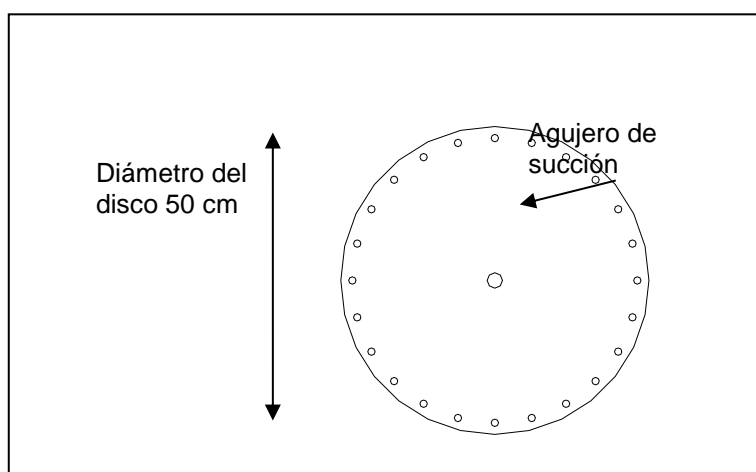


fig. 40 Sembradora neumática (Disco de succión)

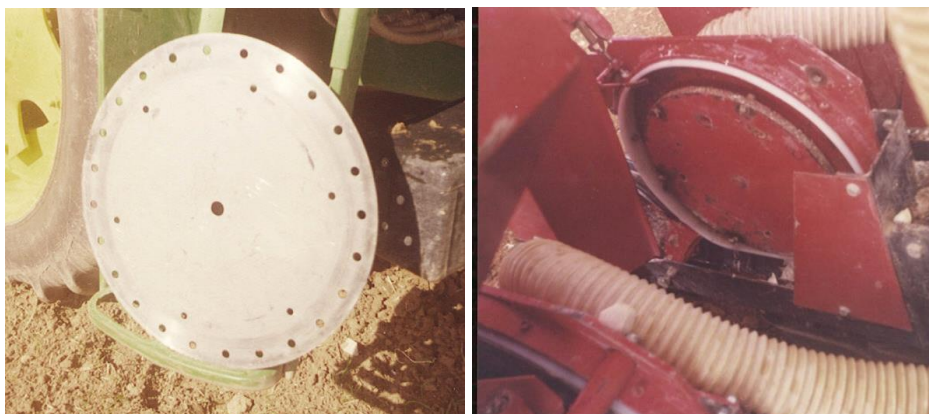


fig. 41 Disco de acero de 2 mm de espesor y cámara de succión

4.2.3 Condiciones de trabajo con ambas máquinas

➤ Sembradora mecánica de pinzas

- Velocidad de trabajo durante la prueba: 0.5 m/s
- Distancia entre cuerpos 48 cm
- Recarga constante de la tolva sin dejar que se vacíe
- Supervisión continua por si existen fallas o atascos

➤ Sembradora neumática

- Velocidad de trabajo durante la prueba: 0.7 m/s
- Distancia entre cuerpos 48 cm
- Recarga constante de la tolva sin dejar que se vacíe
- Supervisión continua por si existen fallas o atascos, cambio de discos en caso de obstrucción o que se llenen de mielecilla
- Aplicación de talco para que no se peguen los ajos y que la cascarilla no se quede adherida a los orificios debido a la mielecilla del ajo; (200 g / 50 kg), se puede agregar más cantidad de talco dependiendo de las condiciones de humedad del ajo, fig. 42y fig. 43



fig. 42 Colocación de talco en los platos para evitar el atasco en los orificios



fig. 43 Limpieza de los discos



fig. 44 Limpieza del mecanismo de agitación

Ambas máquinas presentaban los mismos intervalos de tiempo para realizar las vueltas y la carga de la tolva (el llenado) se hacía a mitad de la tabla durante la marcha sin detenerse, por lo que sólo se recargaba de cajas en cada extremo de la tabla y se realizaba sólo un llenado de las tolvas a la mitad.

Los atascos en la sembradora neumática eran más frecuentes que en la mecánica, debido a la obturación de los orificios con cascarillas y el atascamiento del sistema de agitación, fig. 44

➤ La capacidad de trabajo real y teórica se presenta a continuación:

- Sembradora mecánica:

Capacidad teórica de trabajo: 0.42 ha/h

Capacidad de trabajo real determinada: 0.26 ha/h

- Sembradora neumática:

Capacidad teórica de trabajo: 0,59 ha/h

Capacidad de trabajo real determinada: 0,29 ha/h

4.2.4. Metodología para la evaluación

En cada una de las máquinas se registraron tres variables (distancia, posición y emergencia); estos datos fueron tomados de cada una de las semillas depositadas en el suelo por las máquinas, en cincuenta metros de trabajo. Hay que considerar que como existe una diferencia de la cantidad de semillas depositadas por ambas máquinas en esta distancia (mecánica - 500 y neumática - 550), para poder analizar las variables: posición y emergencia para ambas máquinas, se realizaron los análisis estadísticos, considerando una comparación entre ellas mediante los porcentajes de semillas de cada variable. La comparación de acuerdo a la distancia, se realiza mediante análisis estadísticos de los

datos de la distancia entre una semilla y otra. Esto se resume a continuación en forma de tablas y gráficos.

La primera operación consistió en realizar las labores de preparación de la tierra por lo que se realizó un subsolado a 30 cm, seguido de dos pasos de grada de disco cruzados y aplicándose un abonado de 100 kg de superfosfato de calcio por hectárea. Posteriormente se realizó una nivelación y afinado de la superficie e inició la siembra. Una vez tomadas las mediciones de la velocidad de trabajo de la máquina y después de haber realizado la siembra se seleccionaron al azar cinco tramos de 10 m, para cada máquina. Se descubrió la semilla manualmente, teniendo cuidado de no alterar su posición y se midieron las distancias, las profundidades y se observaron las posiciones de los dientes, fig. 45 estos datos se anotaban Tabla 13, siguiendo un criterio de números del 1 al 4 para identificar la posición.



fig. 45 Posición de las semillas una vez que han sido sembradas y tapadas

Tabla 13, Posiciones de la semilla en el suelo.

Descripción de la posición	Número asignado
Posición con el ápice hacia arriba	1
Posición con el ápice hacia abajo	2
Posición cóncava hacia arriba	3
Posición cóncava hacia abajo	4

Después de la siembra se realizó una aplicación de 400 kg/ha de nitrosulfato de amonio y un mes después se aplicaron otros 200 kg/ha así como aplicaciones contra plagas y malezas de Mancozol y Cobre de 2 kg/ha (preventivo) y herbicida de hoja estrecha. Los riegos se realizan semanalmente con láminas de aplicación variada; los tratamientos contra plagas y malezas fueron realizados con maquinaria de aspersión, con lo que se han obtenido buenos resultados en un buen desarrollo de las plantas.

Una vez que se realizaron las diferentes labores de cultivo se procedió a realizar una segunda visita después de tres meses, para muestrear la zona antes seleccionada y marcada, midiendo nuevamente y revisando cuales plantas habían emergido y cuáles no. Junto con ello se realizó un conteo de las plantas en toda la zona marcada, para conocer el número de plantas por hectárea sembradas, identificando las semillas que han emergido o no según el criterio siguiente Tabla 14.

Tabla 14, Criterio de evaluación de la posición.

Característica	Número asignado
Si emerge la planta	1
No emerge la planta	2

- Se diseña y construye un banco de pruebas, que permita evaluar el trabajo de los prototipos de los dispositivos de siembra, en condiciones de laboratorio.
- A partir de los conceptos originales, se crea, verifica y optimiza de manera experimental, un prototipo del dispositivo dosificador de ajo, que combina varios factores utilizados en esta clase de máquinas, para lograr un desempeño satisfactorio.

4.2.5 Resultados y discusión

En las fig. 46 y 47 se muestran los resultados del trabajo de ambas máquinas. Se puede observar que la calidad del trabajo resulta ser parecida, pero teniendo en cuenta

que ambas máquinas estaban calibradas para colocar las semillas a 7 cm (714 semillas en 50 m), las dos están fuera del rango deseado, teniendo una gran cantidad de fallos y colocando la semilla sin mucha precisión.

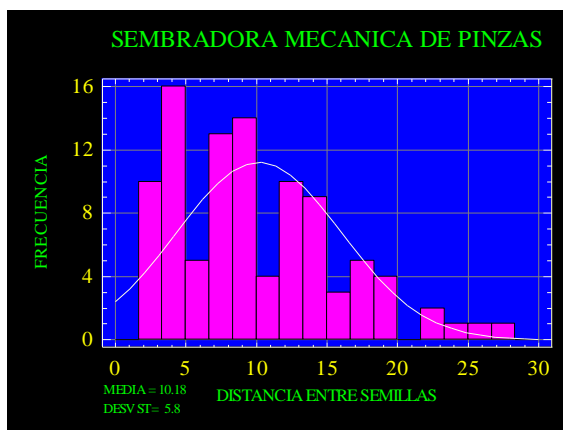


fig. 46 Desempeño de la sembradora mecánica

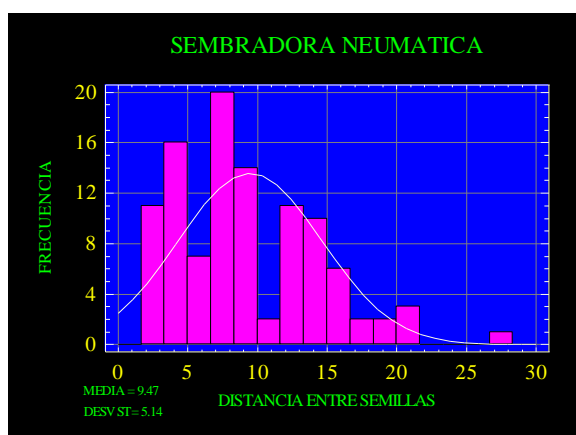


fig. 47 Desempeño de la sembradora neumática

Para una distancia calibrada de 7 cm, la sembradora mecánica logró la deposición de semilla con una separación promedio de 9,98 cm y una desviación estándar de 5,8, mientras que con la neumática se obtuvo 9,07 y 5,14, respectivamente.

➤ Posición y Emergencia

En las Tablas 13 y 14 se observa el número y porcentaje de semillas que se encontraron en las posiciones indicadas, y en la tabla 3 se observan los resultados de

emergencia de las mismas semillas. De acuerdo a los resultados obtenidos de posición y emergencia, se observa una similitud de ambas máquinas, al dejar las semillas en ciertas posiciones y la cantidad de plantas obtenidas.

Tabla 15. Número de semillas depositadas en cincuenta metros

N°	EMERGENCIA		POSICIÓN				TOTAL
	SI	NO	Ápice arriba	Ápice abajo	Cóncavo arriba	Cóncavo abajo	
MECÁNICA	365	136	185	105	138	73	501
NEUMÁTICA	411	140	171	114	176	90	551

Tabla 16. Porcentaje de semillas depositadas en cincuenta metros

%	EMERGENCIA		POSICIÓN			
	SI	NO	Ápice arriba	Ápice abajo	Cóncavo arriba	Cóncavo abajo
MECÁNICA	72,85	27,15	36,93	20,96	27,54	14,57
NEUMÁTICA	74,59	25,41	31,03	20,69	31,94	16,33

Tabla 17. Porcentaje de plantas que han emergido en cada posición

%	POSICIÓN							
	Apice arriba		Apice abajo		Cóncavo arriba		Cóncavo abajo	
	Plantas	%	Plantas	%	Plantas	%	Plantas	%
MECÁNICA	181	97,84	5	4,76	114	82,61	65	89,04
NEUMÁTICA	168	98,25	3	2,63	157	89,20	83	92,22

Existen algunos factores que afectan la posición final en que queda la semilla en el suelo siendo estos:

- La caída libre desde el dosificador hasta el suelo
- Tamaño de los fragmentos del suelo
- El movimiento de la tierra al ser cubierta la semilla

En las fig. 48 y 49 se observa que ambas máquinas se comportan muy parecido con la tendencia de dejar la semilla en cierta posición en el suelo, pero al observar la emergencia en cada posición, podemos decir que la mejor posición de semilla para obtener buenos resultados en la cosecha son: ápice hacia arriba, seguido de cóncavo hacia abajo y cóncavo hacia arriba, siendo la menos deseada la posición con el ápice hacia abajo.

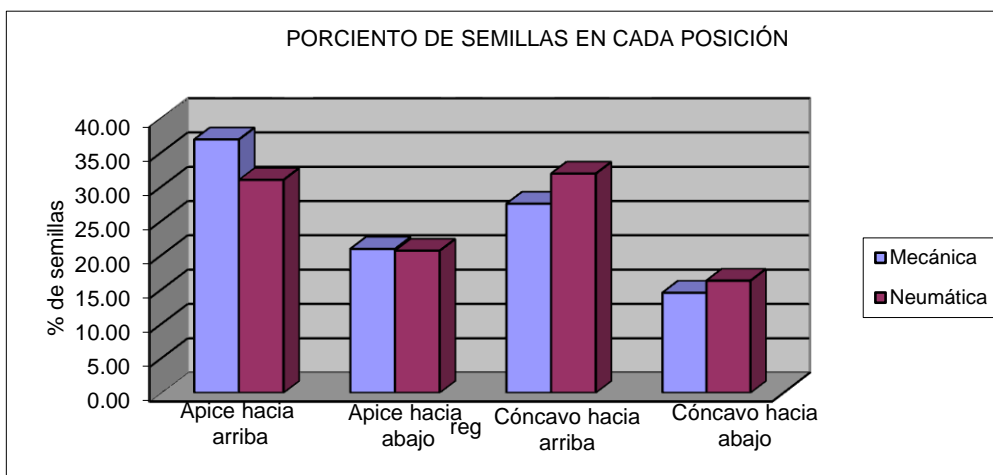


fig. 48. Porcentaje de semillas dejadas en cada posición

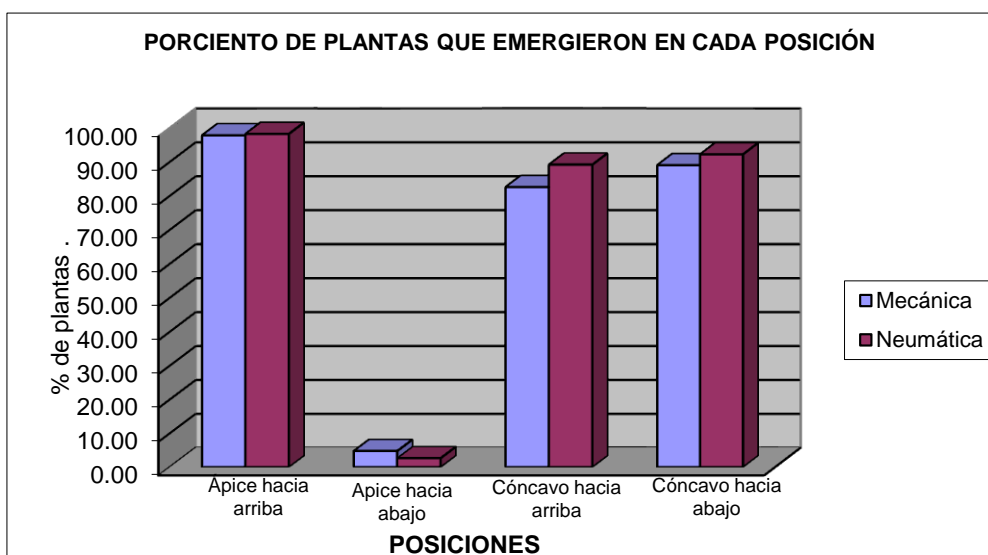


fig. 49 Porcentaje de plantas que han emergido en cada posición

Algunas observaciones realizadas del desarrollo de la planta en cada posición se muestran en la figura 50, donde se ve el desarrollo y formas que toma la planta para poder emerger, y en algunos casos presenta deformaciones del bulbo. Estas malformaciones pueden afectar la calidad y la presentación para el mercado. Este criterio indica la necesidad de evitar las posiciones 2 y 4, aunque en la última la germinación resultó aceptable y hasta ligeramente mejor que en la posición 3.



fig. 50 Desarrollo de las plantas según la posición de la semilla

De acuerdo a la forma de la semilla y el comportamiento de esta en una superficie plana, éstas tienden a quedar en la posición de cóncavo hacia arriba y recostada sobre una cara fig. 50. Esto no se comprueba por completo en la cama de siembra real. Considerando, que la dificultad para colocar directamente la semilla en una posición requeriría de sistemas muy complicados (automatismos y visión artificial), de costo difícilmente justificable, se deben buscar dispositivos sencillos que puedan colocar la semilla hacia una posición siguiendo la siguiente prioridad: ápice hacia arriba, cóncavo hacia arriba y cóncavo hacia abajo, evitando la menos deseada, que es la posición con el ápice hacia abajo.

Durante la prueba se pudo observar que en la sembradora neumática se presentaban más continuamente obstrucciones de los orificios del disco selector, debido a la cascarilla que se desprendía de los ajos “túnica”, y en algunos casos era necesario detener la máquina y cambiar los discos debido a adherencias de pequeñas cáscaras y talco en los orificios. De acuerdo a la bibliografía y los datos proporcionados por los fabricantes, las sembradoras neumáticas requieren de mayor potencia para su accionamiento comparado con las mecánicas, debido a la necesidad de propulsar la turbina para generar el vacío.

Ambas máquinas logran niveles de eficiencia inferiores a la siembra manual, especialmente en lo que se refiere a equidistancia de las semillas. No obstante, la sembradora neumática realiza una labor de siembra ligeramente mejor que la mecánica, aunque exige mayor potencia y es más cara. En cualquier caso, estos resultados indican la necesidad de buscar conceptos nuevos que mejoren los resultados de la siembra mecánica de precisión, probablemente en la línea de Cabrera y Serwatowski (1996).

BANCO DE PRUEBAS PARA SEMBRADORAS

5.1 Características de un banco de pruebas

Un banco de pruebas para sembradoras comerciales debe contar con las características, que le permitan reproducir los parámetros de trabajo del dispositivo probado, indicados por el fabricante, con el fin de verificar la distancia y uniformidad de distribución de la semilla, de acuerdo a los ajustes establecidos y en condiciones similares a las reales de campo, evaluar el daño mecánico ocasionado a la semilla y otras características de operación, indicadas por las normas respectivas, vigentes en algunos países en el mundo.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias de México (INIFAP) puso en marcha el Organismo de Certificación de Implementos y Maquinaria Agrícola (OCIMA). Fue creado para certificar la calidad de la maquinaria y equipo agrícola, con el objetivo de respaldar al agricultor y avalar que se cumple con las normas mexicanas (NMX) y las especificaciones necesarias para garantizar el buen desempeño de su equipo. Pues bien, una de sus primeras normas ha sido la 001/04/SEM/OCIMA que contiene el esquema específico de certificación de sembradoras neumáticas y mecánicas con dosificador de discos.

Asimismo, en los ensayos de la organización alemana DLG para sembradoras, la fiabilidad cuantitativa en superficie plana se determina tanto en el banco de pruebas como en la aplicación práctica. Por ejemplo, Informe de ensayo 5427F de 2008 (DLG, 2008).

También, cabe citar al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA) donde se realizan trabajos de ensayo de sembradoras de precisión con distribuidor neumático para semillas de maíz y de girasol, recurriendo y tratando ampliamente el uso y caracterización de bancos de pruebas, al tiempo que ensayos en pista: Informe Técnico de siembra n° 1, INTA de Castelar (Tesouro, 2009)

Un tipo de banco donde el equipo permanece acoplado a tractor durante la prueba es el utilizado en el trabajo “Prueba de dosificación de la sembradora V-20 con semilla de amaranto” (Mayans, 2009) realizado en México, en el Centro Nacional de

Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), utilizándose la Norma Mexicana: “Método de evaluación de sembradoras y/o fertilizadoras de tracción mecánica con dosificador de disco” y la Norma Cubana 34-50 “Sembradora de granos, metodología para la realización de las pruebas”

En concreto, la Norma ISO 7256/1, relativa a “Equipamiento de siembra – Métodos de ensayo Parte 1: Sembradoras monograno (sembradoras de precisión)” indica la necesidad por parte del fabricante de someter su equipo a unas pruebas obligatorias relacionadas con la precisión de la siembra de semillas y la eficiencia de la dosificación

En esta Norma ISO se considera la existencia de **ensayos estáticos y dinámicos** pero siempre en condiciones simuladas, medibles y comparables.

En los ensayos estáticos la unidad sembradora está estacionada, como será nuestro caso, el mecanismo dosificador debe ser conducido a una velocidad de rotación igual a aquella a la que debería trabajar (por ejemplo tomando en cuenta la velocidad teórica de avance y el ajuste de la relación entre el dosificador y la velocidad de la rueda conductora). Y a los efectos de simular el movimiento de la sembradora sobre el terreno, se coloca una banda adhesiva por debajo de la sembradora que se mueve a la velocidad de avance de la sembradora cuando la misma se desliza sin deslizamiento

En los ensayos dinámicos la unidad sembradora debe ser fijada a un carro que se desliza moviéndose a una velocidad constante y sin sacudidas sobre una cinta adhesiva fija, o en otras circunstancias sobre una cama de arena. La cuchilla penetraría la arena a una profundidad al menos similar a la mínima profundidad de trabajo

Obviamente los bancos de pruebas para ensayo de sembradoras son estacionarios, situados a cubierto generalmente, y alejados de las condiciones reales que a pleno campo y sobre el terreno de asiento se dan (viento, accidentes topográficos, superficie del terreno, etc..). Su ventaja es disminuir la aleatoriedad de los ensayos permiten un control más riguroso sobre los factores implicados en la siembra: velocidad operativa,

tipo de dosificador, efectos dinámicos, etc.. Por ello, se acude a estos bancos de pruebas para establecer evaluaciones cualitativas de tipos y modelos de sembradoras en fase de experimentación e incluso ya disponibles en el mercado

En definitiva, el movimiento principal que debe simularse, es el movimiento relativo entre el dispositivo de siembra y el terreno. Esto puede lograrse desplazando la unidad de siembra mediante una estructura-guía (ensayo dinámico), o mantenerla fija, haciendo correr una banda sinfín debajo de ella (ensayo estático).

La segunda opción es la más común, debido a su mayor sencillez. Es por la que se ha optado en este trabajo.

El diseño del banco, que utiliza este principio, debe incluir los siguientes componentes:

- Una estructura (marco) que soporta todos los componentes, tanto de la unidad de siembra examinada, como los propios, incluyendo los sistemas de accionamiento.
- Una banda sinfín, accionada y tensada por medio de dos rodillos y soportada con rodillos o superficie de baja fricción. Su ancho debe corresponder a la cama de siembra, su longitud debe ser suficiente para evaluar un tramo “sembrado” con un número de semillas estadísticamente requerido, normalmente entre 2 y 4 m. Su sistema de accionamiento debe permitir el avance con velocidad constante ajustada dentro del intervalo común utilizado en la siembra (entre 0.5 y 2.0 m/s).
- Un dispositivo de suspensión de la unidad de siembra. Su función es soportar el cuerpo de la unidad de siembra, con posibilidad de realizar los siguientes movimientos y ajustes:
 - Accionar el elemento principal del dosificador de semilla (disco, plato, rodillo, cadena con cangilones, etc.) y todos los elementos móviles

adicionales (agitadores, eliminadores de exceso de semilla), de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

- Simular las condiciones reales de campo, generando sacudidas del cuerpo examinado, de frecuencia y amplitud variable.
 - Ajustar la altura de caída de semilla, variando la distancia vertical entre la banda y la unidad de siembra.
- Una fuente (generador) de vacío y presión, en caso de examinar sembradoras neumáticas. Sus parámetros deben ser ajustables, para corresponder a los indicados por el fabricante.

