

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	15
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	24
2.3 La recolección	25
2.3.1 Sistema tradicional	25
2.3.2 Sistema mecanizado	27
2.3.3 Maquinaria para transporte y apoyo en la cosecha	33
2.3.4 Almacenado y secado del ajo	33
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	85
6.1.1	Construcción del dispositivo	85
6.1.2	Pruebas del rodillo dosificador	87
6.1.3	Análisis de los resultados, conclusiones parciales	94
6.2	Dispositivo dosificador tipo disco	94
6.2.1	Construcción de prototipos dosificadores tipo disco	95
6.2.1.1	Disco de 5,5 pulgadas	95
6.2.1.2	Disco de 10 pulgadas	96

6.2.2 Construcción de un dosificador de disco doble	98
6.3 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	99
6.3.1 Consideraciones previas	99
6.3.2 Etapas del análisis de experimentos	102
6.3.3 Pruebas a realizar con el