5.2 Diseño y construcción del banco de pruebas utilizado para la sembradora de ajo

Un banco diseñado para fines de investigación en el proceso de desarrollo de un concepto original de un dispositivo de siembra de precisión del ajo, debe contar con los componentes antes mencionados y permitir los ajustes requeridos en sus intervalos respectivos. A continuación se presentan vistas generales del banco y fotos del banco construido fig. 51, fig. 52 y fig. 53.

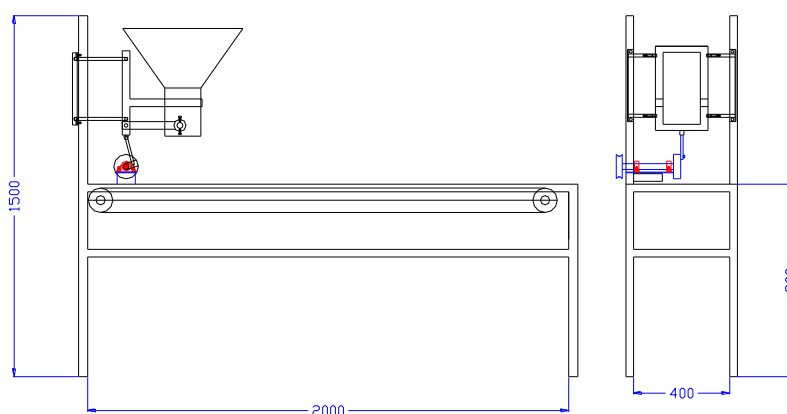


fig. 51 Vistas generales de la estructura del banco.

El accionamiento de los dispositivos y mecanismos del banco se realiza en forma combinada. El desplazamiento de la banda sinfín se logra mediante un motor hidráulico de baja velocidad. Del mismo modo está accionado el mecanismo de leva,

mediante la cual se generan las sacudidas periódicas de la estructura de suspensión o soporte (estructura de soporte en paralelogramo) de la unidad de siembra.

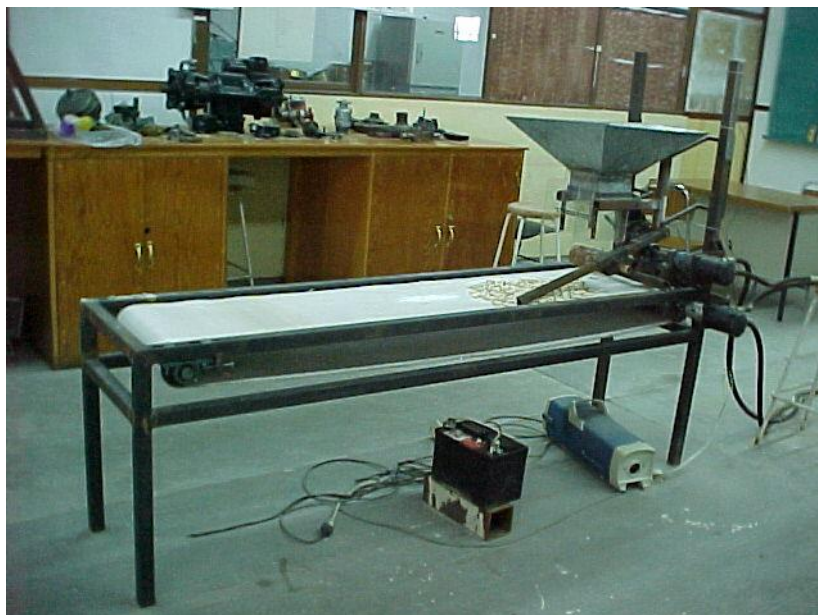


fig. 52 Vista lateral del banco de pruebas

Ambos motores hidráulicos están conectados a una unidad de potencia hidráulica, con posibilidad de variar su velocidad de manera independiente en un amplio rango, mediante válvulas reguladoras de flujo con compensación de presión. Los demás movimientos se accionan con motores eléctricos con dispositivos que permiten la variación de velocidad.



fig. 53 Vista frontal del banco con la unidad de accionamiento hidráulico

El banco está diseñado para poder analizar el efecto y correlación de diversos factores o variables, del proceso de singularización de semilla de ajo, como manera de controlar el flujo desde la tolva. Estos son: velocidad del elemento dosificador; uso y forma de los agitadores de semilla (dedos o vibración); tamaño, forma y orientación de las cavidades; uso y nivel del vacío, colocación, forma y parámetro de los eliminadores de exceso de semilla; limpieza forzada de los orificios; frecuencia y magnitud de las sacudidas. Así mismo, se ha tenido en cuenta poder operar con los valores absolutos y relativos de todas estas variables.

Los instrumentos utilizados para las mediciones de los parámetros han sido básicamente: cronómetro, tacómetro digital, cinta métrica, vacuómetro, acelerómetro y pie de rey fig. 54.



fig. 54 Instrumentos para realizar las Pruebas.

Los datos constructivos del banco para el ensayo del cuerpo de sembradora neumática de ajo diseñada, son:

1. Estructura: dimensiones de barras de 25 cm de longitud y 30 cm de altura, como se muestra en la imagen. fig. 51
2. Banda sinfín: largo 2m; ancho 0.4m; tipo de superficie banda de lona con revestimiento de caucho; rango de velocidades 0.5 m/s a 1 m/s. fig 51.

3. Tolva: Troncopiramidal con capacidad para 7kg de semilla; ajuste entre la altura del cuerpo y banda sinfín de 10 cm a 30cm con lo que la distancia de caída de la semilla quedará regulada entre 20 cm y 25cm.
4. Paralelogramo articulado generador de sacudidas mediante leva o excéntrica: ajuste de la amplitud de las sacudidas 0-4 mm; rango de frecuencias de las sacudidas
5. Unidad de potencia y circuito hidráulicos:
 - Bomba de 16 l/min (caudal unitario de $22 \text{ cm}^3/\text{rev}$) accionada por motor de 3 hp, a 1700 rpm con transmisión de catarinas y cadenas con acoplamiento flexible, en circuito abierto con tanque de almacenaje de 100 l.
 - Motor hidráulico para accionamiento de banda sinfín, de tipo rotor, con 59 cm^3 .
 - Motor hidráulico para accionamiento de mecanismo sacudidor (excéntrica), tipo engranes marca Haldex 4F652^a, de 3.179 cm^3 , con un consumo de 4.8 l/min
 - Válvulas reguladoras de caudal PCM600S de 0-23 lpm, (gasto min de 2 lpm).
 - Circuito hidráulico del sistema. fig. 55

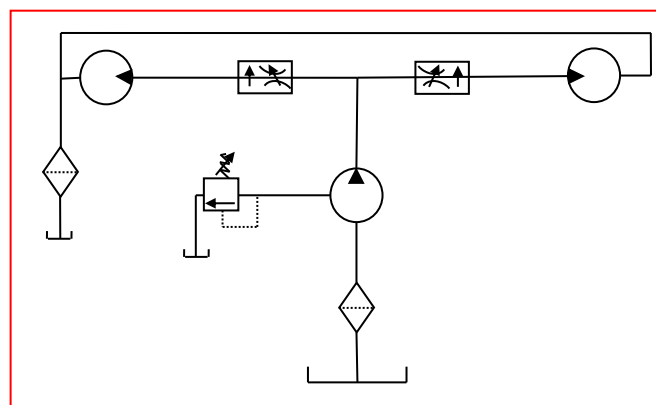


fig. 55 Circuito hidráulico del sistema.

6. Generador de vacío: Bomba aspiradora con motor de 3.5 Hp con un máximo de vacío de 89.7 hPa en aspiración dinámica y 102 hPa en aspiración estática.
7. Generador de presión: Bomba aspiradora con motor de 1.5 Hp con un máximo de presión de 51.2 hPa en soplado. Con la finalidad de expulsar y soplar las tunicas de ajo de la zona de presión del disco.
8. Fuente regulable voltaje, 1,0Kva, 50Hz, ent. 110-220V, Sal.0-125-250 Vac, para accionamiento de motores de escobillas eléctricos (motor eléctrico), motor acoplado al disco de siembra para tener un buen control de la velocidad del disco. fig. 56



fig. 56 Fuente regulable voltaje

5.3 Detalles de los mecanismos de control de variables que integran el banco de prueba.



fig. 57 Banco ensamblado para realizar las Pruebas.

En la fig. 57, se aprecia la estructura, dispositivo de singularización de semilla, banda corrediza con cinta adhesiva, unidades generadoras de vacío y presión, sistemas de accionamiento, mangueras, válvulas y conexiones hidráulicas. En el fondo se ve el banco hidráulico, empleado para el accionamiento de algunos mecanismos del banco de pruebas.



fig. 58 Vista posterior del banco

Vista posterior del banco fig. 58. Se aprecia la unidad de singularización de semilla y su mecanismo de accionamiento, la tolva y el conducto de presión, cuya función es la de limpiar los conductos, eliminando por soplado los posibles restos de las cáscaras (túnicas) del ajo, adheridas a los orificios en los discos.



fig. 59 Vista lateral del banco de Pruebas.

Vista lateral del extremo del banco con la unidad examinada fig. 59. Se aprecia el sistema hidráulico de accionamiento de la leva, generadora de vibraciones del fondo de la tolva, así como el dispositivo eléctrico (variador de voltaje) para variar la velocidad de rotación del disco semillero, accionado por un motor eléctrico.



fig. 60 Vista del dispositivo individualizador

El primer objetivo fue desarrollar un sistema de singularización, que asegure un número aceptable de fallos y dobles. La foto muestra el proceso de separación y entrega de semillas por adherencia a los orificios con vacío. fig. 60 y 61.

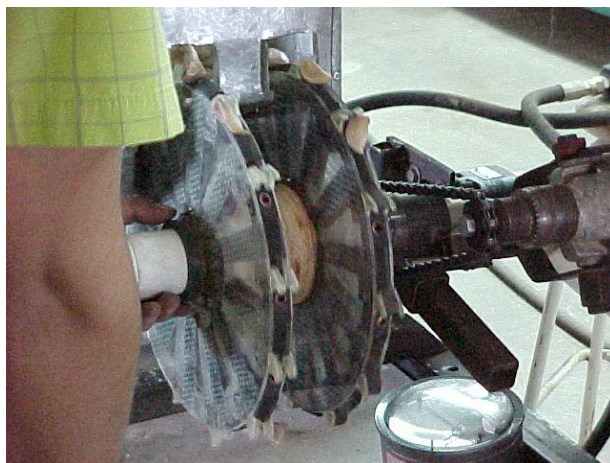


fig. 61 Vista del dispositivo en funcionamiento

Este sistema pretende el conteo y simulación controlada de las variables a estudio. fig. 62.



fig. 62 Vista del dispositivo

El sistema de descarga y conducción de semillas fig. 62. Es una estructura para recolección y descarga de semilla desde el disco hasta la banda transportadora. Mediante este sistema de mecanismos la semilla se descargada sobre la banda en desplazamiento sincronizado con las revoluciones de los discos, usándose para evitar el movimiento de las semillas sobre la banda transportadora pegándose los ajos a lo largo de un tramo de 1 metro de la banda adhesiva, pegada a la banda transportadora. El objetivo de estos sistemas es de lograr una deposición correcta de semilla, en cuanto a la cantidad y uniformidad. fig. 63 y 64.



fig. 63 Mecanismo oscilador (leva, motor) y tolva de descarga de semilla

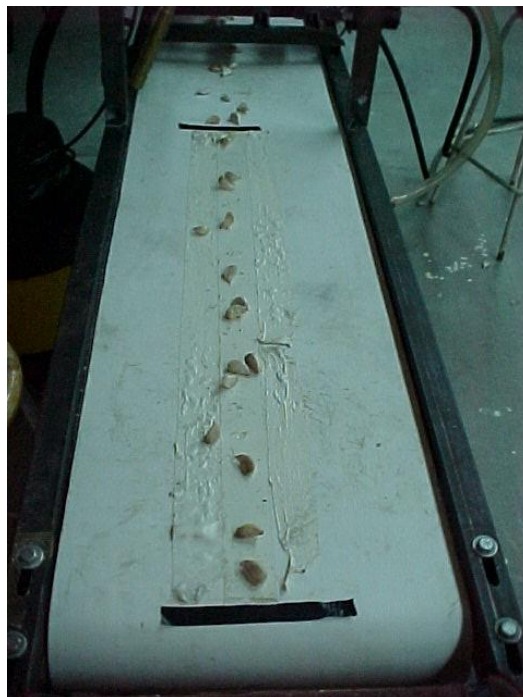


fig. 64 Cinta adhesiva en banda transportadora

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DOSIFICADOR
DE SIEMBRA DE PRECISIÓN

El presente capítulo aborda la construcción de un prototipo que permita una dosificación del ajo lo más eficiente posible (cantidad y distribución). La construcción de éste se ha efectuado combinando diferentes factores de diseño habitualmente utilizados en este tipo de máquinas.

A lo largo del capítulo se han realizado estudios experimentales, para analizar, en cada caso, y en condiciones de laboratorio, los efectos de las características de diseño sobre la eficiencia en la dosificación.

En el apartado 6.1, se realizan unas pruebas preliminares sobre un dispositivo basado en un rodillo de orificios periféricos con suministro de vacío a través de su eje interior. Se observa gran sensibilidad de este dispositivo a los parámetros de diseño-nivel de succión, velocidad del rodillo, abertura de la compuerta, lo que acarrearía problemas prácticos en el ajuste de las dosis de siembra.

Por este motivo, en el apartado 6.2, se plantea un nuevo diseño del órgano dosificador basado en disco plano, simple o doble, probando con diferentes diámetros.

En el apartado 6.3 se implementa el Diseño experimental para las pruebas de dispositivos dosificadores de disco, definitivamente considerados en el prototipo de sembradora objeto de la tesis. Se describen las técnicas cuyo soporte estadístico es el Análisis de la Varianza (ANOVA). Se analiza el impacto de los parámetros de diseño sobre la cantidad de semillas depositadas, los fallos observados, el número de dobles en tres prototipos dosificadores de disco distintos (de 5,5", de 10" y de 2*10"). Se utilizan los diseños factoriales (Box, Hunter y Hunter, 2005) 2^{k-p} y factoriales completos.

En el apartado 6.4 se estudia finalmente la uniformidad de la distribución de las semillas depositadas y se analiza la sensibilidad de ésta a pequeños cambios de diseño.

6.1 Dispositivo dosificador tipo rodillo

6.1.1 Construcción del dispositivo

Las conclusiones del análisis bibliográfico y los resultados de las investigaciones y experiencias propias han conducido a la propuesta de un concepto de una unidad de

dosificación de semilla, que combina los elementos del dispositivo mecánico y neumático, puesto que los mejores resultados reportados se han logrado precisamente con esta clase de diseño (Serwatowski y Cabrera, 1996). Sin embargo, para evitar algunos problemas que se presentaron con el desarrollo mencionado, relacionados principalmente con las fugas del vacío, esta vez se propone un sistema diferente, basado en el principio del rodillo con suministro del vacío a través del eje, mediante conductos radiales individuales y no de disco, que sella la cámara de vacío con su superficie lateral. En la fig. 65 se presenta esquemáticamente dicho rodillo con el tubo interior de bronce, que sirve tanto como el eje-soporte para el rodillo, como el conducto de vacío y presión.

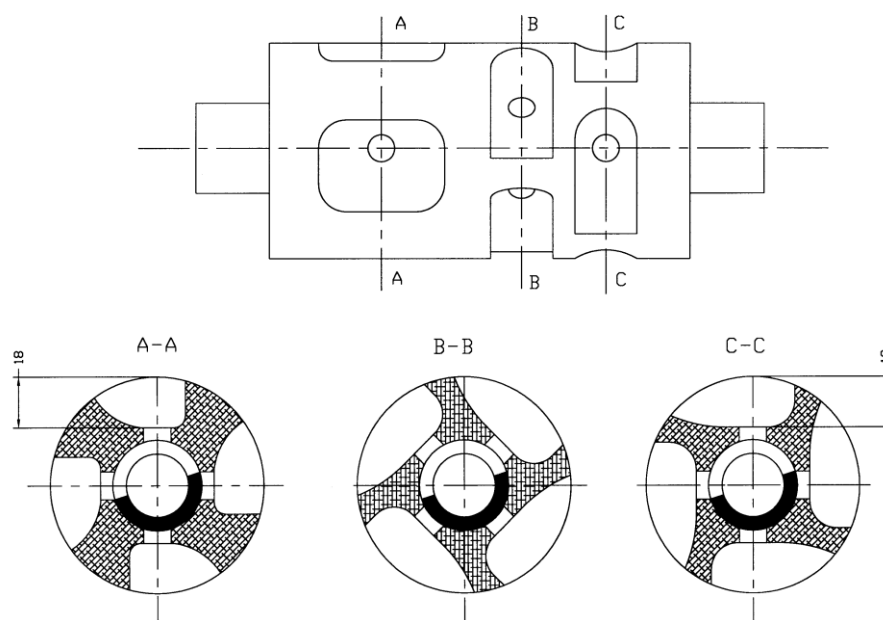


fig. 65 Rodillo del dosificador de precisión

Se puede notar diferente forma y orientación de las cavidades para semilla; su propósito fue experimentar con diferentes formas utilizando el mismo rodillo. Los recortes efectuados en el tubo conectan las cavidades del rodillo con el conducto de vacío de acuerdo a las fases del ciclo de trabajo durante una vuelta: adherencia de la semilla, su traslado y liberación, con opción de limpieza del orificio por soplado después de la liberación.

La figura siguiente presenta el rodillo fabricado con madera y el tubo con recortes. Se escogió madera por la facilidad de efectuar toda clase de recortes así como insertar los clavos para estudiar el efecto de los dedos agitadores, fig. 66.



fig. 66 Unidad experimental del rodillo con su eje.

El accionamiento del rodillo (rotación sobre su eje fijo) se realizó mediante una catarina acoplada a la cara lateral del rodillo y un sistema de transmisión por cadena, usando un motor eléctrico con controlador de velocidad como fuente de potencia. El rodillo opera en una cámara en la parte inferior de la tolva, cuyo fondo oscilatorio junto con un diafragma facilitan y controlan el flujo de semilla hacia el rodillo dosificador. Arriba del rodillo se puede colocar un cepillo rotatorio contrarotante, cuya función es eliminar el exceso de semilla adherida a un orificio. Todo el conjunto está sujeto sobre un mecanismo de paralelogramo, que mediante una leva permite generar vibraciones de la unidad de siembra, simulando las sacudidas reales en el campo.

6.1.2 Pruebas de rodillo dosificador

➤ **Objetivo:**

Encontrar la configuración geométrica y parámetros del trabajo del dispositivo que asegure una calidad satisfactoria de la separación y entrega de la semilla de ajo. Lo anterior se entiende como un error no mayor del 5% en la cantidad de los ajos entregados en comparación con el mínimo esperado, igual al producto del número de cavidades habilitadas del rodillo y el número de vueltas efectuadas.

➤ **Variables del proceso**

a) Posición de las cavidades con respecto al eje del rodillo (axiales, transversos o tangenciales), el cambio se logra deshabilitando (tapando con cinta) las cavidades no usadas en la prueba.

b) Uso o no de succión y cambio de su intensidad. Se utilizó una aspiradora industrial y una válvula de estrangulación en la derivación del conducto de succión.

c) Velocidad de rotación del rodillo distribuidor, (uso de potenciómetro para regular la velocidad).

d) Uso o no de la velocidad de rotación del cepillo de eliminación de exceso.

e) Uso o no de la colocación de los “dedos” (clavos cubiertos de plástico), para ayudar a la fluencia de la semilla del ajo hacia la cavidad.

f) Grado de nivel de llenado de la tolva: carga parcial o total.

g) Estado de la semilla: seca o húmeda (almacenada en refrigeración).

h) Aplicación o no de talco.

• **Procedimiento**

Se efectúan 10 vueltas completas del rodillo en una corrida, recogiendo y contando los ajos depositados. La cantidad esperada de semillas es de 80. El número de repeticiones (corridas) por prueba depende de los resultados obtenidos (por ser pruebas

preliminares no se continua con un arreglo, cuyos resultados son claramente insatisfactorios).

Con base en el análisis directo de las causas probables del deficiente desempeño de la prueba, se realizan las modificaciones o variación de las variables y se repite la serie de pruebas, los resultados se presentaran en las tablas después de cada prueba pero con fines prácticos estas no se identificarán.

- Prueba 1.

Velocidad del rodillo 0.25 rev/s, sin vacío, velocidad del cepillo 1 rev/s, depósito (tolva) lleno, ajo húmedo (guardado en el refrigerador).

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
66, 63, 60	Resultado no satisfactorio

- Prueba 2.

Velocidad del rodillo 0.25 rev/s, con vacío de 15” de agua, ajo seco.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
134	no satisfactorio; varios ajos atraviesan el cepillo por acción mecánica, numerosas adherencias múltiples (“dobles”).

- Prueba 3.

Sin vacío, cepillo rápido 2 rev/s, otros parámetros sin cambio.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
123, 107, 143	sin mejora notable; observaciones similares a las anteriores

- Prueba 4.

Se aplica vacío 20” de agua.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
131, 116, 135	Sin mejora notable; observaciones similares a las anteriores

➤ **Modificación 1**

Se coloca el cepillo más arriba, al inicio de la parte descendente del rodillo dosificador. Se habilitan los 4 orificios (cavidades) axiales del rodillo, situados en una línea. Se tapan los 8 orificios tangenciales, utilizados anteriormente.

- **Procedimiento**

Se efectúan 10 vueltas completas del rodillo, recogiendo y contando los ajos depositados. Cantidad esperada de semillas: 40. El número de repeticiones por prueba depende de los resultados obtenidos.

- **Prueba 1.**

Depósito lleno, velocidad del rodillo 0.25 rev/s, cepillo rápido.

	Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
Sin vacío	131, 116, 135	Se observan ajos atorados o acuñados en las cavidades, que no se caen y siguen dando vueltas.
Con vacío	16, 28, 20, 15, 34	

- **Prueba 2.**

Depósito cargado parcialmente

	Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
Sin vacío	33, 27, 34, 34	En general una mejora notable, pero no satisfactoria.
Con vacío	42, 30, 39, 29, 33, 36, 33, 37, 40	

➤ **Modificación 2**

Se modifica la forma de las cavidades, haciéndola redondeada y cónica (achaflanada hacia fuera). Se realiza una prueba con vacío y con un depósito lleno.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
40, 30, 26, 31, 33	No se logra una mejora esperada. Se observan ajos acuñaos o tónicas adheridas, que circulan. Se forman “puentes” que impiden la fluencia de la semilla.

➤ Modificación 3

Se reubican los dedos del lado al frente de las cavidades.

- Prueba 1.

Dispositivo lleno, rodillo con succión suministrada.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
28, 30, 49, 26, 30	se observan dobles y la formación de puentes (fluencia insuficiente de la semilla).

- Prueba 2.

Se aplica talco, mezclándolo con semilla.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
33, 41, 45, 49, 40, 40, 30	Una mejora considerable

- Prueba 3.

Semilla con talco, depósito llenado parcialmente (una capa delgada de semilla, alimentada gradualmente conforme está recogida por el rodillo).

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
41, 41, 41, 38, 38	Resultado bastante satisfactorio, aunque con las condiciones de trabajo muy favorables, que propician la fluencia de semilla.

➤ Modificación 4

Con el fin de mejorar la fluencia (agitación) se alargan los dedos e inclinan hacia atrás. Depósito lleno. Los demás parámetros sin modificar.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
47, 47, 48	El efecto de los dedos alargados es notable, sin embargo los dedos maltratan considerablemente al cepillo rotatorio.

➤ **Modificación 5**

Se acortan los dedos. Tolva llena, velocidad del cepillo 1,5 rev/s.

- **Prueba 1.**

Velocidad del rodillo 0,25 rev/s.

	Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
Con vacío	37, 38, 39, 42, 38, 42, 40	Se observan de 2 a 3 dobles y de 3 a 4 fallos por corrida; desempeño en general bueno, sin embargo la velocidad de deposición es muy baja (1 semilla por segundo).
Sin vacío	38, 21, 29	Alto número de fallos

- **Prueba 2.**

Aumenta la velocidad del rodillo a 0,4 rev/s.

	Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
Con vacío	45, 40, 41, 32, 28	Se observa, que con esta velocidad los dedos “empujan” los ajos, impidiéndoles ocupar las cavidades correspondientes.
Sin vacío	29, 24	Se abandona la prueba por mal desempeño.

- Prueba 3.

Baja la velocidad del rodillo a 0,25 rev/s, con vacío.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
30, 28, 25	Los ajos o las túnicas quedan adheridos en las cavidades dando varias vueltas, causando fallos.

- Prueba 4.

Se reubican los dedos hacia los lados de las cavidades, velocidad baja, con vacío.

Número de ajos en la prueba	Resultado de la prueba
40, 28, 34	Desempeño poco uniforme.

6.1.3 Análisis de los resultados y conclusiones parciales del dispositivo dosificador en forma de rodillo.

En general se observa una gran sensibilidad del dispositivo a las condiciones de trabajo específicas. Los resultados satisfactorios corresponden al rodillo con orificios redondos achaflanados, dedos colocados al lado de las cavidades e inclinados hacia atrás, con suministro del vacío de 15" de agua, utilización del cepillo rotatorio para la eliminación del exceso de semilla, velocidad de rotación del rodillo de 0.25 rev/s (deposición de una semilla por segundo), semilla seca mezclada con talco, alimentación de semilla gradual, evitando la formación de una capa gruesa en la zona de adherencia.

Los principales problemas observados se relacionan con la falta de fluencia suficiente de la semilla en la zona de adherencia, adherencias múltiples al aplicar la succión, semillas o túnicas adheridas que continúan girando, afectando el desempeño del dosificador, tendencia a empujar y hacer pasar semillas "adicionales" por las ya adheridas y por los dedos, número considerable de fallos si no se aplica la succión o se aumenta la velocidad del rodillo. A la vista de los resultados obtenidos se plantea la necesidad de rediseñar el dispositivo de forma que se logre un desempeño mejor y más robusto.

6.2 Dispositivo dosificador tipo disco

Los resultados obtenidos en el apartado anterior, así como la evidencia de la sensibilidad del desempeño de dispositivo de rodillo a los parámetros de diseño, indican la necesidad de buscar una mejora mediante un rediseño del órgano dosificador. Se opta por sustituir el rodillo por discos que faciliten el apoyo mecánico a las semillas. Se construyen tres prototipos dosificadores.

Por otro lado, la considerable cantidad de parámetros de diseño y sus posibles interacciones, hacen necesario pensar en una experimentación rigurosa a partir de un método estadístico basado en el diseño de experimentos. A fin de explicar cómo afectan las características de diseño a la eficiencia del dispositivo dosificador, se van a utilizar los diseños factoriales balanceados (Box, Hunter y Hunter, 1999). A continuación se introducen los conceptos en los que se basan estos diseños factoriales y las etapas de su análisis. Posteriormente se describen los detalles para la construcción de diferentes dispositivos dosificadores de disco (5,5", 10" y 2x10"), se enumeran sus principales características de diseño y se detallan las propuestas del diseño experimental.

6.2.1 Construcción de prototipos dosificadores en forma de disco

En este apartado se detalla la construcción de tres prototipos de disco. Se empieza con un disco de diámetro exterior de 5,5", sobre éste se realizarán los primeros diseños experimentales. Posteriormente se describen dos prototipos de mayor diámetro exterior, de 10", que permitirán analizar hasta qué punto el tamaño del dispositivo afectará en el desempeño de la dosificación, así como el impacto de pequeñas mejoras incorporadas al dispositivo.

6.2.1.1 Dispositivo de disco de 5,5" de diámetro

El dosificador rediseñado tiene la forma de una sección del rodillo del apartado 6.1, es decir similar a un disco con conductos radiales individuales. Las cavidades del rodillo se transforman en espacios tangenciales periféricos seguidos por un "diente", para ofrecer un respaldo mecánico a los ajos durante el proceso de adherencia, cuando

aparecen fuerzas de inercia considerables, fig. 67. El disco tiene el diámetro exterior de 5,5", espesor de 20 mm. Los 4 orificios en la periferia y los conductos radiales de succión son de 3/8" de diámetro. El accionamiento del disco se realiza de manera similar que en el caso del rodillo.



fig.. 67 Vista del disco de 10 pulgadas de diámetro.

Se modifica la parte inferior de la tolva, haciendo el fondo separado y articulado, unido a un mecanismo con leva accionada por un motor hidráulico, para generar vibraciones de frecuencia y amplitud ajustable. Se agregó una compuerta ajustable en la salida inferior de la tolva, para controlar la intensidad del flujo de semilla desde la tolva hacia la zona de adherencia.

Se identifican las siguientes características de diseño del dispositivo (regulables y fijas):

- Nivel de succión (vacío)
- Velocidad angular (revoluciones) del disco dosificador
- Amplitud de las vibraciones del fondo de la tolva (zona de adherencia)
- Frecuencia de las vibraciones del fondo de la tolva
- Abertura (altura) de la compuerta de alimentación
- Aplicación o no del talco
- Nivel de semilla en la tolva (grado de llenado)
- Posición del eje del disco con respecto al fondo oscilante
- Ancho de la compuerta de salida (restricción) de la semilla adherida

6.2.1.2 Dispositivo de disco de 10" de diámetro

Se aumenta el diámetro del disco a 10" y el número de orificios (conductos) radiales a 12, con el diámetro interior de ¼". El espesor del disco (de su sección transversal) es de 20 mm. Se efectúan chaflanes en la periferia del disco, adelante de las salidas de los orificios de succión, con el objetivo de facilitar la caída por gravedad de los ajos no adheridos y empujados por los adheridos, para evitar su desbordamiento. Se realizan dos prototipos, el primero en madera y el segundo utilizando láminas de acrílico.



fig. 68 Dosificador en forma de disco de 10 pulgadas.

Los orificios de succión están sucedidos por las protuberancias (dientes) curvadas (fig. 68, de 15 mm de altura, aproximadamente, cuya función es la de ofrecer un respaldo firme a los ajos adheridos a los orificios, evitando su desprendimiento por el efecto de la inercia. En el disco de plástico dichos dientes se diseñaron y fabricaron en dos formas distintas: macizos y huecos (planos, coincidentes con las paredes del disco), con el fin de analizar el efecto de ambas formas.

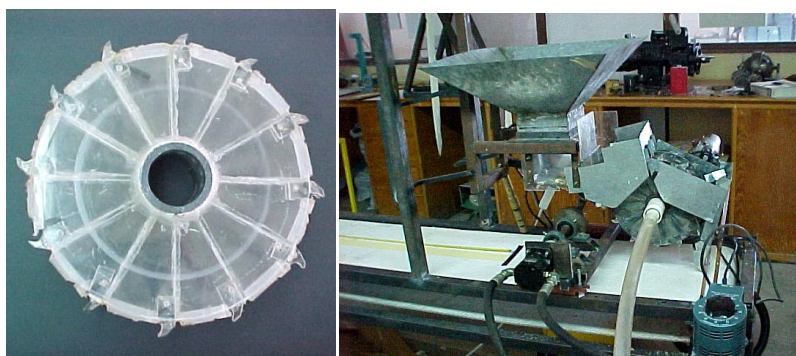


fig. 69 Dosificador en forma de disco de 10 pulgadas, material acrílico.

Vista lateral del extremo del banco con la unidad examinada, fig. 69. Se aprecia el sistema hidráulico de accionamiento de la leva, generadora de vibraciones del fondo de la tolva, la compuerta ajustable, así como el dispositivo eléctrico para variar la velocidad de rotación del disco semillero, accionado por un motor eléctrico.

6.2.2 Construcción de un dosificador de disco doble de 10”

Se construye un dispositivo distribuidor doble, es decir un conjunto de dos discos de 12 orificios cada uno, colocados en paralelo sobre el mismo eje, con una separación de 6 cm y un desfase angular de 15°. De esta forma se duplica la cantidad de semillas depositadas.

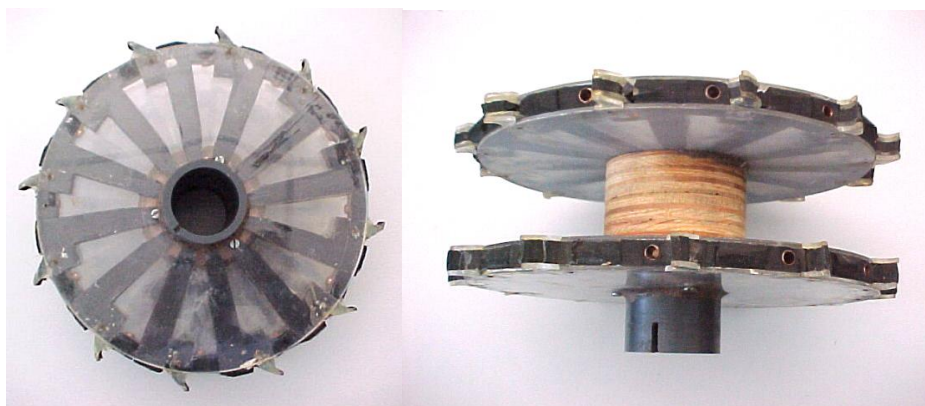


fig. 70 Disco de 10 pulgadas con doble disco de acrílico.

Además se realizan dos modificaciones: se rediseña el eje de rotación del disco, fig. 70 suministrar presión (soplado) a los orificios, que ya entregaron su semilla y pasan por el cuadrante inferior, para volver a entrar a la zona de adherencia; se modifica también el fondo vibratorio de la tolva.



fig.. 71 Imagen de la prueba del disco doble

La imagen muestra el proceso de separación y entrega de semillas por adherencia a los orificios con vacío, utilizando el dosificador de disco doble fig. 71.

6.3 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

6.3.1 Consideraciones previas

El diseño de experimentos es una técnica estadística que nos permite conocer si unos factores (variables controlables por el experimentador), -como en el caso del dosificador podrían ser: *nivel de succión, abertura de compuerta, velocidad de rotación del dosificador*. Si influyen en una determinada variable de interés, en nuestro caso: *uniformidad de la distribución de la semilla*- y de ser así, cuantificar dicha influencia. Con este tipo de modelos podremos determinar las principales causas que afectan a la variable, comparar las respuestas para distintos niveles de los factores y obtener un modelo estadístico-matemático entre la variable respuesta y las principales fuentes de variación (planificada y no planificada). El modelo más habitual es de tipo lineal, la respuesta (X) es una combinación lineal de términos que representan las fuentes de variación planificada (α_i) más un término residual (ε) debido a una variabilidad no planificada.

$$Y = \sum_{i=1}^k \alpha_i + \varepsilon$$

La mayoría de las técnicas de inferencia estadística sobre variables aleatorias continuas, presuponen que las variables muestreadas siguen una distribución normal. Además de la hipótesis de normalidad, en el diseño de experimentos, se asumen las

hipótesis estadísticas de homogeneidad, independencia y de homogeneidad de la varianza.

Frente al estudio experimental tradicional, en el que se estudiaban los efectos sobre la variable de un factor mientras se mantenían fijos el resto de factores, surgen los **diseños factoriales**. En éstos se estudian simultáneamente los efectos de todos los factores, cruzando sus niveles en todas las posibles combinaciones. Los diseños factoriales evitan los inconvenientes del enfoque tradicional (Romero y Zúñica, 1995): necesidad de gran cantidad de pruebas y desconocimiento de posibles interacciones entre factores o validez restringida de las conclusiones obtenidas.

Dentro de los diseños factoriales, aquellos en los que todos los factores se estudian únicamente a dos niveles (**factoriales 2^k**) son de especial importancia ya que precisan de pocos experimentos para cada factor estudiado. Los diseños 2^k son adecuados en aquellos casos en los que a priori se cree que muchos factores pueden influir en la variable, tal es el caso del dispositivo dosificador como se ha comprobado en el estudio preliminar (6.1). En el caso de factores cuantitativos además determinan un sentido hacia el que dirigir una futura investigación (Box et al, 1999).

No obstante, cuando el número de factores es elevado o simplemente cuando el coste económico de realizar una observación experimental es considerable, o las limitaciones temporales son evidentes, como ocurre en las pruebas de siembra a pleno campo, puede no ser aconsejable un diseño factorial 2^k completo. En este caso, se utilizarían las denominadas **fracciones factoriales 2^{k-p}** , por la que optaremos en el diseño UNO (6.3.3). En las fracciones factoriales se mantiene la propiedad de ortogonalidad de los factores. Se dice que dos factores FI y FJ con I y J niveles, respectivamente, son ortogonales si en cada nivel i de FI el número de observaciones de los J niveles de FJ están en la misma proporción. Las fracciones factoriales necesitan 2^{k-p} observaciones y no consideran las interacciones de orden superior.

En los últimos años el Genichi Taguchi (Taguchi et al, 2004) ha propuesto incluso el uso de fracciones factoriales con factores a tres niveles para la resolución de problemas de control de calidad en entornos industriales.

En el caso de que únicamente nos interesara analizar la distribución de la semilla (Y) a partir de sólo dos factores α (velocidad del disco) y β (nivel de vacío), el **modelo matemático del diseño factorial** sería el siguiente:

$$y_{ij} = \eta + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde y_{ij} es el valor de la respuesta cuando los factores α y β toman los valores i y j respectivamente, η es la media de todas las observaciones experimentales, α_i y β_j son los efectos que los factores tienen sobre la variable respuesta, $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto que tiene la interacción de los factores y ε_{ij} es la parte aleatoria.

Se asume que Y_{ij} sigue una distribución normal de media m_{ij} y varianza σ_{ij}^2 . Además de las hipótesis estadísticas, se asumen las siguientes hipótesis matemáticas:

- $\sum_{i=1}^I \alpha_i = 0$
- $\sum_{j=1}^J \beta_j = 0$
- $\sum_i (\alpha\beta)_{ij} = 0$ para cada i
- $\sum_j (\alpha\beta)_{ij} = 0$ para cada j

En la Tabla 18 se relacionan los diferentes parámetros que habría que determinar en el modelo.

Tabla 18. : Parámetros a determinar en el modelo

Parámetro	Símbolo	Nº de parámetros
Media	H	1
Efectos principales	α_i	I-1
	β_j	J-1
Interacciones	$(\alpha\beta)_{ij}$	(I-1)×(J-1)
Total		I×J

Para la estimación de los parámetros del modelo se tiene que:

- $H = \bar{x}_{ij}$ donde $\bar{x}_{ij} = \frac{1}{I \times J} \sum_i \sum_j x_{ij}$
- $\alpha_i = \bar{x}_i - \bar{x}_{ij}$ donde $\bar{x}_i = \frac{1}{J} \sum_j x_{ij}$
- $\beta_j = \bar{x}_j - \bar{x}_{ij}$ donde $\bar{x}_j = \frac{1}{I} \sum_i x_{ij}$
- $(\alpha\beta)_{ij} = 2\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j$ donde $\bar{x}_i = \frac{1}{J} \sum_j x_{ij}$

Así pues, el efecto principal de un factor (efecto simple) se estima sobre la media de las condiciones estudiadas para los otros factores. Las interacciones entre dos factores se dan cuando el efecto de uno de ellos depende del nivel en el que está el otro.

6.3.2 Etapas del análisis de experimentos

El análisis de los resultados de nuestro diseño factorial lo realizaremos siguiendo los siguientes pasos:

- Análisis de la varianza (ANOVA) y estimación de los efectos significativos. Mediante un test de la F de Fisher se hará un contraste de la hipótesis nula (se rechaza si el factor sí es significativo) (Box et al, 1999).

La variabilidad total se cuantifica a partir de la Suma de Cuadrados Total (SC_{Tot}). Si consideramos por ejemplo el caso anterior de 2 factores con niveles respectivos I, J y I repetición para cada tratamiento, se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$SC_{Tot} = \sum (x_{ij} - H)^2$$

Por otro lado, al efecto simple de cada factor se le asocia una Suma de Cuadrados del Factor 1, definido en la siguiente expresión:

$$SC_{F1} = \sum JN\alpha_i^2$$

De igual modo en el caso de la interacción de dos factores F1 y F2, la suma de cuadrados asociada a esta interacción sería

$$SC_{F1F2} = \sum \sum (\alpha\beta)_{ij}^2$$

- Interpretación de la naturaleza de los efectos significativos mediante representación gráfica de intervalos de Diferencias Menos Significativas (LSD).

Se construye un intervalo de confianza para cada par de medias al nivel de confianza seleccionado usando la distribución *t-Student*.

- Comportamiento de la variable estudiada (uniformidad de la distribución de la semilla) para el diseño óptimo, a partir de las estimaciones obtenidas para los diferentes efectos (nivel de succión, abertura compuerta, frecuencia de vibración)

6.3.3 Pruebas a realizar con el prototipo dosificador de disco

En el caso del prototipo dosificador de ajo, cada una de las características de diseño sería un **factor** que podría tomar diferentes valores o niveles. Cada combinación de todos los factores a un determinado nivel se denomina tratamiento. Un experimento consistirá en un conjunto de pruebas, en cada una de las cuales se ensayará un tratamiento. Se proponen cuatro diseños experimentales, cada uno con un objetivo específico.

Diseño UNO basado en fracciones factoriales 2^{5-2} (cinco factores, dos niveles, ocho experimentos) sobre el dispositivo de 5.5"

Objetivo: Análisis de los efectos principales y posibles interacciones de los que a priori parecen ser los factores que pueden afectar al desempeño del dispositivo.

Factores analizados y niveles:

- X1: Succión, 15" y 30" de agua.
- X2: Velocidad angular del disco, 0.25 y 0.4 rps
- X3: Amplitud, 0.7 y 1 mm
- X4: Frecuencia, 25 y 33Hz (equivale a 1500 y 2000 rpm del eje con disco excéntrico)
- X5: Abertura de la compuerta, 50 y 600 mm

Esta fracción factorial exige realizar la cuarta parte de las pruebas de las que exigiría el plan completo. Una fracción factorial 2^{k-p} se construye a partir de P generadores cogiendo del plan completo aquellas en las que el generador tiene el mismo nivel. La forma de proceder será la siguiente:

- 1- Se construye el plan factorial completo para los tres primeros factores X1, X2 y X3 que a priori son los que parecen más relevantes a la vista de los resultados preliminares (6.1).
- 2- Los otros factores X4 y X5 ajustan su nivel en función de las interacciones X1*X2*X3 y X2*X3 respectivamente.

En las Tabla 19 y 20 se especifican los niveles de los factores para cada prueba del diseño fraccional. Cada nivel se identifica con un signo. El + indica el nivel de más valor.

Tabla 19 Esquema diseño de experimentos 2^{k-p}

Prueba nº	X1	X2	X3	X4	X5
1	-	-	-	-	+
2	-	-	+	+	-
3	-	+	-	+	-
4	-	+	+	-	+
5	+	-	-	+	+
6	+	-	+	-	-
7	+	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+

Tabla 20 Valores parámetros en diseño de experimentos 2^{k-p}

Prueba nº	X1(°)	X2(rps)	X3(mm)	X4 (Hz)	X5(mm)
1	15	0,25	0,7	25	600
2	15	0,25	1,0	33	50
3	15	0,40	0,7	33	50
4	15	0,25	1,0	25	600
5	30	0,25	0,7	33	600
6	30	0,25	1,0	25	50
7	30	0,40	0,7	25	50
8	30	0,40	1,0	33	600

Diseño DOS basado en diseños factoriales completos 2^3 y 2^4

Objetivo: realizar un diseño completo sobre los efectos significativos detectados en el diseño 1. A fin de definir las condiciones idóneas de regulación del dosificador de disco de 5,5”.

Factores analizados y niveles:

- X1: Succión, 15” y 30” de agua.
- X2: Velocidad angular del disco, 0.25, y 0.4 rps
- X3: Amplitud, 0.7 y 1 mm
- X5: Abertura de la compuerta, 50 y 600 mm

Diseño TRES basado en la comparación de muestras por medio de análisis de la varianza con un factor

Objetivo: Conocer el efecto del tamaño del disco sobre el desempeño del dispositivo dosificador, así como el efecto de pequeñas mejoras de diseño incorporadas a los prototipos.

Un aumento del diámetro exterior del disco permitirá la dosificación de un número más elevado de semillas y así incrementar la capacidad productiva (para una misma velocidad de avance). No obstante, hay que estudiar hasta qué punto puede afectar este cambio de tamaño (positiva o negativamente) a la eficiencia del dispositivo. Por otro lado, los prototipos de disco de 10” incorporan pequeñas modificaciones adicionales de diseño a fin de mejorar el desempeño de la dosificación del disco de 5,5”. Éstos han sido: chaflanes en el disco, rediseño del fondo vibratorio de la tolva y suministro de aire comprimido (soplado) sobre los orificios. Con este estudio se analizará también el impacto de dichas modificaciones.

En este diseño experimental se compara pues el desempeño de los tres prototipos: de 5,5”, de 10” y disco doble de 10”. Los factores se han mantenido en los siguientes niveles:

- X1: Succión, 30” de agua.
- X2: Velocidad angular del disco, 0.25 rps
- X3: Amplitud 1 mm

- X5: Abertura de la compuerta 50 mm

Variables respuesta

Tanto en el diseño 1 como en el diseño 2 las variables respuesta analizadas son las siguientes:

- Y1: cantidad de orificios sin semillas adheridas (fallos)
- Y2: cantidad de semillas dobles depositadas (dobles).

Conocidas la cantidad semillas depositadas (Y3), la cantidad óptima (*Opt*) y el número de fallos (Y1) se puede obtener la cantidad de dobles (Y2) mediante la siguiente expresión

$$Y3 = Opt + Y2 - Y1$$

En el caso del diseño TRES en el que la cantidad de semillas es función de la geometría del disco, se considerarán las variables en términos porcentuales respecto de la cantidad óptima.

En cada observación se efectuarán 10 vueltas completas del disco. Se realizarán cinco réplicas de cada tratamiento experimental en los diseños UNO y DOS y diez réplicas en el diseño TRES. En función de las dimensiones del disco, la cantidad óptima de ajos depositados (*Opt*) será de 40, 120 y 240 para los discos de 5.5", 10" y 2*10". El tratamiento estadístico de los resultados se ha realizado con los *software* comerciales *StatGraphics Centurión*© y *MatlabR2010b*©

6.3.4 Resultados y análisis sobre la dosificación

Resultados del Diseño UNO basado en fracciones factoriales 2⁵⁻²

Realizadas las réplicas de cada tratamiento para 10 vueltas completas de disco, sobre los valores obtenidos, se comprueban las hipótesis estadísticas de normalidad de los datos. De esta comprobación se obtiene que la variable Y1 (Fallos) no cumple la hipótesis por lo que como propone Peña, (2002), se hace necesario transformar los datos de la variable Y1 para asegurar que se ajusten a esta hipótesis. La transformación

utilizada es la raíz cuadrada ($Y1^{0,5}$). En la tabla siguiente se muestra el resumen estadístico. Se incluyen medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. Tabla 21

Tabla 21 Resumen Estadístico de los datos Fallos y Dobles

Variable	$Y1^{0,5}$	Y2
Promedio	1,80	17,1
Mediana	1,73	15,5
Desviación Estándar	0,88	8,02
Coefficiente de Variación	48,68%	46,91%
Mínimo	0	0
Máximo	4,12	35,0
Rango	4,12	35,0
Sesgo Estandarizado	0,32	1,96
Curtosis Estandarizada	-0,008	-0,78

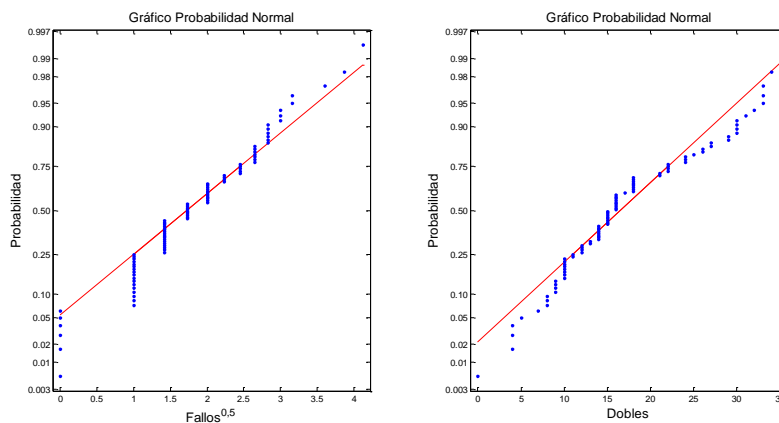


fig 72 Gráficos de Probabilidad Normal de los datos

La figura 72 muestra los gráficos de distribución normal de ambas muestras, en los que se puede observar la normalidad de las muestras.

Se realiza el análisis ANOVA (Tablas 22, 23) que descomponen la variabilidad de las variables $Y1^{0,5}$ (raíz cuadrada de Fallos) e Y2 (Dobles) en contribuciones debidas a

los 5 factores. La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Aquellos valores-P menores de 0,05 (en las tablas aparecen destacados en rojo), muestra los factores que tienen un efecto estadísticamente significativo con un 95,0% de nivel de confianza. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual. En concreto para la variable Y1 resultan significativas: el nivel de succión (X1), la velocidad angular del disco (X2) y amplitud de las vibraciones (X3). En el caso del número de Dobles (Y2) la el único factor que parece no causa ningún efecto sobre las variables respuesta es la frecuencia de vibraciones del fondo de la tolva (X4).

Tabla 22 Análisis de Varianza para la variable Y1^{0,5} (Fallos)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS				
X1	9,76297	9,76297	18,09	0,0001
X2	3,66355	1,83178	3,39	0,0385
X3	10,0767	10,0767	18,67	0,0000
X4	0,125962	0,0629812	0,12	0,8900
X5	3,99755	1,33252	2,47	0,0679
RESIDUOS	43,1685	0,539606		
TOTAL	68,53			

Tabla 23 Análisis de Varianza para la variable Y2 (Dobles)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS				
X1	1184,23	1184,23	32,21	0,0000
X2	286,635	143,318	3,90	0,0242
X3	2386,8	2386,8	64,93	0,0000
X4	37,7978	18,8989	0,51	0,6000
X5	1201,89	400,629	10,90	0,0000
RESIDUOS	2940,88	36,761		
TOTAL	6452,49			

Resultados del Diseño DOS

Se realiza el diseño factorial completo para ambas variables en busca de posibles efectos de las interacciones para los factores que han resultado significativos en el estudio anterior. En el caso Y1 se realiza un diseño 2³, ya que 3 han sido los factores que influyen en esta variable. En el caso de Y2, el diseño será 2⁴.

Una vez se han efectuado los experimentos, se vuelve a proceder a comprobar la hipótesis de normalidad de cada serie de datos. Como en el caso del diseño UNO, para

la variable $Y1$ se ha utilizado la transformación de la raíz cuadrada ya que la serie original no cumplía la hipótesis.

En las tablas siguientes se recogen los resultados obtenidos en el análisis ANOVA para ambas variables. Se observa que no existen efectos significativos de orden superior a uno. Todas las interacciones se incorporan en la tabla ANOVA a la parte de residuos.

En el caso de $Y1^{0.5}$ (raíz cuadrada de Fallos), los tres factores resultan significativos. Sin embargo, después del diseño factorial completo, se observa que para el caso de $Y2$ (Dobles) el factor $X2$ (velocidad angular del disco) pierde significación.

Tabla 24 ANOVA para diseño 2^3 para la variable $Y1^{0.5}$ (raíz Fallos)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS				
X1	10,7471	10,7471	18,92	0,0000
X2	3,73138	3,73138	6,57	0,0124
X3	17,1041	17,1041	30,12	0,0000
RESIDUOS	43,3366	43,3366		
TOTAL	63,7439			

Tabla 25 ANOVA para diseño 2^4 para la variable $Y2$ (Dobles)

<i>Dobles</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS				
X1	1206,02	1206,02	22,49	0,0000
X2	150,417	150,417	2,80	0,0982
X3	1299,86	1299,86	24,24	0,0000
X5	346,8	346,8	6,47	0,0131
RESIDUOS	4022,57	53,6342		
TOTAL	5977,95			

Tabla 26 Medias por mínimos cuadrados variable $Y1^{0.5}$ (raíz Fallos)

$Y1^{0.5}$			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	40	1,31711			
X1 (succión)					
15	20	1,74033	0,119396	1,50253	1,97813
30	20	0,893882	0,182381	0,530638	1,25713
X2 (velocidad disco)					
0,25	20	1,06773	0,182381	0,704483	1,43097
0,4	50	1,56648	0,119396	1,32869	1,80428
X3 (amplitud)					
0,7	20	1,96775	0,0974867	1,77359	2,16192
1	20	0,666458	0,217987	0,232299	1,10062

Tabla 27 Medias por mínimos cuadrados variable Y2 (Dobles)

Y2			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	80	23,7333			
X1 (succión)					
15	40	19,25	1,33709	16,5864	21,9136
30	40	28,2167	1,89093	24,4497	31,9836
X2 (velocidad disco)					
0,25	40	25,3167	1,89093	21,5497	29,0836
0,4	40	22,15	1,33709	19,4864	24,8136
X3 (amplitud)					
0,7	40	17,8	1,00282	15,8023	19,7977
1	40	29,6667	2,33991	25,0053	34,328
X5(abertura compuerta)					
50	40	21,1833	1,20524	18,7824	23,5843
600	40	26,2833	2,0333	22,2328	30,3339

De las tablas 25, 26 de medias se desprende que los factores *X1* y *X3* tienen una correlación negativa con la variable *Y1* (Fallos). Es decir, cuanto mayor es la succión (*X1*) y la amplitud de las vibraciones (*X2*), menor es el número de fallos. Sin embargo, en el caso de *Y2* (Dobles), se da una correlación positiva con los factores *X1* y *X3*. Es decir, a más succión y más amplitud, más dobles. Por tanto nos encontramos en una situación de objetivos contrapuestos en el ajuste de los niveles de succión y abertura de la compuerta. En la siguiente tabla se indica la relación entre las variables y los factores.

Tabla 28 Correlación entre variables y factores

	Fallos	Dobles
Nivel Succión	-	+
Velocidad angular disco	+	indiferente
Amplitud vibraciones	-	+
Frecuencia vibraciones	indiferente	indiferente
Abertura compuerta	indiferente	+

Como el objetivo es el de minimizar fallos y dobles, se elegirán aquellas condiciones de regulación del dosificador que minimicen éstos. En caso de conflicto, se da prioridad a la minimización de fallos frente a los dobles, puesto que es preferible tener un mayor coste de semilla por existencia de “dobles” frente al coste de cultivo improductivo por la existencia de “fallos”. Cabría otro tratamiento en el que se ponderarían ambas variables con los respectivos costes antedichos, en una misma función objetivo de minimización de coste total.

Se consideran pues como idóneas las siguientes condiciones de funcionamiento del dosificador:

- X1: Succión, 30” de agua.
- X2: Velocidad angular del disco, 0,25 rps
- X3: Amplitud vibraciones 1 mm
- X4: Indiferente
- X5: Abertura de la compuerta 50 mm

Resultados del Diseño TRES

Se comparan los datos obtenidos para las 10 réplicas de cada uno de los tres experimentos. Se realiza varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. La prueba de rangos múltiples indicará qué medias son significativamente diferentes de otras.

En primer lugar se comprueba la hipótesis de normalidad de los datos para ambas variables (%Dobles y %Fallos). En las siguientes tablas 28, 29 se muestran los resultados obtenidos para cada prototipo. Se observa que en todos los casos se cumple la hipótesis de normalidad de los datos, ya que los valores de sesgo y curtosis se encuentran dentro del intervalo (-2,2).

Tabla 29 Normalidad de los datos para la variable %Dobles

%Dobles	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
5”	0,169487	-0,789782
10”	-0,286583	-0,126152
2x10”	-0,276532	0,41043
Total	2,66467	0,174157

Tabla 30 Normalidad de los datos para la variable %Fallos

%Fallos	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
5”	1,13078	-0,191481
10”	0,961319	0,0383781
2x10”	-0,302406	-0,223894
Total	1,43738	-0,867149

- Resultados obtenidos para la variable % Dobles

A continuación se muestra la tabla ANOVA obtenida que descompone la varianza de los datos en un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 54,86, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que

0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 31 ANOVA de los datos para la variable %Dobles

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	10424,1	2	5212,03	54,87	0,0000
Intra grupos	2564,9	27	94,9963		
Total (Corr.)	12989,0	29			

Al haber encontrado diferencias significativas entre las muestras se aplica el procedimiento de comparación múltiple para determinar qué cuáles medias son significativamente diferentes de otras. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 32. Múltiples Rangos para variable %Dobles.

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2x10''	10	8,6	X
10''	10	13,1	X
5,5''	10	50,2	

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
5,5 – 10''	*	41,6	8,94357
5,5 – 2x10''	*	37,1	8,94357
10'' – 2x10''		4,5	8,94357

La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco se encuentra al lado de los pares que sí muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Lo que indica que hay una diferencia de los resultados de %Dobles obtenidos entre el dispositivo de 5,5'' y los de 10''. En la parte superior de la tabla, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación. No existen diferencias estadísticamente significativas entre los dispositivos de 10''. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. En la siguiente figura 73 se representa gráficamente esta diferencia entre las muestras.

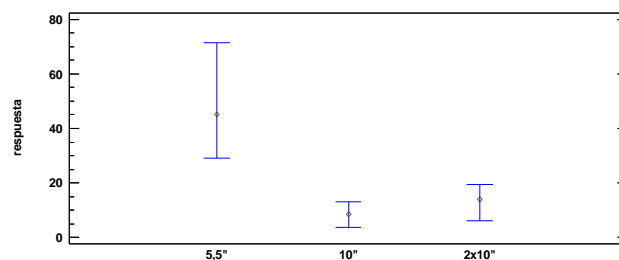


fig. 73 Intervalos LSD variable %Dobles

En la gráfica LSD Se observa claramente una diferencia entre los resultados obtenidos con el dosificador de disco de 5,5'' y los de 10''. En la siguiente tabla se indican los valores estadísticos de cada muestra para el porcentaje de dobles. Efectivamente, al aumentar el diámetro de 5,5'' se pasa de un valor promedio del 50% de dobles a un valor de entorno al 10%.

Tabla 33 Resumen estadístico para la variable %Dobles

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación	Mínimo	Máximo	Rango
5,5''	10	50,2	15,9708	31,8144%	25,0	73,0	48,0
10''	10	8,6	3,1693	36,8523%	3,0	13,0	10,0
2*10''	10	13,1	4,45845	34,034%	5,0	21,0	16,0
Total	30	23,9667	21,1635	88,3041%	3,0	73,0	70,0

Se pasa de un valor medio del. Así pues, desde el punto de vista del porcentaje de dobles, podemos concluir que el aumento del diámetro del disco, conlleva la reducción del número de dobles.

- Resultados obtenidos para la variable de % Fallos

De igual modo que se ha hecho con la variable %Dobles, a continuación se muestran las tablas ANOVA y de múltiples rangos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza. En este caso sí que hay diferencias significativas entre todos los grupos y no hay grupos homogéneos como indica la tabla de Múltiples rangos.

Tabla 34 ANOVA de los datos para la variable %Fallos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	336,467	2	168,233	14,05	0,0001
Intra grupos	323,4	27	11,9778		
Total (Corr.)	659,867	29			

Tabla 35. Múltiples Rangos para variable %Fallos

%fallos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2x10"	10	2,7	
5,5"	10	6,6	
10"	10	10,9	

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5,5" - 10"	*	-0,043	0,0317574
5,5" - 2x10"	*	0,039	0,0317574
10" - 2x10"	*	0,082	0,0317574

Se observa que el desempeño en el caso del disco de 10" es peor ya que el número de fallos es más grande, sin embargo esta consecuencia lógica del aumento del diámetro del disco se observa que se rectifica y mejora mediante el uso del aire comprimido (soplado) sobre los orificios.

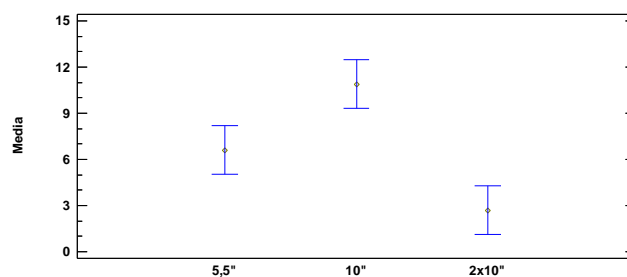


fig. 74 Intervalos LSD variable %Fallos

En la gráfica LSD Se observa claramente una diferencia entre los resultados de cada grupo. Un aumento del diámetro aumenta también el porcentaje de fallos como puede observarse por las diferencias entre los resultados de 5,5" y 10". Sin embargo, al incorporar el soplado sobre los orificios (para evitar adherencias de) y cambiar la forma del fondo de la tolva en el prototipo del disco doble de 10", se observa que se reduce

significativamente el porcentaje de fallos. En la siguiente tabla se recoge el resumen estadístico para la variable %Fallos

Tabla 36 Resumen estadístico para la variable %Fallos

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
5,5''	10	6,6	5,081	76,99%	0	15,0	15,0
10''	10	10,9	3,03	27,84%	8,0	17,0	9,0
2x10''	10	2,7	0,94	35,14%	1,0	4,0	3,0
Total	30	6,73	4,77	70,84%	0	17,0	17,0

6.4 Estudio sobre la uniformidad en la deposición de las semillas

Una vez conocido el efecto de los factores sobre el desempeño del dispositivo dosificador y cuál es la configuración idónea de estos factores, se hace necesario lograr que la deposición de las semillas sea lo más uniforme posible.

Se realizan tres pruebas diferentes. En la primera se mantenían las condiciones de dosificación del prototipo de disco doble de 10'' descritas en el Diseño TRES del apartado anterior. A la vista de los resultados se proponen dos cambios en el diseño y se repiten las pruebas. Posteriormente se analiza hasta qué punto estos cambios han supuesto una mejora significativa en los resultados, mediante la comparación de las muestras.

La variable de salida que permitirá conocer el grado de uniformidad será la de distancia entre semillas depositadas.

6.4.1 Construcción de una estructura para la recogida de semillas

A tal efecto, se desarrolló la estructura para recolección y descarga de semilla que se muestra en la fig. 75.

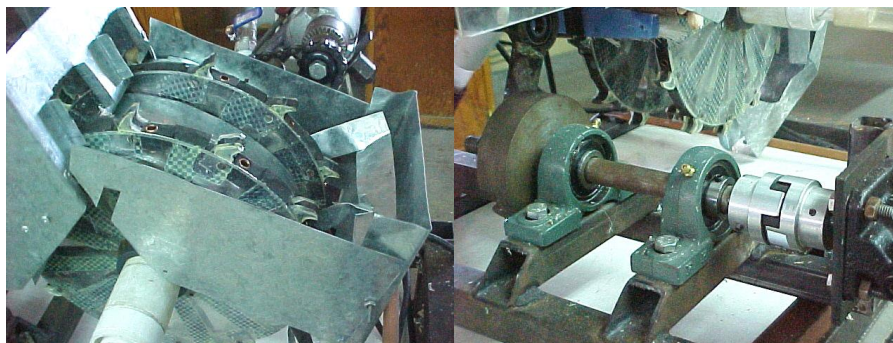


fig. 75 Vista a detalle del sistema dosificador

En la imagen izquierda se observa la parte superior de dicha estructura. En la derecha la parte inferior del conducto de descarga de semilla, después de varias modificaciones y el mecanismo de agitación para la alimentación de la semilla (fondo vibratorio).



fig.. 76 Vista posterior del banco.

Se aprecia la unidad de singularización de semilla con disco doble y su mecanismo de accionamiento, la tolva y el conducto de presión, cuya función es la de limpiar los conductos, eliminando por soplado los posibles restos de las cáscaras (túnicas) del ajo, adheridas a los orificios en los discos fig. 76.

6.4.2 Método experimental

Se realizaron tres pruebas diferentes en el primer experimento se mantenían las condiciones de dosificación del prototipo de disco doble de 10” descritas en el Diseño TRES del apartado anterior. Posteriormente se introducen dos cambios en el diseño:

- Por un lado se modifica el eje del dosificador, aumentando el ángulo a lo largo del cual los orificios radiales del disco quedan conectados con el suministro del vacío, de modo que la acción de la succión se iniciara desde la posición horizontal
- Se divide el conducto de descarga de los dos discos, hasta ahora común, en dos separados, para eliminar un posible efecto de colisión, que pudiera afectar la uniformidad de la distribución.

De cada uno de los tratamientos de uniformidad se realizaron cuatro réplicas. Los parámetros del dispositivo dosificador se establecieron en los niveles “óptimos” obtenidos en el apartado anterior 6.2, es decir:

- Nivel de succión: 25” de agua
- Soplado activado
- Velocidad angular del disco: 0.25
- Amplitud: 1.3 mm
- Frecuencia: 25 Hz
- Abertura de la compuerta: 50 mm

La banda sinfín del banco de pruebas se recubrió en un tramo de más de 1 m con tres segmentos paralelos de una cinta adhesiva especial, con superficie de alta pegajosidad por los dos lados, formando así una pista de 15 cm de ancho, que retenía las semillas depositadas justo en los lugares de su caída, simulando el efecto del suelo desmenuzado. Se accionó la banda, ajustando su velocidad a un valor predeterminado de 0.4 m/s. Se ajustó la velocidad angular del dispositivo dosificador de doble disco a 0,25rps (16 semillas por un metro del avance).

Una vez puesta en movimiento la banda, se accionaba el dispositivo dosificador un tramo antes de que el comienzo de la pista pegajosa coincidiera con su conducto de descarga y se detenía antes de que el inicio de la pista llegara al extremo del banco. De este modo la semilla encontrada sobre la pista correspondía a un trabajo uniforme del dispositivo. Tomando como referencia la primera semilla adherida a la cinta, se medían las distancias a los centros de las semillas adheridas consecutivas, hasta completar una distancia de 1 m. Las lecturas se realizaron con una exactitud de 0.5 cm, utilizando la cinta métrica, figura 77.



fig.. 77 Detalles de la banda transportadora

6.4.3 Resultados y análisis sobre la uniformidad de deposición

En la siguiente tabla se muestran los resultados estadísticos de las tres pruebas realizadas. En los tres casos la distancia media entre distancias era muy similar (6,36cm de promedio). Por otro lado se comprueba que las tres muestras cumplen la hipótesis de normalidad (el sesgo y la curtosis inferiores a 2 en valor absoluto).

Tabla 37. Resumen estadístico de deposición

	Recuento	Promedio	Desv Est	Coefi Var	Mínimo	Máximo	Rango
prueba 1	60	6,34167	4,15636	65,5405%	0	15,0	15,0
prueba 2	61	6,32787	3,17921	50,2414%	0,5	13,5	13,0
prueba 3	60	6,25	3,03999	48,6398%	1,0	12,5	11,5
Total	181	6,30663	3,4731	55,0706%	0	15,0	15,0

Tabla 38 Indicadores de normalidad de variable “fallos”

	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
prueba 1	1,40136	-1,4579
prueba 2	0,590495	-0,486447
prueba 3	0,923923	-0,0841684
Total	1,87615	-1,30867

La tabla ANOVA se muestra a continuación. Puesto que el valor P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, se puede afirmar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 39 ANOVA de los datos para la distancia entre semillas

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,275172	2	0,137586	0,01	0,9897
Intra grupos	2368,77	178	13,3077		
Total (Corr.)	2369,05	180			

Sin embargo observado los gráficos de caja y bigotes y de dispersión de las tres muestras, sí se observa que en la tercera prueba la variabilidad de los resultados es un poco inferior.

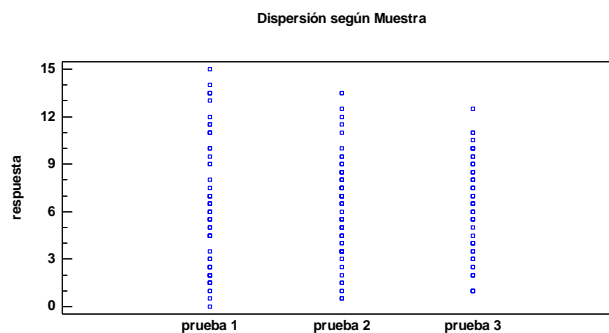
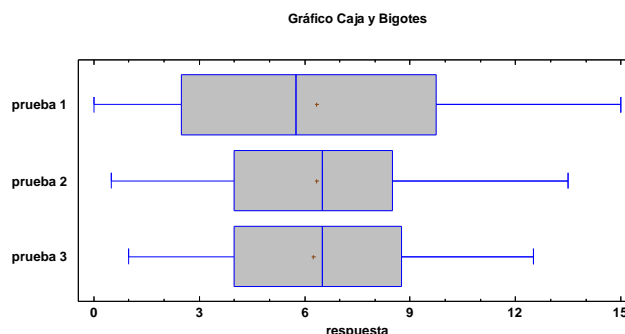


fig. 78 Detalles análisis

6.5 Conclusiones sobre el dispositivo dosificador

Como consecuencia del análisis y resultados obtenidos de los diferentes diseños de experimentos de los apartados 6.3 y 6.4 se desprenden las siguientes conclusiones:

- El número de fallos en la dosificación se ve afectado principalmente por tres factores: Nivel de succión, velocidad angular del disco y amplitud de vibración de fondo. En el caso del nivel de succión y de la amplitud de vibración esta correlación es negativa (a más succión y más amplitud, menos fallos)
- El número de dobles en la dosificación depende de tres factores: Nivel de succión, amplitud de vibración y abertura de la compuerta. En los tres efectos la correlación es positiva (a más succión, más amplitud y más abertura, más dobles).
- Sobre estos resultados y priorizando la minimización de fallos frente a dobles, se obtiene una regulación del prototipo de disco idónea.

No obstante, la necesidad de aumentar la capacidad productiva, así como lograr un mejor desempeño en el número de fallos y dobles obtenidos en la dosificación, hizo necesario construir otros dos prototipos de disco que incorporen mejoras de materiales y diseño como son: el soplado de orificios o chaflanes en la periferia del disco. Una vez comparados los resultados obtenidos con estos dos nuevos prototipos, se observa que:

- Un aumento del diámetro del disco propicia un descenso considerable en el número de dobles (reduciéndose estos a un 10%).
- Al incorporar el soplado sobre los orificios y modificar el fondo se consigue reducir también el número de fallos a valores del 2,7%. El soplado de aire comprimido en el tramo inferior del recorrido, proporciona un medio de limpieza de los orificios que evita la saturación por las tunicas desprendidas de la semilla evitando así fallos.

Por último, tras el análisis sobre la uniformidad de la distribución, en el que se han probado pequeñas modificaciones en el diseño del prototipo, no se obtienen diferencias significativas. El valor de la distancia media entre semillas (6,36cm de promedio) es muy similar en todos los casos, únicamente se aprecia una ligera reducción en la variabilidad de la muestra al dividir el conducto de descarga.

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y
PRUEBA DE LA SEMBRADORA
NEUMÁTICA DE PRECISIÓN**

Una vez concluida la etapa de pruebas de laboratorio se procedió al diseño de un prototipo de la sembradora de precisión para ajo a partir del dosificador neumático desarrollado en el capítulo 6.

En los apartados 7.1 y 7.2 se describen los aspectos generales del diseño y construcción de la sembradora. Así como sus principales sistemas: barra portaherramienta, módulo de suspensión y copiado, módulo de siembra, sistema de generación de vacío y sistema de accionamiento de los discos.

En el apartado 7.3 se realizan una serie de pruebas preliminares que permiten comprobar el funcionamiento de los diferentes mecanismos de la máquina así como realizar algunos ajustes sobre el prototipo.

En el apartado 7.4 se realizan pruebas de siembra en campo sobre una parcela que permiten comprobar el funcionamiento del dispositivo dosificador desde el punto de vista de la fluencia y la adherencia de la semilla, así como el impacto de la velocidad de avance del tractor, el nivel de oscilaciones, el nivel de vacío y el nivel de llenado de la tolva.

7.1 Diseño conceptual y consideraciones generales.

El desarrollo del prototipo tiene por objetivo principal comprobar en condiciones reales de trabajo, es decir durante la siembra en campo, las características y ventajas del nuevo concepto propuesto, el cual fue probado a nivel laboratorio con una unidad experimental del dispositivo dosificador.

En cuanto al diseño del prototipo de la sembradora de precisión para ajo, como una máquina entera que aplica el concepto nuevo de la dosificación de semilla, se tomaron las siguientes consideraciones:

La sembradora tendrá la forma de un implemento suspendido en el enganche de tres puntos de un tractor agrícola de potencia mediana.

Se adaptará a la siembra en surcos, con dos hilos por surco, abarcando dos surcos de separación variable.

Contará con depósitos para la semilla (tolvas), que permiten la siembra en un tramo de 400 m como mínimo, sin necesidad de reabastecimiento.

Contará con elementos propios de una sembradora, como los abridores de hileras y tapadores, de forma convencional.

El accionamiento de los mecanismos de la sembradora se efectuará mediante:

- Una rueda copiadora, para sincronizar el dosificador con el avance de la máquina, con posibilidad de variar la distancia entre semillas depositadas de acuerdo al tamaño de ésta.
- La toma de fuerza del tractor, para propulsar el extractor centrífugo (generador de la succión, a través de un multiplicador de revoluciones).
- Sistema hidráulico del tractor, para suministrar el aceite a presión a los motores hidráulicos del sistema vibratorio de agitación de semilla, con posibilidad de variar la frecuencia de dichas vibraciones.
- Sistema eléctrico del tractor, para accionar un ventilador centrífugo con motor eléctrico, que genera el flujo a presión.

Algunos de sus componentes estructurales, como barra porta-herramienta, mecanismo de paralelogramo, extractor centrífugo con su transmisión por banda, flecha cardán, etc., serán comerciales, con el fin de facilitar el proceso de fabricación del prototipo. Dichos componentes forman parte de una sembradora de granos para labranza cero, fabricada por una empresa de la región y desarrollada hace 8 años en forma conjunta con nuestro Instituto, bajo el convenio de colaboración apoyado por el CONCYTEG. A continuación se muestra la fig. 79 de la sembradora comercial mencionada.



fig. 79 Sembradora comercial.

7.2 Diseño detallado, fabricación y ensamble de la máquina

El diseño y ensamble del prototipo de la sembradora se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. La fabricación de los elementos estructurales, se realizó en parte en el taller del mismo Instituto y en parte en los talleres externos, cuando no se contaba con equipo de fabricación requerido. Se elaboraron dibujos de todos los detalles, conjuntos y mecanismos de la máquina desarrollada, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

Barra porta-herramienta con elementos para sujetar las unidades de siembra y permitir el acoplamiento al enganche de tres puntos del tractor agrícola,

Módulo de suspensión y copiado, que recibe parte del peso del implemento suspendido sobre el enganche del tractor, permite el ajuste de la altura y accionamiento del dosificador en sincronización con el avance de la máquina.

-Módulo de siembra,

-Sistema de generación de vacío,

-Sistema de generación de presión,

-Sistema de accionamiento de los discos dosificadores, sincronizado con el avance de la máquina.

A continuación se muestra un dibujo general del ensamble y las fotos del prototipo construido fig. 80, 81 y 82.

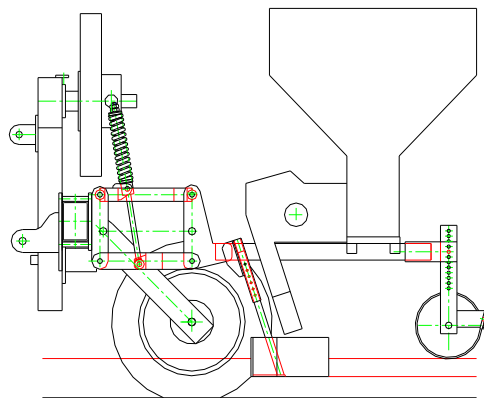


fig. 80 Vista lateral general del ensamble



fig. 81 Vista frontal del prototipo



fig. 82 Vista lateral del prototipo

A continuación se describen con más detalles los conjuntos del prototipo desarrollado.

7.2.1 Barra porta-herramienta

Consiste en un tramo de 2.5 metros de un perfil tubular rectangular, de 6" x 4" de sección transversal y 3/16" de espesor de la pared. En su parte central soporta la estructura de la caja de transmisión para el extractor centrífugo y dos orejas para acoplar la barra de "tercer punto" del enganche del tractor.

A los lados de la caja mencionada, dispuestos de manera simétrica, se observan las placas-abrazaderas con pernos, que en su parte delantera llevan orejas para acoplarse a los brazos inferiores del enganche del tractor y en su parte trasera forman base para el mecanismo de paralelogramo del marco del módulo de siembra. Dichos conjuntos pueden deslizarse a lo largo de la barra porta-herramienta y fijarse en la posición deseada de acuerdo a la separación entre los surcos del cultivo.

En los extremos de la barra, mediante conjuntos de placas-abrazaderas con pernos, vienen unidos los módulos de suspensión y copiado, cuya posición también es ajustable de acuerdo a la geometría del cultivo.

7.2.2 Módulo de suspensión y copiado

Consta de un brazo, pivoteado con respecto a la barra porta-herramienta, un eje con maza y un rin con la llanta. Cuenta con un mecanismo para ajustar la posición angular del brazo con respecto a la barra porta-herramienta y con ello facilitar el acomodo del módulo de siembra a la altura del surco. Aloja también un juego de catalinas y cadenas, que forman parte del sistema de accionamiento del dosificador, al transmitir el movimiento de rotación generado por la rueda, conforme avanza la máquina fig. 83.

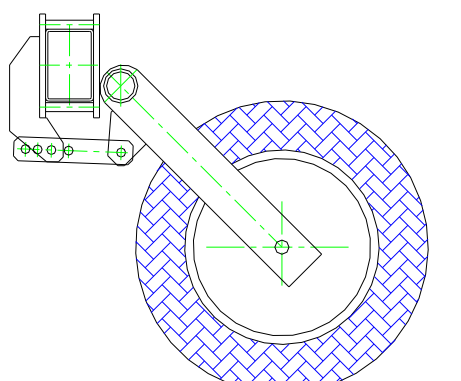


fig. 83 Componentes principales del módulo de suspensión y copiado

Por su geometría, espacio disponible dentro del implemento y la economía, resultó más conveniente el empleo de la rueda comercial del automóvil Volkswagen Sedán, para lo cual se diseñó un aditamento tipo maza, adaptándola al eje del brazo de la sembradora fig. 84 y Fig. 85.

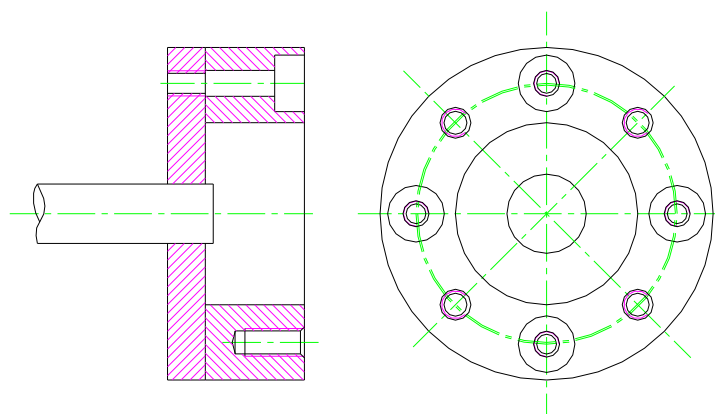


fig. 84 Sección del conjunto de eje con maza de la rueda

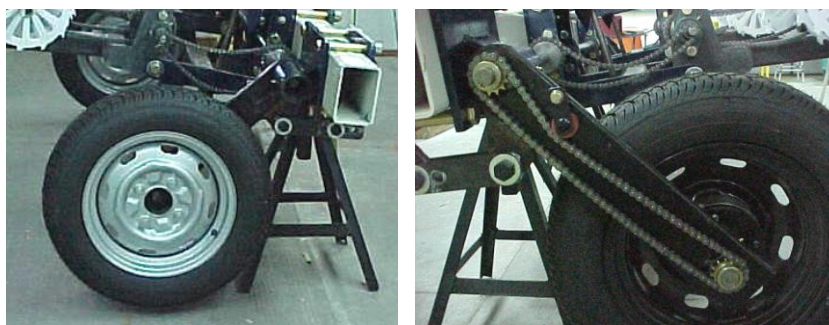


fig. 85 Componentes del conjunto del módulo de suspensión y copiado.

7.2.3 Módulo de siembra

El módulo de siembra es un conjunto unido a la barra porta-herramienta, que corresponde a un surco cubierto por el implemento y cuya función es abrir dos hileras, separadas 30 cm una de la otra, depositar semillas en los fondos de las hileras de manera ordenada y finalmente tapar las semillas con la tierra, cerrando las hileras abiertas. Consta de los siguientes componentes fig. 86:

- Marco
- Tolva
- Mecanismo agitador
- Distribuidor del vacío
- Disco dosificador

- Cubierta
- Abridor de hileras
- Tapador de hileras

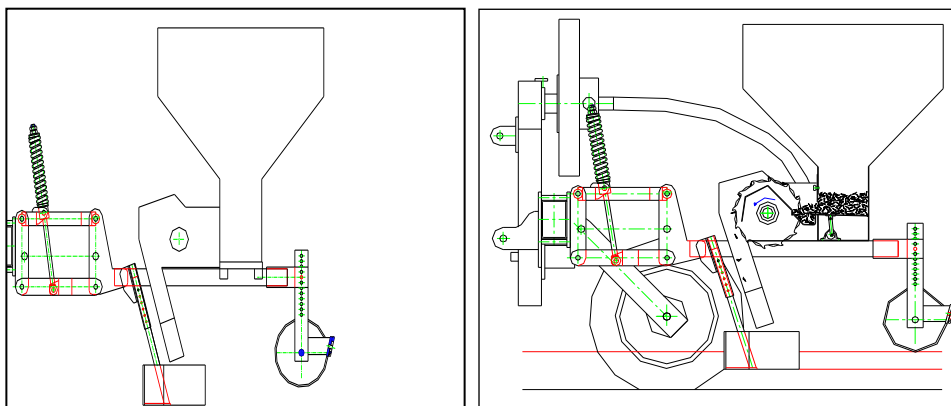


fig. 86 Vista general del módulo de siembra

➤ El marco

Es una estructura, que soporta todos los componentes del módulo de siembra y mediante la cual el último se une a la barra porta-herramienta, con posibilidad de desplazarse para ajustarse a la separación entre surcos a sembrar. Consiste en un mecanismo de paralelogramo, que permite al módulo seguir el perfil del surco independientemente de la altura del implemento, y de un bastidor de perfil tubular, extendido hacia atrás, que da apoyo a todos los componentes del módulo fig. 87.



fig. 87 Vistas del marco en su temprana etapa del desarrollo

Como se observa en las fotos, el mecanismo de paralelogramo cuenta con un resorte helicoidal, que trabaja a compresión y cuya función es la de transferir la mayor parte del peso del módulo de siembra hacia el enganche del tractor, con el fin de reducir la reacción entre los tapadores de hileras y el suelo, para que los últimos sigan el perfil del surco sin enterrarse excesivamente. Contando con los resortes comerciales, utilizados en las sembradoras de labranza cero para transferir el peso hacia los cortadores de residuos y con base en la geometría del mecanismo de paralelogramo se determinó la posición óptima y compresión inicial del resorte, con el criterio de mantener constante la reacción entre los tapadores de hilera y el suelo en todo el ángulo de trabajo previsto para el mecanismo de paralelogramo, fig. 88.

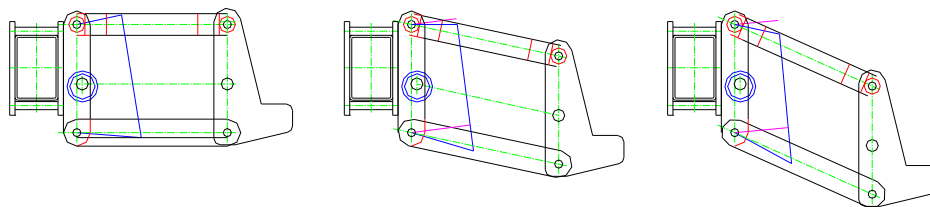


fig. 88 Paralelogramo

La fig. 88 muestra dibujos utilizados en el análisis de las fuerzas y momentos, para establecer la posición y diseñar los soportes del resorte helicoidal, para la transferencia del peso hacia el enganche.

➤ **La tolva**

Una tolva de cada módulo de siembra tiene la capacidad de 180 dcm^3 , lo que corresponde a 100 kg de semilla de ajo, aproximadamente. Esta cantidad permite sembrar dos hileras a lo largo de un tramo de 400 m con ajo grande, 600 m con mediano y 1 000 m con chico, sin necesidad de reabastecerse. Está hecha de lámina lisa unida a un esqueleto de ángulo. El fondo de la tolva, articulado en su extremo posterior, se extiende hacia adelante más allá de la tolva, formando un piso vibratorio en la zona de adherencia de semilla, donde operan los discos dosificadores. fFig. 89

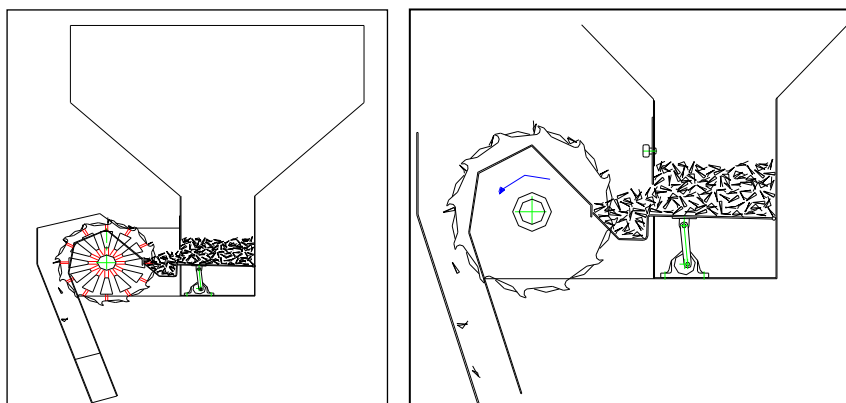


fig. 89 Esquema funcionamiento de la tolva

➤ Mecanismo agitador

Su función es la de generar oscilación del piso articulado arriba mencionado, con el objeto de agitar o fluidizar parcialmente los ajos, que se encuentran en la zona de adherencia. Consta de un eje con juego de discos de excentricidad ajustable, dos chumaceras de pie, un acoplamiento flexible, a través del cual dicho eje se une con el motor hidráulico, que lo acciona.

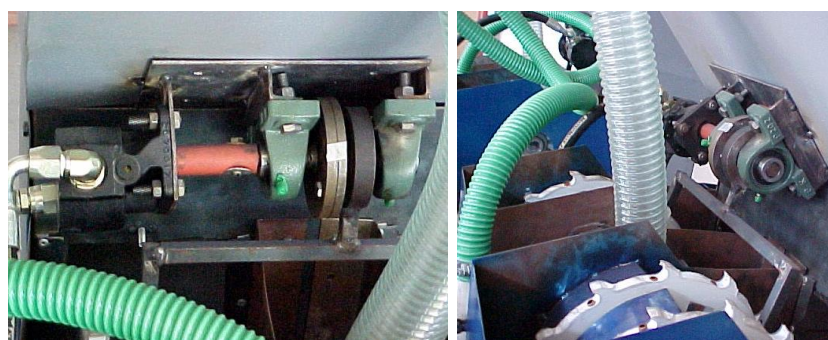


fig. 90 Sistema de vibración y esquema de construcción

El disco excéntrico transmite su movimiento de oscilación al piso vibratorio mediante un marco especial fig. 90.

Todo el conjunto viene sujeto a la pared delantera inferior de la tolva, mediante una placa-base. La potencia hidráulica para el accionamiento de los motores hidráulicos la proporciona el tractor agrícola, mediante su salida hidráulica. El circuito hidráulico de accionamiento de los motores incluye una válvula divisora de flujo 50:50 y una válvula

reguladora de flujo con presión compensada para el ajuste de las revoluciones de los motores hidráulicos, fig. 91.

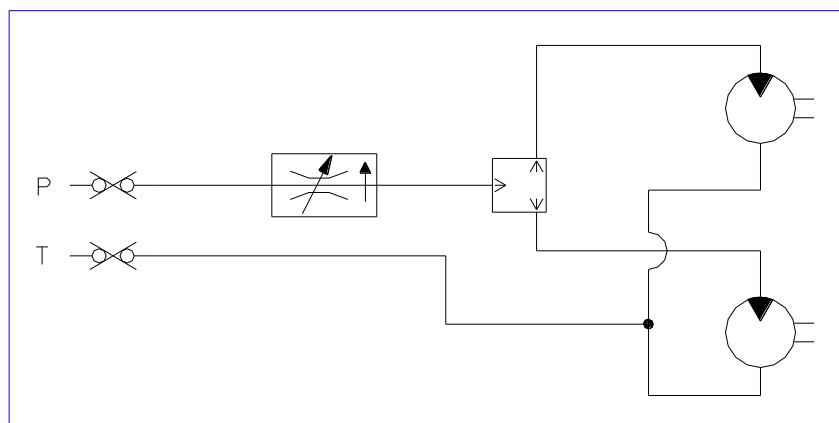


fig. 91 Circuito hidráulico del sistema de vibración

Lo anterior, junto con el ajuste de la de la excentricidad de los disco, permite establecer la frecuencia y amplitud de la oscilación del piso, de acuerdo a los valores óptimos determinados durante las pruebas de laboratorio.

➤ **Distribuidor del vacío**

Es uno de los elementos principales del dispositivo dosificador. Su función es dar soporte a los discos dosificadores, suministrando la succión y la presión a los orificios en su periferia, en las fases de vuelta correspondientes a la adherencia y la liberación de semilla, respectivamente, fig. 92.

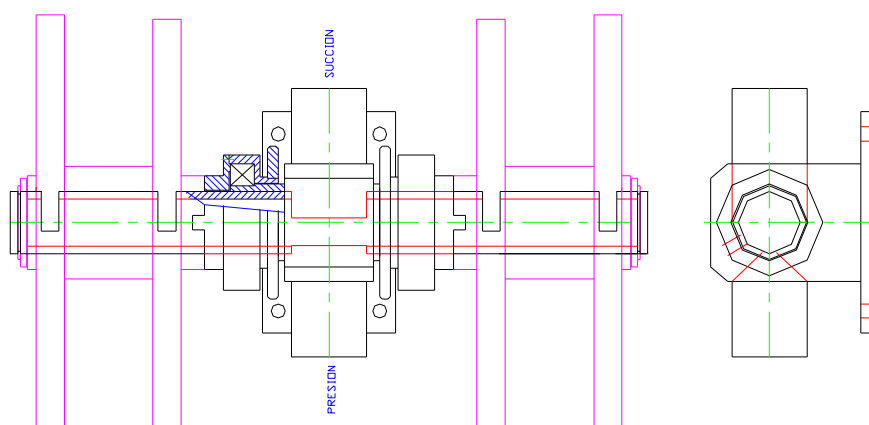


fig. 92 Esquema de funcionamiento del sistema dosificador

Consta de un cuerpo central, atornillado sobre el marco, que aloja un eje hueco de acero inoxidable, dividido longitudinalmente en dos secciones internas, herméticamente separadas, para succión y presión, con una serie de ranuras en la periferia, a través de las cuales dichas secciones se conectan con los conductos radiales de los discos, conforme giran estos. Es un arreglo simétrico, donde cada pareja de discos dosificadores colocados sobre un buje de nylacero, ajustado y sellado con los “O”-rings sobre el eje forma una unidad, que gira accionada mediante una transmisión por cadena y un embrague de garras integrado. El cuerpo central cuenta con dos salidas tubulares para la conexión de mangueras de succión y presión, respectivamente, fig. 93.

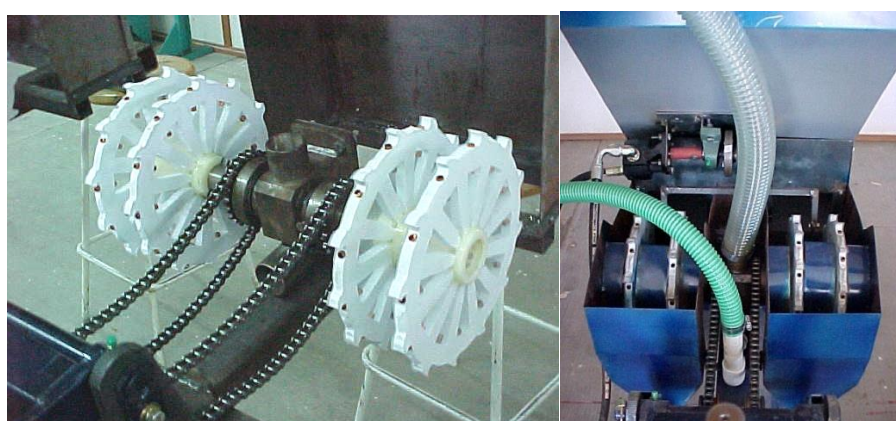


fig. 93 Distribuidor de vacío con los discos montados y ensamble final del conjunto

➤ **Disco dosificador**

Es el componente más importante del dosificador neumático, cuyo desempeño se refleja directamente en la precisión de la siembra. Su diseño final es el efecto de una larga etapa de investigación y experimentación a nivel laboratorio, descrita anteriormente, donde utilizando un banco de pruebas se iba evolucionando su forma, hasta obtener resultados satisfactorios fig. 94.

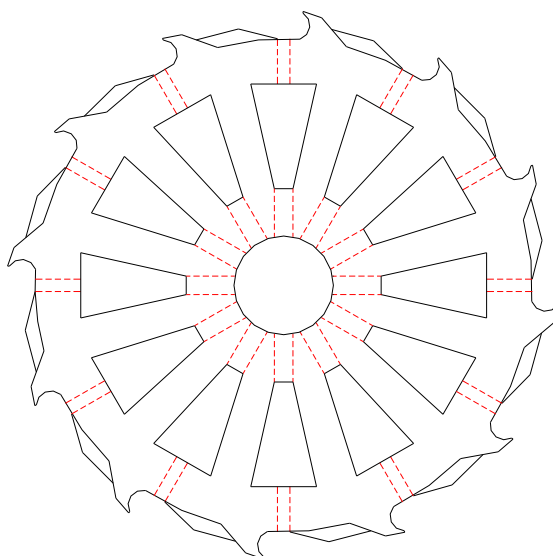


fig. 94 Dibujo del disco. Conductos internos radiales y lomos en la periferia.

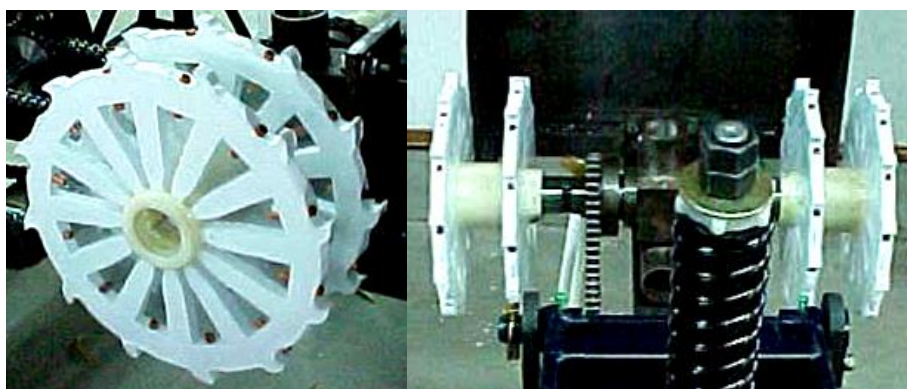


fig. 95 Detalle del desfasamiento angular entre los discos de cada pareja.

En la fabricación de los discos se utilizaron hojas de acrílico transparente, láminas de hule blanco, barra de nylacero y tubo de cobre. Como se observa cada módulo de siembra emplea dos discos dobles, uno para cada hilera de siembra, fig. 95.

➤ **Cubierta**

Es una estructura de lámina lisa que rodea al conjunto dosificador, formado por el distribuidor de vacío y dos discos dobles. Consta de dos partes simétricas, fig. 96.

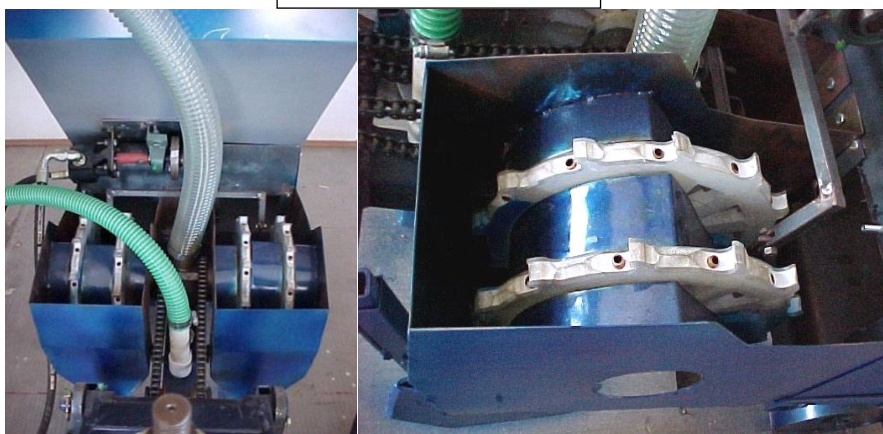
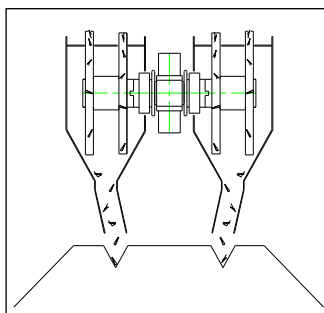


fig. 96 Tolva, dispositivo dosificador y conducto de descarga

Se extiende desde la tolva, limitando el espacio de adherencia de semilla, donde operan los discos y cuyo fondo constituye el piso vibratorio de la tolva. Cubre el espacio entre los discos, asegurando el retorno de los ajos de sobra, que al ser levantados casualmente por empuje mecánico, caen por efecto de gravedad antes de llegar a la zona de descarga, gracias a la forma achaflanada del lomo del disco. Hacia delante, en la trayectoria descendente del disco dosificador, forma un conducto, que al estrecharse lateralmente termina en un solo tubo de descarga por cada hilera de siembra; en su extremo inferior dicho tubo se traslapa con los abridores de hileras, propiciando así la deposición correcta de la semilla.

➤ **Abridores y tapadores de hileras**

El abridor de hilera es un aditamento, unido al marco del módulo de siembra, cuya función es la de abrir una ranura en el surco, de ancho y profundidad adecuados, así

como propiciar las condiciones para una deposición uniforme de la semilla que sale del conducto de descarga de la cubierta de la unidad de dosificación, fig. 97.

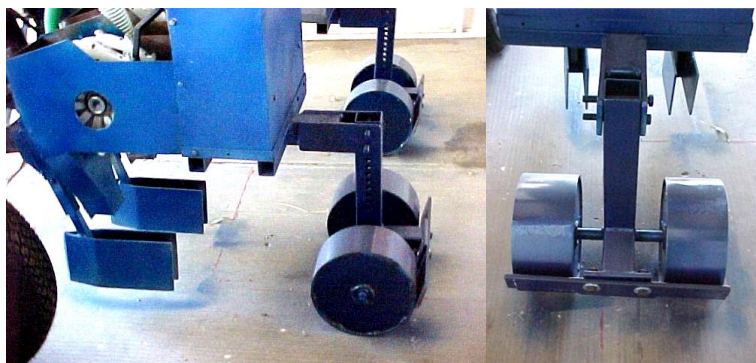


fig. 97 Vistas del conjunto de abridores y tapadores de hileras para un surco

Los tapadores de hilera apisonan la tierra que va cayendo atrás de los abridores, cubriendo la semilla depositada. Su otra función es la de constituir el punto de apoyo del módulo de siembra sobre el suelo, manteniendo así la profundidad correcta de deposición de semilla. Tanto los abridores, como los tapadores son de diseño que permite el ajuste de altura con respecto al marco del módulo de siembra. Los tapadores tienen la forma de rodillos, que giran libremente alrededor de un eje fijo con rodamientos. Hacen uso de una cuchilla ajustable para evitar la acumulación de la tierra adherida a la periferia del rodillo, fig. 98

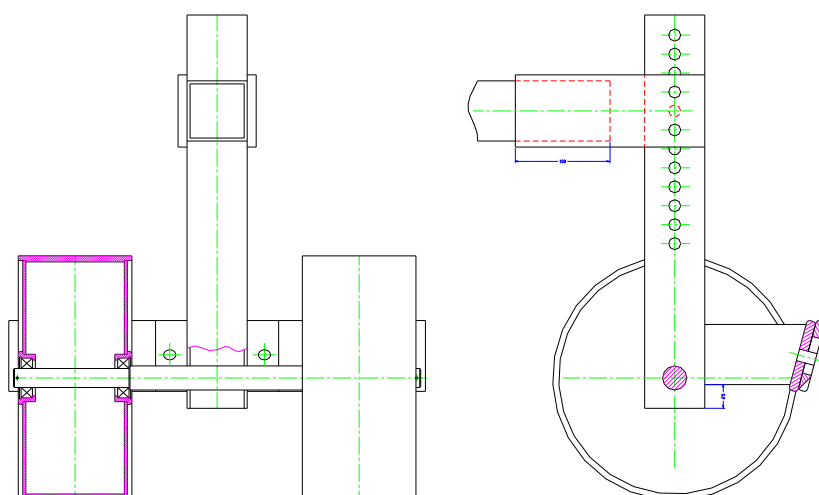


fig. 98 Dibujo del conjunto de tapadores de hilera

7.2.4 Sistema de generación de vacío

Su componente principal constituye un extractor centrífugo, propulsado por la toma de fuerza del tractor a través de la flecha cardán y una transmisión por correa estriada, que aumenta las revoluciones en relación teórica 9:1 en la relación original, adquirida como parte de la sembradora comercial, mencionada anteriormente, fig. 99.

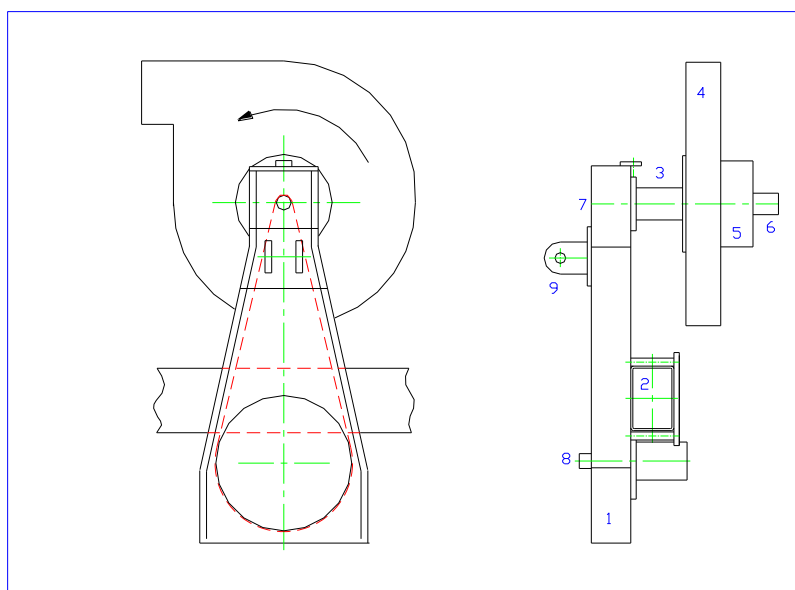


fig. 99 Esquemas de los componentes del sistema de transmisión de potencia del extractor centrífugo.

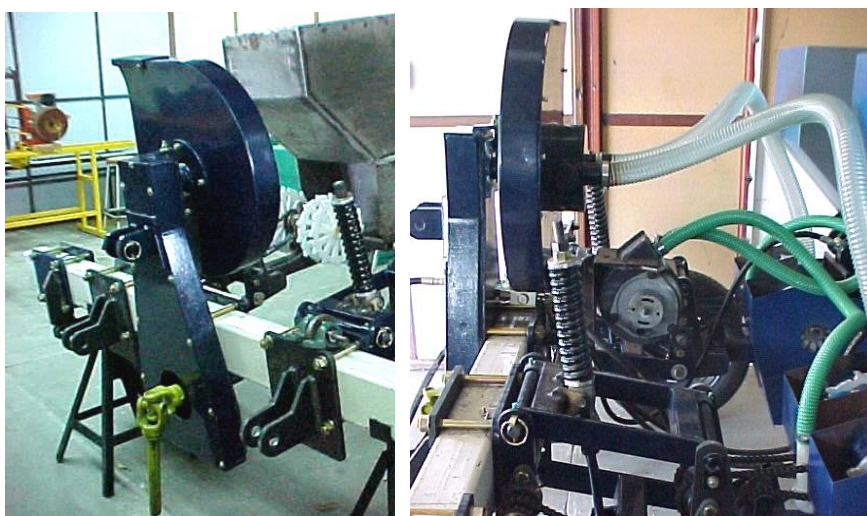


fig. 100 Vista frontal y vista lateral del sistema de transmisión de potencia del extractor.

La toma de fuerza del tractor, mediante una flecha cardán, acciona la polea grande de 320 mm de diámetro exterior, colocada sobre el eje inferior de la transmisión por banda estriada tipo PK1835 (multiV con 12 estrías tamaño PK y 1835 mm de largo). La potencia transmitida por la banda está recibida por la polea chica de 35 mm de diámetro, colocada sobre el eje superior. Ambas poleas y sus ejes están sujetas dentro de la caja 1 unida a su vez a la barra porta-herramienta, mediante placas abrazaderas con tornillos. La caja cuenta también con dos orejas a los que se acopla la barra de tercer punto del enganche del tractor, fig. 100.

El ajuste de la tensión de la banda se realiza desplazando con un tornillo la brida de acoplamiento del extractor, con respecto a la caja. La brida mencionada aloja un par de rodamientos para el eje del extractor y a su plato posterior viene atornillada la carcasa (caracol), que aloja a su vez el rotor del extractor centrífugo.

Por el lado de entrada de aire la carcasa del rotor forma un embudo, que termina con los segmentos de tubos, para conectar las mangueras anilladas de 2" de diámetro interior, que conducen la succión hasta los distribuidores de vacío respectivos de cada módulo de siembra.

El extractor mostrado, adquirido como componente de una sembradora comercial para granos, desarrollada en forma conjunta con nuestro Instituto, cuenta con un rotor de 16" de diámetro, capaz de producir un nivel de vacío suficiente para satisfacer la demanda específica en esta clase de sembradoras. Como se menciona anteriormente, para la semilla de ajo se requiere mayor succión debido al tamaño y forma del diente. En el Capítulo 2. se describen las pruebas de laboratorio con el prototipo del dispositivo de siembra, mediante las cuales se determinó el nivel de 25 plg de agua como mínimo requerido para un desempeño satisfactorio del dicho dispositivo. Para verificar el comportamiento del sistema de generación del vacío en el prototipo de la sembradora desarrollado, se realizaron pruebas, acoplando la máquina al tractor agrícola Massey Ferguson 285. Variando las revoluciones del motor del tractor, se medía el valor del vacío directamente en la entrada del aire al extractor (tubo) y en los orificios en la

periferia del disco, primero dejándolos destapados y luego tapándolos, excepto el orificio donde se efectuaba la medición. El último caso se asemeja al estado normal de trabajo, cuando los agujeros con succión van llevando las semillas adheridas. Los resultados se presentan en la tabla abajo.

Tabla 40 Resultados de la prueba del extractor centrífugo

Revol. del motor rev/min	Rev. PTF rev/min	Vacío plg de agua		
		directo	orificios destapados	orificios tapados
1500	450	20	10	13
1700	517	26	12	15
1800	560	28	14	18
1900	580	30	15	20

Como puede observarse, a pesar de emplear las revoluciones muy elevadas de la toma de fuerza no se lograron los niveles del vacío requeridos. Se realizaron algunas modificaciones con el fin de mejorar el rendimiento del extractor. Se amplió la apertura de la salida del aire del caracol y se agregó al rotor, fundido de aluminio, un disco con brida cilíndrica, tratando con ello separar la zona de succión de la de presión dentro de la carcasa. Se repitieron las mismas pruebas, midiendo adicionalmente las revoluciones del rotor, para determinar el grado de patinamiento de la banda de la transmisión. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 41 Resultados de la prueba del extractor centrífugo con modificaciones

Motor rev/min	PTF rev/min	Rotor rev/min	Relación de transmisión	Vacío plg de agua		
				Directo	Orificios destapados	Orificios Tapados
1500	456	4000	8.77	20	10	13
1700	516	4536	8.76	26	12	15
1800	560	44895	8.74	28	14	18
1900	580	5052	8.71	30	15	20
2120	646	5600	8.67	50	20	25

Como puede observarse es posible lograr con el extractor probado el nivel de vacío satisfactorio, sin embargo para lo anterior requiere ser accionado con revoluciones mayores a 5600 por minuto, correspondientes a casi 650 rev/min de la toma de fuerza y a su vez a más de 2100 rev/min del motor del tractor. Considerando, que al realizar labores tipo siembra, se emplean revoluciones del motor relativamente bajas (no mayores a 1500), se analizaron las opciones para solucionar este problema.

De cualquier manera, las razones aquí expuestas obligaron a un rediseño del sistema de transmisión, para asegurar su desempeño satisfactorio. Como objetivo fundamental se tomó el aumento de la relación de transmisión (para trabajar con las revoluciones convenientes del motor del tractor) y aumento de la capacidad de transmisión de potencia. Lo anterior se puede lograr mediante una transmisión de dos pasos, utilizando las poleas chicas de mayor diámetro, con el fin de trabajar con mayores velocidades y menores fuerzas de la banda. La limitante en el diseño resulta de la estructura existente, que se pretende utilizar junto con la polea grande, el espacio disponible en la cercanía inmediata a la caja de transmisión actual, así como las medidas comerciales de las bandas estriadas tipo PK12, disponibles en el mercado.

Durante dos meses se realizó el diseño y fabricación de los componentes de la transmisión modificada. El esquema abajo muestra el diseño modificado de la transmisión, fig. 101.

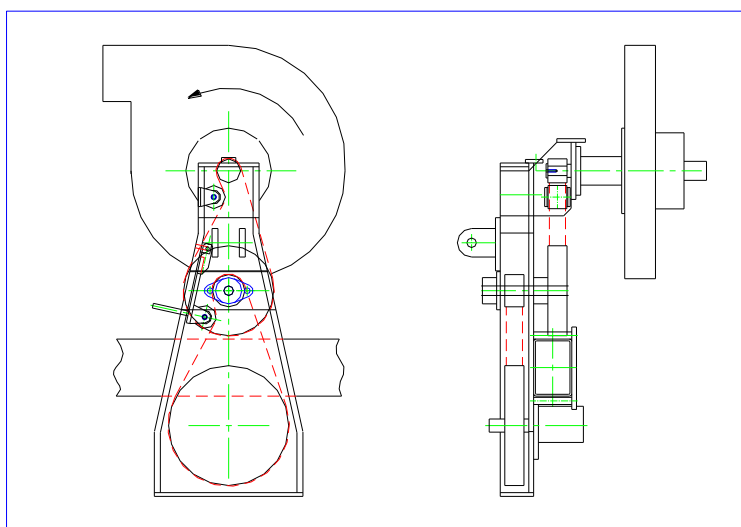


fig. 101 Sección del conjunto de eje con maza de la rueda

Se utilizó el espacio atrás de la caja actual, para colocar la segunda pareja de poleas. Se agregaron elementos estructurales y chumaceras para soportar el eje intermedio. Se emplearon tensores en forma de rodillos en ambos pasos de la transmisión para aumentar el ángulo de abrazamiento en poleas chicas accionadas.

Se modificó la estructura de soporte para la brida, a través de la cual se une y sostiene la carcasa del extractor sobre el cuerpo de la caja de transmisión. Esta unión desempeña a la vez la función del tensor para el segundo paso de la transmisión, utilizando un tornillo de ajuste. En el esquema abajo se presenta la estructura en cuestión, fig. 102.

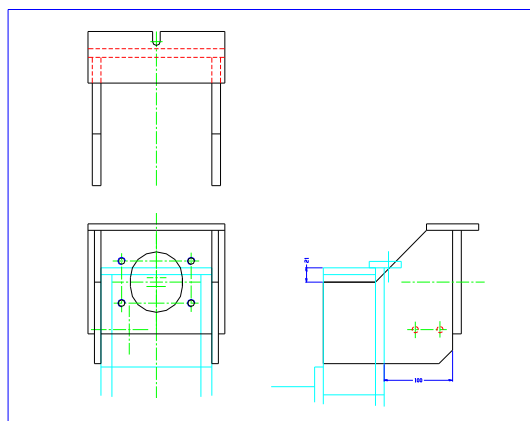
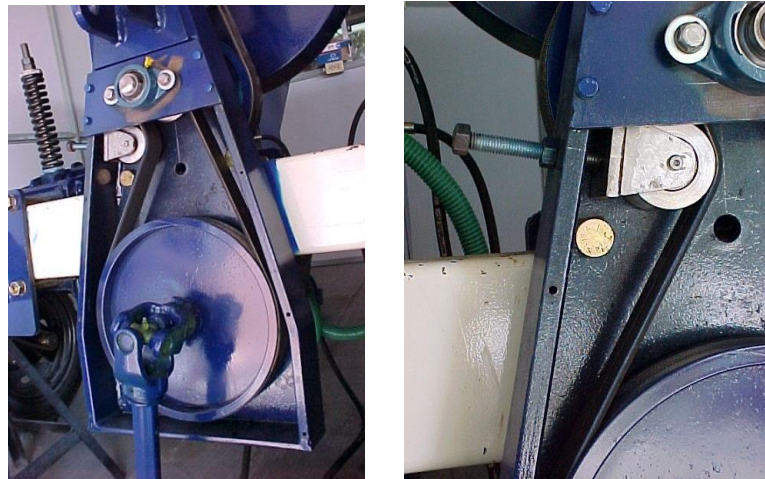


fig. 102 Sección del conjunto de eje con maza de la rueda

Dados los problemas mencionados y la necesidad de aumentar el vacío se procedió inicialmente a instalar y probar el extractor, puesto que se contaría con posibilidad de trabajar con mayores revoluciones. Las fotografías a continuación presentan el ensamble del extractor con la transmisión de dos pasos, fig. 103.



fig. 103 Vistas generales de la transmisión modificada



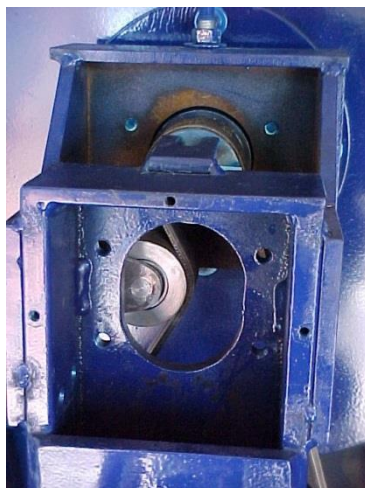


fig. 104 Opresores aplicados en ambos pasos de la transmisión

A continuación se realizan las pruebas de laboratorio, para evaluar el desempeño del sistema modificado de transmisión. Por los tamaños de las poleas nuevas utilizadas se espera una relación de transmisión de 13.95 aproximadamente, considerando 3% de deslizamiento en promedio, inherente a este tipo de transmisión, fig. 104. Se realizaron pruebas mencionadas, empleando el tractor Massey Ferguson 285, arreglando previamente su sistema hidráulico, que se encontraba fuera de servicio. La tabla abajo presenta los parámetros de trabajo de la transmisión y del extractor, determinados mediante las pruebas.

Tabla 42 Parámetros de trabajo del extractor con la transmisión

PTF MF285 rev/min	Rotor rev/min	Relación de transmisión	Vacío (pulgadas de agua)	
			directo	3 orificios tapados en cada disco
270	3720	13,8	20	10
312	4240	13,6	25	15
377	5080	13,5	35	20
400	5320	13,3	40	25
488	6400	13,1	50	32

Como se observa, los niveles de vacío, medido en los orificios del disco, alcanzan los valores mínimos requeridos para la adherencia adecuada de la semilla, desde los 400

rev/min de la toma de fuerza, lo que puede considerarse como satisfactorio. Hay que estar consciente, que la relación entre las revoluciones del motor y de la toma de fuerza de un tractor depende de su marca, modelo, potencia. Por ejemplo 400 rev/min de la PTF en el tractor Massey Ferguson 285 corresponde a 1300 rev/min de su motor, mientras que en el Ford 6600 a 1450, aproximadamente.

Determinación de la capacidad de potencia de las poleas

El sistema de transmisión está compuesto por dos pasos de relación de transmisión como se muestra en la fig. 87. Dos pares de poleas accionadas por bandas de los modelos 6PK1420 y 6PK1180, logran girar al ventilador a 6000 rev/min. Debemos considerar que estas bandas están sujetas a un incremento de velocidad y potencia transmitida en cada paso con su respectivo deslizamiento, y que ello reducirá su vida útil y limitada por la fuerza máxima permisible de la banda.

A continuación se analiza cada uno de los pasos para poder determinar la potencia y vida útil del sistema de transmisión, considerando que cada banda transmite 1.500 N y que el ventilador gira a 6000 rev/min

Calculo de la relación de transmisión total

Paso 1

Diámetro primitivo de la polea 1 = 320 mm, Diámetro primitivo de la polea 2 = 86 mm,
Relación de transmisión = $D1/D2 = 320/86 = 3,72$

Paso 2

Diámetro primitivo de la polea 3 = 240 mm, Diámetro primitivo de la polea 4 = 64 mm
Relación de transmisión = $D3/D4 = 240/64 = 3,75$
Relación de Transmisión total $RTt = RT1 \times RT2 = 3,72 \times 3,75 = 13,95$

Determinación de la potencia y velocidad de las bandas en cada paso

La capacidad de potencia de la banda es

$$N = (T1-T2)V1$$

Donde:

T1, T2: Tensión en ambos lados de la banda

V: velocidad m/s

T : tensión máxima permisible (T1,T2), debido a que son dos bandas, da como resultado
 $2 \times 1500 \text{ N} = 3,000 \text{ N}$

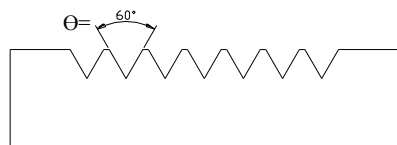
La relación entre las tensiones de ambos lados de la banda (con respecto al ángulo de abrazo) es, $e^{f\alpha/\text{sen}\Theta/2}$

donde:

f = coeficiente de fricción entre hule y metal 0,3

α = Ángulo de abrazo de la banda con la polea

Θ = Ángulo de garganta de la polea



Paso de transmisión 1 (accionamiento por la toma de fuerza)

$$n_3 = 6000 \text{ rev/min}, \quad n_1 = 6000 / RTt = 6000/13,95 = 430 \text{ rev/min}$$

Diámetro de la polea1, 320 mm, Diámetro de la polea2, 86 mm, $\Theta=60^\circ$, $f=0,3$, $\alpha = 170^\circ$
 $= 2,967 \text{ rad}$

$$T_1/T_2 = e^{f\alpha/\text{sen}\Theta/2}, \quad T_1/T_2 = e^{0,3 \times 2,967/\text{sen } 60/2} = e^{1,7802}$$

$$T_1/T_2 = 5,93 \quad T_1 = 3000 \text{ N}, \quad T_2 = 505,9 \text{ N}$$

$$V = (430 \times 2 \times 3,1416 \times 0,16) / 60 = \underline{7,2 \text{ m/s}}$$

$$N = (3000 - 506) \times 7,2 = 18 \text{ kW}$$

Segundo paso de transmisión

Diámetro de la polea 3, 240 mm, Diámetro de la polea 4, 64 mm, $\Theta=60^\circ$, $f=0,3$,
 $\alpha = 180^\circ = 3,1416 \text{ rad}$,

$$T_3/T_4 = e^{0,3 \times 3,1416/\text{sen } 60/2} = e^{1,88496}$$

$$T_3/T_4 = 6,586, \quad T_4 = 3000 \text{ N}, \quad T_3 = 455,51 \text{ N}$$

$$V = (6000 \times 2 \times 3,1416 \times 0,032) / 60 = 20,1 \underline{\text{ m/s}}$$

$$N = (3000 - 455,51) \times 20,1 = 51 \text{ kW}$$

La potencia máxima total transmitida, sumando ambos pasos, es pues 69 kW. Aplicando un coeficiente de seguridad de 3, puede suministrarse por el sistema una potencia de 33 kW, lo que se considera suficiente.

La vida útil del sistema está determinada por el paso 2 como se muestra a continuación:

Paso 1, $V = 7,2 \text{ m/s.} = 25,9 \text{ km/h}$, Vida útil = $40.000 \text{ km} / 25,9 = 1543 \text{ h}$

Paso 2, $V = 20,1 \text{ m/s.} = 72,36 \text{ km/h}$, Vida útil = $40.000 \text{ km} / 72,3 = 552,79 \text{ h}$

Considerando 10 h/día de funcionamiento de la máquina en temporada de siembra, esto significa que la máquina puede estar en funcionamiento 2 meses aproximadamente, periodo similar a la temporada de siembra de ajo en la zona Bajío.

7.2.5 Sistema de generación de presión

Como se comentó en la etapa de pruebas, resulta indispensable la aplicación de soplado a través de los conductos radiales del disco dosificador, en el tramo inferior de su trayectoria, tanto para limpiarlos de los restos de la cáscara de ajo y otras partículas contaminantes que penetran dentro de ellos por efecto de succión, como para eliminar los pedazos de las túnicas mayores, que adheridos a los orificios circulan impidiendo la adherencia de semilla, provocando fallos en la dosificación.

Para este fin se utilizó un ventilador centrífugo comercial de origen automotriz, modificando su carcasa, de modo que pudiesen conectarse dos mangueras anilladas de 1,5" de diámetro, para conducir la presión a los distribuidores en los módulos de siembra, fig. 105.

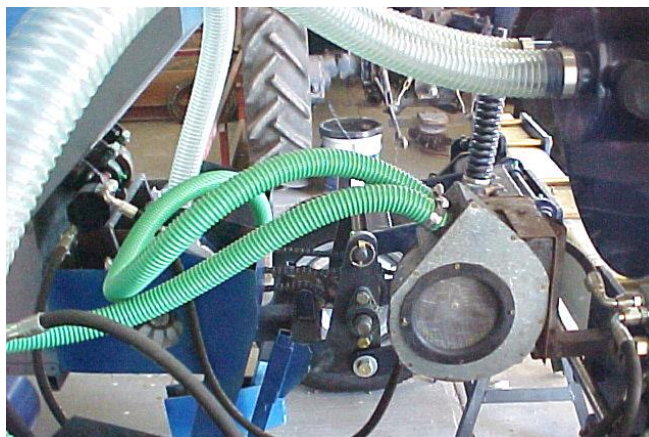


fig. 105 Ventilador centrífugo para soplar las tunicas de ajo

El ventilador está fijo a un soporte soldado a la placa-abrazadera en la parte posterior de la barra porta-herramienta, justo por debajo del extractor centrífugo. El ventilador está accionado por un motor eléctrico integrado, el cual se pretende conectar a la batería del tractor agrícola, al cual se acople el implemento.

7.2.6 Sistema de accionamiento de los discos dosificadores

Uno de los principales sistemas de una sembradora de precisión es el de accionamiento del dispositivo distribuidor de la semilla, cuya función es asegurar una deposición uniforme con separaciones deseadas entre semillas a lo largo del surco. Lo anterior puede lograrse mediante la relación de transmisión ajustable entre la rueda copidora y el disco distribuidor de la semilla y/o intercambiando los discos distribuidores según la separación requerida, en función del tipo y tamaño de la semilla. En este caso, por razones de sencillez, se optó por el primer método, común en las sembradoras de precisión, diseñando un sistema de transmisión de relación ajustable, mediante intercambio de una catalina en la cadena cinemática.

El ajo es un cultivo muy sensible a la uniformidad de la separación y posición de la semilla lo que afecta en grado significativo el rendimiento y calidad del producto. Con base en los datos agrotécnicos del cultivo se determinaron las distancias para la siembra de diferentes tamaños de la semilla, resultando 5, 6 y 7 cm para tamaño chico, mediano y grande, respectivamente. Tomando en cuenta las restricciones impuestas por

la geometría de la estructura de la máquina se determinó un arreglo óptimo de los elementos de transmisión (catalinas, cadenas y ejes), que satisface los criterios de diseño como exactitud en la distribución, facilidad de realizar los cambios de relación de transmisión, sencillez en mantenimiento y bajo costo.

El sistema de transmisión consta de tres pasos y su relación de transmisión total resulta de las separaciones entre semillas que se pretende lograr, del radio estático y patinaje de la llanta y finalmente del número de semillas entregadas en una hilera por el disco dosificador doble en una vuelta completa.

Primer paso de la transmisión por cadena es el accionamiento de un eje central a partir del eje de la rueda copiadora (rueda con llanta), fig. 106.



Fig. 106 Rueda copiadora y sistema de transmisión por cadena.

El primer paso de la transmisión por cadena, se puede apreciar en la imagen tomada con la cubierta retirada fig. 90.

El eje central se extiende a todo lo largo de la barra porta-herramienta, sostenido en cuatro chumaceras de pared, autoalineables. Lleva cuñeros pronunciados, para permitir el ajuste posicional tanto de las ruedas copiadoras, como de los módulos de siembra.

El segundo paso de la transmisión corresponde al módulo de siembra y es donde se realiza el cambio gradual de la relación de transmisión.

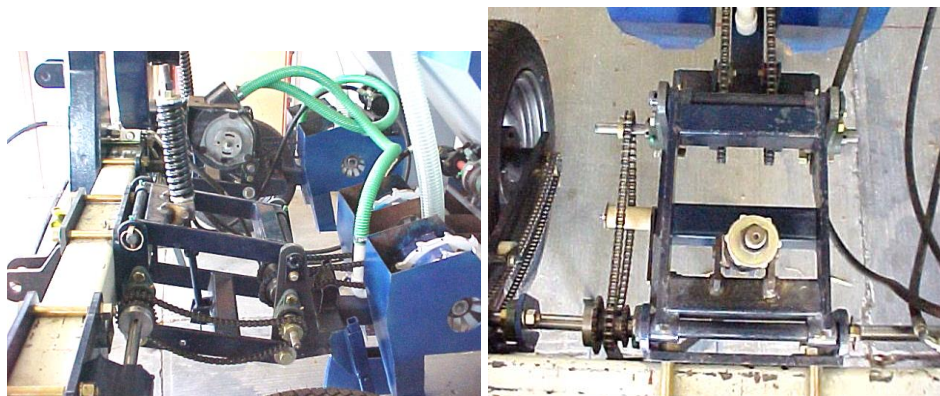


fig. 107 Vistas del segundo paso de transmisión

Vista lateral y superior del segundo paso de la transmisión. Se observa un juego de tres catarinas que permiten obtener tres diferentes relaciones de transmisión deseadas, fig. 107. El tensor ajustable elimina la holgura excesiva de la cadena, cuando ésta abraza las catarinas de menor tamaño. Las catarinas de 15, 17 y 21 dientes corresponden a las distancias de siembra de 7, 6 y 5 cm, respectivamente, con un error menor a 2%.

El tercer paso conecta el eje posterior del paralelogramo con las coronas acopladas a los ejes huecos de los discos dobles de dosificación, instalados sobre el eje hueco del distribuidor de vacío.

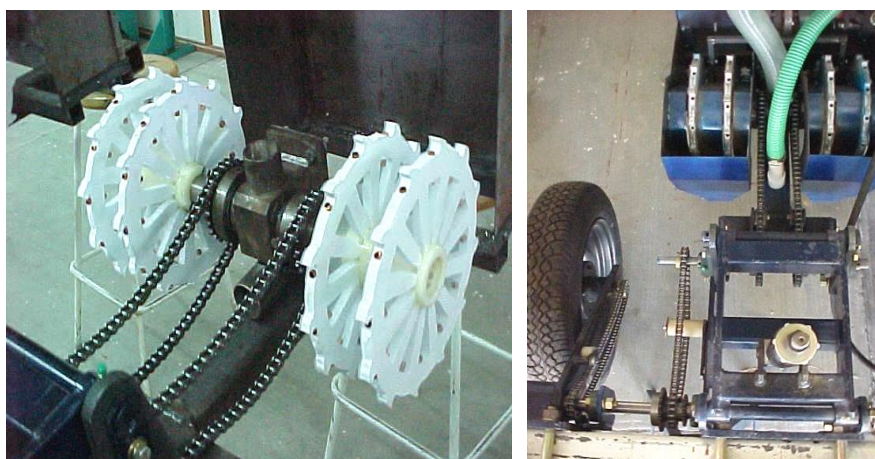


fig. 108 Tercer paso de la transmisión y armado de la transmisión

Como se observa en las fotografías, Fig. 108, para cambiar la relación de transmisión es suficiente aflojar el tensor de cadena de la segunda etapa, colocar la cadena sobre la catalina respectiva del eje central, deslizar la catalina sobre el eje posterior del paralelogramo (aflojando su opresor y volviéndolo a apretar) hasta alinearla con la correspondiente del eje central y volver a ajustar el tensor.

Todos los pasos de la transmisión contarán con tensores y cubiertas protectoras.

Una vez ensamblado el prototipo del implemento se le aplicó pintura, quedando listo para las pruebas de campo.

7.3 Pruebas preliminares con el prototipo de la sembradora fuera de parcela

Prueba 1

Su objetivo fue la verificación general del funcionamiento de todos los mecanismos del prototipo en condiciones reales de trabajo. En esta ocasión se empleó el tractor Ford 6600. Por cortesía de los investigadores del ICA, que trabajan con el cultivo del ajo, se obtuvo 10 kg de esta especie, misma que se desgranó y seleccionó manualmente, eliminando dientes de tamaño chico. Debido a esta escasa cantidad de semilla disponible se trabajó con una sola unidad de siembra.

Las pruebas iniciaron calibrando la válvula reguladora de flujo del sistema hidráulico de accionamiento de los mecanismos excéntricos de vibración de los fondos de ambas tolvas, estableciendo la frecuencia de 1500 rev/min, de acuerdo a lo reportado en las pruebas de laboratorio. Posteriormente se tensaron las bandas del sistema de transmisión y se verificó el nivel de succión generada en los orificios de los discos distribuidores, obteniéndose los valores mostrados abajo.

Tabla 43 Parámetros de trabajo de la prueba en campo del prototipo

Motor	PTF	Rotor	Relación de	Vacío
Ford 6600	rev/min	rev/min	Transmisión	orificios en disco
rev/min				plg de agua
1500	415	5600	13.5	25
1700	470	6400	13.6	30

Con estas revoluciones, la velocidad de avance del tractor oscilaba alrededor de 2 km/h, es decir entre 0.5 y 0.6 m/s. La prueba se realizó sobre un terreno plano, con el fin de dejar la semilla depositada descubierta, para apreciar la deposición con mayor facilidad. Además no se contaba con tiempo suficiente para esperar y evaluar la germinación de las plantas, programando esta actividad para una etapa posterior. Por lo anterior también se le añadieron a los rodillos tapa-surcos traseros unos aros de mayor diámetro, con el fin de impedir que pisaran la semilla depositada delante de ellos. Lo anterior se observa en la foto abajo, fig. 109.



fig. 109 Imagen del prototipo y preparación para la prueba

Se vació la semilla en la tolva izquierda, ajustando también la compuerta que controla el flujo de semilla hacia el compartimiento donde operan los discos. Se colocó la cadena del sistema de accionamiento de los discos dosificadores sobre el juego de catarinas correspondiente a la distancia entre semillas depositadas igual a 6 cm. Se

conectó a la batería del tractor el cable para accionar el ventilador que produce el flujo de aire a presión para la limpieza de los conductos y orificios de los discos distribuidores.

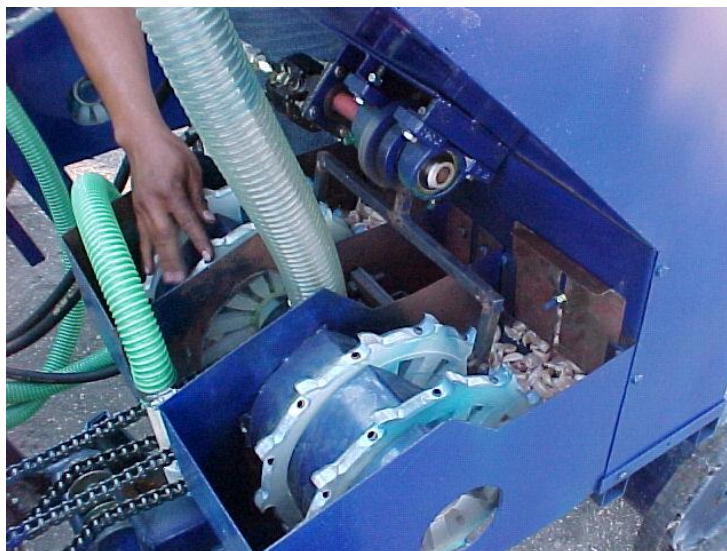


fig. 110 Vista del sistema dosificador en funcionamiento

Se observan los discos, la semilla, sistema de accionamiento del disco con catarinas y cadenas, mecanismos excéntricos de agitación de semilla con motores hidráulicos, mangueras de succión y soplado, fig. 110.

Finalmente se posicionaron los abridores de surcos, quedando justo sobre el nivel del suelo y se formaron los conductos de caída de semilla de manera provisional, utilizando cinta de plástico auto-adherible, fig. 111.



fig. 111 Colocación de cinta y calibración de los abresurcos.

Se realizó una serie de recorridos depositando la semilla en una hilera. Se observó un funcionamiento poco satisfactorio del mecanismo de agitación de semilla, probablemente debido a la demasiada flexibilidad de la pared de la tolva, a la cual viene sujeto este dispositivo, lo que aminoraba visiblemente el efecto esperado. Lo anterior afectaba considerablemente la fluencia y las condiciones requeridas para favorecer la adherencia de semilla a los orificios del disco por el efecto del vacío. Lo anterior se reflejó en la distribución de semilla no muy uniforme, puesto que de vez en cuando se formaban cavidades en las zonas de adherencia, traduciéndose en fallos en este proceso y en consecuencia en los espacios sin semilla a lo largo del trayecto recorrido, fig. 112.





fig. 112 Semilla depositada por la sembradora en la prueba

El problema de la deficiente agitación de semilla se puede solucionar soldando unos perfiles estructurales a lo largo de la pared de la tolva, junto a las placas base de los mecanismos de agitación, para asegurar mayor solidez en su apoyo.

Aunque en la prueba descrita no se logró evaluar la distribución de semilla – objetivo principal de la máquina desarrollada, se pudo comprobar el funcionamiento correcto de los demás mecanismos y dispositivos de control y ajuste de los parámetros de trabajo.

Prueba 2

La siguiente prueba se realizó en el mismo lugar, después de haber reforzado la base del soporte del mecanismo de agitación de semilla al soldar dos tramos de ángulo de 1.5”x1.5”x0.125” por el lado interior de la pared delantera de cada tolva, fig. 97. En esta ocasión se volvió a utilizar el tractor Massey Ferguson 285.



fig. 113 Sembradora antes de la prueba

Al ajustar la excentricidad del mecanismo vibrador en 2 mm, se procedió al ajuste de su velocidad (frecuencia) con la válvula reguladora de flujo, hasta encontrar agitación esperada de la semilla, que correspondió a 2300 rev/min, aproximadamente.

Se verificaron los niveles de vacío, medido con orificios destapados de dos discos de una unidad de siembra (una hilera), correspondientes a dos valores de las revoluciones de la toma de fuerza y del rotor. No se indican las revoluciones del motor, por no contar con el tacómetro del tractor en servicio.

Tabla 44 Parámetros de trabajo de la prueba en campo de posicionamiento de la semilla

PTF MF 285 rev/min	Rotor rev/min	Relación de Transmisión	Vacío (plg de agua) orificios destapados en 2 discos
450	6000	13.3	25
500	6600	13.2	35

La prueba de deposición de semilla se realizó con el primer juego de parámetros. Con estas revoluciones, la velocidad de avance del tractor fue cercana a 0.5 m/s, es decir 1.8 km/h. Se realizó un recorrido de 60 m, aproximadamente, utilizando el ajuste de relación de transmisión de accionamiento del disco dosificador, correspondiente a 6 cm de distancia entre semillas (16.6 semillas por metro).



fig. 114 Prueba de deposición de semillas

Se observaron algunos fallos en la recolección de semilla, fig. 114, principalmente debido al bajo nivel de la misma en la tolva y en consecuencia en la zona de adherencia. Se tomaron de manera aleatoria 4 tramos de 5 m cada uno, contando el número de semillas depositadas, resultando 68, 75, 81 y 77. Lo anterior da en promedio 15.05 semillas por metro, siendo el error de 9.4%, lo que lejos de excelencia, sí se puede considerar satisfactorio en comparación con el desempeño de equipos comerciales, reportado en capítulos anteriores.



fig. 115 Distribución de la semilla depositada

No se evaluó la uniformidad en la separación de la semilla depositada, puesto que las condiciones del terreno no fueron compatibles con las condiciones reales de la siembra, propiciando saltos y en consecuencia cambios no controlados en la posición, fig. 115.

Se considera, que en las condiciones normales de trabajo, en cuanto a la preparación del suelo y cantidad de semilla disponible, puede esperarse un desempeño bastante mejor, reduciendo el error a los valores deseables, por debajo de 5%.

7.4 PRUEBAS DE SIEMBRA EN CAMPO.

7.4.1 Evaluación del sistema dosificador

La siembra de ajo se realizó en una parcela de 25 por 75 metros, en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, ubicado en la Ex-hacienda “El Copal” en el municipio de Irapuato, Gto. Cuatro costales de semilla de tamaño mediano, fueron proporcionados por la empresa usuaria TECNIAGRÍCOLA. Debido a que una parte de semilla ya se encontraba en el estado de germinación, se separó la parte útil para la siembra, con la que se logró llenar en 2/3 una tolva de la sembradora, esta prueba es considerada para conocer el desempeño de la maquina directamente en campo y los ajustes necesarios de la sembradora, fig. 116.



fig. 116 Medición de parámetros durante la prueba.

En la siembra se utilizó una sola unidad de la máquina, es decir una tolva con cuatro discos, para sembrar en dos hileras separadas 30 cm. De acuerdo al tamaño de la semilla se ajustó el sistema de transmisión para obtener una distancia entre semillas depositadas de 6 cm. El extractor fue accionado con una velocidad entre 6500 y 7000 rev/min, logrando con ello el vacío de 30 a 35 pulgadas de agua, medido en los orificios

descubiertos de los cuatro discos utilizados. El eje del agitador excéntrico del fondo de la tolva se mantenía trabajando alrededor de 2500 rev/min. Se conectó a la batería del tractor el cable del ventilador-soplador de limpieza de los conductos de succión.

Durante aproximadamente una hora de siembra se pudo observar un funcionamiento prácticamente perfecto del dispositivo de separación y entrega de semilla, es decir:

- La fluencia de la semilla fue adecuada, manteniendo un nivel constante y correcto en la zona de adherencia, sin desbordarse y sin dejarse llevar “mecánicamente” los dientes de ajo fuera de la misma.
- El grado de agitación y el nivel de semilla se mantenía correcto, independientemente del nivel de semilla dentro de la tolva, aspecto muy importante desde el punto de vista práctico.
- La adherencia de semilla fue muy satisfactoria, no se observaban adherencias múltiples y el número de fallos fue mínimo, fig. 117., (esta estimación no cuantitativa se basa en la simple comparación con las pruebas anteriores, cuando se contaba con una cantidad escasa de semilla y un nivel muy bajo en la tolva y donde la evaluación indicó un porcentaje de error mayor al deseable).



fig. 117 Funcionamiento de los discos durante la prueba

El sistema modificado de transmisión por bandas estriadas funcionó perfectamente bien, asegurando el nivel de succión deseable con la velocidad de avance baja y sin mostrar signos de sobrecarga (calentamiento) o desgaste acelerado.

Se tuvo problema con el sistema de tapado de hilera exterior (izquierdo), debido primero a la falta de alineación correcta entre la sembradora y el tractor, por lo que el abridor de la hilera seguía prácticamente la huella de la llanta del tractor, sin formar una hilera profunda para ser tapada por el rodillo posterior. La falta de surcos formados también afectó negativamente el funcionamiento del sistema en cuestión. Algunos tramos, que quedaron en descubierto, permitieron apreciar la deposición de la semilla, fig. 118.



fig. 118 Semilla depositada sin cubrir sobre el terreno.

La humedad del suelo fue la otra causa del funcionamiento poco satisfactorio del sistema de tapa-surcos. El suelo arcilloso con paja se pegaba a la periferia de los rodillos, atorándose contra las cuchillas limpiadoras. Lo anterior impedía su rotación y en consecuencia causaba un amontonamiento de tierra en frente de ellos, hasta afectar la zona de caída de semilla. La eliminación de cuchillas limpiadoras resolvió parcialmente el problema, ya que los rodillos se cubrían inmediatamente con un “anillo” de tierra pegada, que afectaba negativamente su desempeño, fig. 119.



fig. 119 Detalles de atasco de las ruedas tapadoras debido al exceso de humedad

Considerando que la siembra en suelo mojado no es común para este cultivo, se puede considerar que el funcionamiento de la máquina, principalmente desde punto de vista del dispositivo de dosificación, objeto de este proyecto y para el cual se llevó a cabo esta prueba, fue satisfactorio. Los resultados de germinación se evaluarán en pruebas posteriores con suelos secos para poder así determinar con ello la profundidad y el tapado de la semilla.

7.4.2 Evaluación de la deposición de las semillas

Se realizan varios experimentos a fin de determinar cuál es el efecto los parámetros: velocidad de avance, nivel de llenado de la tolva, nivel de oscilaciones del fondo de la tolva y nivel de vacío, sobre la función de distribución de las semillas, cuando la sembradora trabaja en condiciones reales de campo.

Se efectúan tres experimentos para cada parámetro. En cada experimento se ajusta éste a un nivel, mientras el resto permanecen constantes. Se sembrarán 20 m y se recogerán los datos de distancia entre las semillas depositadas en cuatro intervalos de un metro cada uno, seleccionadas aleatoriamente del total de los 20 m.

No obstante, previo a realizar los diferentes experimentos, hubo que caracterizar los tipos de semilla empleados en la prueba. Se tomaron varias muestras, y se clasificaron en tres tamaños como se indican en la fig. 120 y Tablas Tabla 42 y 43.



fig.120 Diferentes tamaños de semilla

Tabla 45 Características de la semilla empleada

Tipo de semilla	Densidad	Número de semillas / kg
1	0,487	267
2	0,506	189
3	0,524	161
4	0,485	85

Tabla 46 Características promedio de ajo americano blanco.

Características promedio del ajo Blanco americano				
Tipo	Peso(g)	Dimensiones (cm)		
		Longitud	Transversal	Grosor
1	3,14	3,27	1,83	1,27
2	5,52	3,23	2,32	1,51
3	6,52	3,21	2,35	1,75
4	9,84	3,36	2,96	1,94

Experimento UNO. Efecto del Nivel de llenado de la tolva

Se probaron tres alturas de abertura de compuerta (50%, 75% y 100%) como se muestra en la fig. 104.



fig. 121 Niveles abertura de compuerta de abastecimiento, 50%, 75% y 100%.

Las condiciones de la prueba fueron:

- Régimen de giro del tractor: 540 rpm
- Nivel de succión: 30” de agua
- Frecuencia de vibración de fondo de tolva: 2500 Hz
- Velocidad de avance del tractor: 2,11 km/h

Se observa que los datos no siguen una distribución normal, por lo que en lugar de un análisis ANOVA, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 7.X) que evaluará la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las condiciones del factor es la misma. Primero se combinan los datos de todas las pruebas y se ordenan de menor a mayor. Después, se calcula el rango promedio para los datos de cada columna. Puesto que el valor-P de la tabla es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Por tanto podemos concluir que en condiciones de campo no hay una influencia significativa del nivel de abertura de la compuerta.

Tabla 47 Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de compuerta

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Nivel 50%	25	54,84
Nivel 75%	34	47,3382
Nivel 100%	39	47,9615
	Estadístico = 1,19723	Valor- P = 0,549571

Experimento DOS. Efecto del Nivel de vacío

Las condiciones de la prueba fueron:

- Régimen de giro del tractor: 450, 490 y 540 rpm
- Nivel de succión: 20”, 25” y 30” de agua
- Frecuencia de vibración de fondo de tolva: 2500 Hz
- Velocidad de avance del tractor: 2,11 km/h

Se observa que los datos no siguen una distribución normal, por lo que en lugar de un análisis ANOVA, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 7.X). Puesto que el valor-P de la tabla es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Por tanto podemos concluir que en condiciones de campo no hay una influencia significativa del nivel de abertura de la compuerta.

Tabla 48 Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de vacío

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
20”	30	56,0667
25”	33	49,9394
30”	37	46,4865
	Estadístico = 1,83266	Valor-P = 0,399984

Experimento TRES. Efecto de la velocidad de avance del tractor

Las condiciones de la prueba fueron:

- Régimen de giro del tractor: 540 rpm
- Nivel de succión: 30” de agua
- Frecuencia de vibración de fondo de tolva: 2500 Hz
- Velocidad de avance del tractor: 1,5 km/h, 2,11 km/h y 4 km/h

Se observa que los datos no siguen una distribución normal, por lo que en lugar de un análisis ANOVA, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 7.X). De la tabla se desprende que sí bien sí que el valor P es más cercano a 0,05, sigue sin resultar significativo el efecto de la velocidad de avance del tractor. En la figura 7.X se observa el gráfico de caja y bigotes para las tres muestras. Se puede comprobar un pequeño aumento en la dispersión de los resultados para la velocidad de avance de 4,11 km/h

Tabla 49 Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de avance del tractor

	Tamaño de Muestra	Rango Promedio
Nivel 50%	47	49,5426
Nivel 75%	39	56,2564
Nivel 100%	25	67,74
	Estadístico = 5,24051	Valor-P = 0,0727842

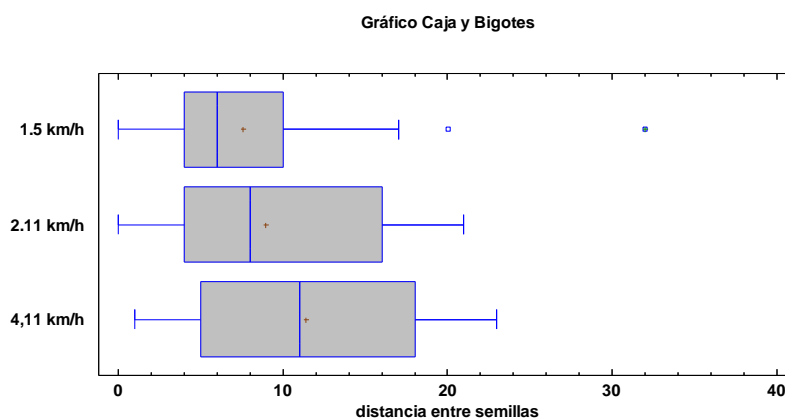


Fig. 122 Gráficos de caja y bigotes para diferentes velocidades de avance

Experimento CUATRO. Efecto del nivel de oscilación del fondo de la tolva

Las condiciones de la prueba fueron:

- Régimen de giro del tractor: 540 rpm
- Nivel de succión: 30" de agua
- Frecuencia de vibración de fondo de tolva: 1500Hz, 2000Hz y 2500 Hz
- Velocidad de avance del tractor: 2,11 km/h

Se observa que los datos no siguen una distribución normal, por lo que en lugar de un análisis ANOVA, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 7.X). Puesto que el valor-P de la tabla es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Por tanto podemos concluir que en condiciones de campo no hay una influencia significativa del nivel de abertura de la compuerta.

Tabla 50 Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de oscilación

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
1500Hz	34	55,5735
2000Hz	37	55,7432
2500Hz	39	55,2051
	Estadístico = 0,00568394	Valor-P = 0,997162

7.4.3 Conclusiones de las pruebas de campo

Como se ha comentado anteriormente, desde el punto de vista de la dosificación, el funcionamiento del dispositivo de separación y entrega de semilla ha sido correcto en las pruebas de campo, con un desempeño similar al obtenido en las condiciones de laboratorio descritas en el capítulo 6.

Respecto a la distribución de la semilla en campo, se ha comprobado que el efecto de cada una de las variables estudiadas - velocidad de avance del tractor, nivel de llenado de la tolva, nivel de oscilación, nivel de succión- no resulta estadísticamente significativo. No obstante, si se observa que en el caso de la velocidad de avance, al aumentar ésta, la dispersión de los resultados es algo superior.

Por otra parte, los valores obtenidos en todos los casos son similares a los registrados en las pruebas preliminares de laboratorio. Lo que satisface la operatividad de la máquina en campo, que indirectamente validan la estabilidad de la estructura, suspensión, abridores de surco, etc

CONCLUSIONES GENERALES

1. La importancia económica del cultivo del ajo mostrada en los capítulos iniciales, junto a la escasa mecanización de la siembra en las explotaciones mexicanas, llevan a la conclusión de desarrollar y aplicar sistemas mecánicos eficientes de siembra de precisión en México.
2. Del estudio comparado entre equipos de sembradoras mecánicas y neumáticas se deduce el interés por estas últimas. No obstante, están necesitadas de mejorar y diseñar nuevos dispositivos de dosificación que aumenten su calidad de trabajo.
3. Un banco de ensayo para pruebas de un dispositivo original de siembra neumático, debe contar con aquellos elementos que permitan por un lado, la aplicación de normas para homologación de la máquina -como se ha observado en buen número de países, y por otro, satisfacer los fines de una investigación capaz de mejorar el diseño del dispositivo de siembra. Particularmente se destacan los siguientes elementos, todos ellos con sus respectivos reguladores y ajustes: banda sinfín, dispositivo de suspensión de la unidad de siembra, simulador de sacudidas y generador de vacío y presión.
4. Para el tratamiento de los datos, se ha recurrido a la metodología basada en el diseño de experimentos que incluye fracciones factoriales $2^{(k-p)}$. Ésta ha resultado adecuada y válida para la evaluación de los diferentes parámetros de diseño de la sembradora, a la vez que ha permitido reducir significativamente el número de experimentos que en un diseño factorial haría falta.
5. Los principales parámetros que afectan a la calidad del trabajo del dispositivo dosificador neumático de disco se ha comprobado que son: el nivel de succión, la velocidad angular del disco y amplitud de vibración de fondo. Sobre esta base se ha realizado la construcción del prototipo.
6. Respecto a la distribución de la semilla en campo, con la sembradora diseñada y construida, la velocidad de avance del tractor es el único parámetro que puede resultar influyente. No han mostrado especial significación otros parámetro de

ajuste como son el nivel de vacío, el nivel de llenado de la tolva o la amplitud de oscilación de la tolva.

7. En conjunto, la sembradora neumática de precisión diseñada y construida en esta tesis, que se ha probado en explotaciones del Estado de Guanajuato (México), ha dado un resultado positivo, tanto en lo referente a la precisión de la dosis como, en menor medida, a la distribución de la semilla en el surco. Ofrece amplitud en sus regulaciones y muestra buena regularidad en el trazado de las líneas de siembra.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

Allen, Richard G. Walter, Ivan A., Elliott, Ronald., Howell, Terry A., Itenfis, Daniel., Jensen, Marvin E., Snyder, Richard L. 2005 - 216 pages. La ASCE de estandarización de la ecuación de referencia de evapotranspiración. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation.

Barak, M., 2007. Evaluación de extractos de ajo (*Allium sativum*) efecto sobre las bacterias gram-positivas y gram-negativas patógenas comunes aisladas de niños con septicemia hospitalizados en el Hospital Imam Khomeini = Evaluación of garlic extracts (*Allium sativum*) effect on common pathogenic gram-positive and gram-negative bacteria isolated from children with septicemia hospitalized at Imam Khomeini Hospital. Research Journal of Biological Sciences 2:236-238.

Bernard J., J., Gracia L., C., Torregrosa M., A., Val M., L. 1989. Experiencias de plantación de ajo. 21 C I M A. Zaragoza, España.

Burba, J.L. 1997. Panorama mundial y nacional de poblaciones y cultivares de ajo. Posibilidades de adaptación. En: 50 Temas sobre la producción de ajo. Edit. J.L. Burba, La Consulta, Mendoza. INTA EEA LA Consulta. Vol 2: 11-31.

Burba, J.L. 2008. Los grupos varietales del ajo (*Allium sativum* L.). Contribución para su entendimiento. Horticultura Argentina 27(62): 20-27

Broch, J. J. S.L. C/ Oviedo, 1 y 3 | 28500, Arganda del Rey - Madrid -España.

Cabrera S., J.M., Serwatowski, R. 1995. Análisis de la cosecha y manejo poscosecha del ajo en la región del Bajío. 1995. Memoria de la Conferencia Internacional ASAE (Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables), Gto., México., 191-197.

Cabrera Sixto M., Serwatowski R. 1995. Efecto del Destallado del Ajo sobre su Proceso de Secado. Memoria del V Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Guanajuato, México. Pp. C55 – C62.

Cabrera S., J. M., Serwatowski, R. 1996. Diseño de una sembradora neumática para ajo. Memoria del II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. Bauru, SP. Brasil. Pp. MCA518.

Cabrera S., J.M. y Serwatowski, R. 1999. Máquina sembradora neumática de precisión para ajo. Patente mexicana N° 193633.

Calderón Reyes, Efraín 2013. Serwatowski Ryszard, Cabrera Sixto J. Manuel. 2003. Siembra Mecanizada Del Ajo: Métodos Y Equipos. Publicado como Ensayo en Agrociencia 37: 483-493. 2003.

Catalán Mogorrón, Heliodoro 2013. El ajo maquinaria y técnicas de cultivo, desde el punto de vista del agricultor. Herminio Tribaldos Campos, Joaquín Tribaldos Campos. Madrid, 2013

COFOCE, México, 1994 (Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior de Estado de Guanajuato = World Trade Commission), Disquete Informativo.

“Del Monte”, R.F. México, 1980. Contribución a la Mecanización del Cultivo del Ajo (*Allium Sativum L.*) en Zonas Bajo Riego. IDIA - 395-96 (Noviembre-Diciembre, 20-31)

Engeland, Ron L. 2014. Cómo y cuándo plantar ajo para hacer un gran ajo. How and when to plant garlic Growing Great Garlic. Disponible en <http://www.growingformarket.com/articles/how-and-when-to-plant-garlic>

“ERME S.S.A.” 1 de noviembre del 2015, Disponible en <http://www.erne-france.com/es>

García Alonso, C.R. 1990. El Ajo. Cultivo y Aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Gilroy Foods, Hanford 2004. Crop Profile for Garlic in California , General Production Information = Perfil de cultivos de ajo en California , Información general de Producción.

Gracia López, Carlos, Bernard, J.J. 1991. Recolección Mecánica del Ajo. Soluciones Alternativas. 23 C I M A. Zaragoza.

Gracia López, Carlos., 1993. Mecanización del Cultivo y Recolección del Ajo. Maquinas y Tractores. 1993-6

Gracia López, Carlos 1993. Mecanización del Cultivo y Recolección del Ajo. Materiales distribuidos en el III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, México.

Gracia López, Carlos. Agrociencia, 2003, Siembra mecanizada del ajo métodos y equipos. vol. 37, núm. 5, septiembre-octubre, pp. 483-493. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México

INEGI. México, 1999. Anuario Estadístico del Estado de Guanajuato.

“Jesus Requena y Cia S A”, España, 2015., Cl. Colon N° 16 B Valencia - 46824 – Quesa. Campos de producción en Barrax, Albacete España, año 2001.

Kemper, K. J. 2000. Garlic (*Allium sativum*). Longwood Herbal Task Force. 49 p. Disponible en <http://www.longwoodherbal.org> Consulta en línea el 12 de junio de 2009.

“Las Pedroñeras”, España, 12 de Diciembre del 2015. Cultivo del Ajo Morado de Marca registrada de IGP Ajo Morado de las Pedroñeras. Disponible en <http://www.igpajomorado.es/>

Macías Valdés Luis Martín 1999. Guia para cultivar Ajo en Aguascalientes Investigador del Programa de Hortalizas. Campo Experimental Pabellón. CIRNOC-INIFAP. Folleto para Productores Núm. 21

Lyon, M. 1974. Cosecha mecanizada y secado. Registro de los Días Nacionales en Beaumont Lomagne = Mécanisation de la récolte et séchage de l'ail. Compte rendu des Journées Nationales de l'ail à Beaumont-Lomagne. Pépin Hort. et Mar. París.

“Maquinaria Zocapi S.L.”, España, 12 de Diciembre del 2015, Carretera Madrid-Alicante, km 16316660 Las Pedroñeras (Cuenca) Spain <http://www.zocapi.com/maquinaria-para-el-cultivo-del-ajo/sembradora/>

Martínez De La Cerda, Jesús, 2015. Siembra de hortalizas, Capitulo 2.0, Facultad de Agronomía, UANL, México.

Mayans Céspedes, P. y otros (2009) Prueba de dosificación de la sembradora V-20 con semilla de amaranto. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias ISSN 1010-27600, vol 18, nº 2 pp 16-21. Universidad Agraria de la Habana. Cuba

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION, España, 1999. El Cultivo del ajo. Jose Japon Quitero , [.S.B.N.: 84-341-0354-0 - Depósito legal: M. 12.982/1984. Hojas Divulgadoras Núm. 1/84 HD]

OMAFRA Catalogos, de Bulbos, nematodos en tallos de cebollas = Factsheet, Bulb and Stem Nematode in. Onions, Order No. 00-043

Palau Martín-Portugués, E. y A. Torregrosa Mira. 1993. Distintas Soluciones para el Corte de Tallos y la Desecación de Ajos. Ensayos Comparativos. Memoria del III Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Querétaro, México.

Palemón, Alberto Enrique 2005. Adaptación de Cultivares de Ajo Morado y Blanco (*Allium sativum* L.) en Acatlán, Guerrero, México. 2005.

Peña, D.2002. (Diseño de Experimentos y regresión Alianza Editorial, 2002)

Pereyra, Nancy Mabel 2015. Consulta, 1 de Noviembre del 2015. Área de Desarrollo Hortícola, – Instituto de Desarrollo Rural, Periodo agrícola 2012-2013, Disponible en www.idr.org.ar

Pérez Moreno; J et al., 2003. Evaluación de Cultivares de Ajo Morado y Blanco por su Rendimiento Agronómico e Industrial en Irapuato, Guanajuato. Acta Universitaria, VOL. 13 No. 3 Septiembre-Diciembre 2003. P 57-65

Romero, R., Zúnica, L. 1995., (Estadística: Diseños de experimentos, Modelos de regresión. UPV, 1995)

Roy, H. and Lundy, S. 2005. Health benefits of garlic. Pennington Nutrition Series. Healthier lives through education in nutrition and preventive medicine. No. 20, 4p.

SAGAR, México, 1996. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, Pág. 17.

Serwatowski, R., Cabrera S., J.M., Téllez T., M.A. 1995. Desarrollo y pruebas de un dispositivo dosificador para sembradora de ajo. Memoria del V Congreso Nacional de AMIA, 2003, Ingeniería Agrícola (Asociación Mexicana de Ingenieros Agrícolas, A.C.), Guanajuato, Gto., A9-A67.

Serwatowski, R. y Cabrera S., J.M. 1996. Mecanización de la siembra de ajo. Acta Universitaria (Gto., Mèx.), 6:67-76.

Taguchi, Genichi; Wu, Yuin; Chowdhury, Subir. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 200. [Taguchi's quality engineering handbook..].

“Talleres Parra de Pedroñeras. S.L.”, España, 2015. ,Ctra. Madrid - Alicante, Km. 159, 16660 Las Pedroñeras (Cuenca), ESPAÑA

TESOURO, O. y otros, 2009. Ensayo de dosificador neumático. Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar, Argentina. Informe técnico de siembra nº1

Thomas G. Ford, 2014, Producción de ajo = Garlic production. Agricultural alternatives. Penn State Extension, The Pennsylvania State University 2014

Thompson, M., Al-Qattan, K. K., Bordia, T., and Ali, M. 2006. Incluyendo el ajo en la dieta puede ayudar a bajar la glucosa en sangre, colesterol y triglicéridos = Including garlic in the diet may help lower blood glucose, cholesterol, and triglycerides. Journal of Nutrition. (Supplement) 136:800S-802S.

Wiley John & Sons, 1999. Box, G.E., Hunter, J. P. & Hunter J. S., Statistics for Experimenters, An introduction to Design, Data analysis and Model Building = Estadísticas para experimentos, una introducción al diseño, análisis de datos y construcción de modelos.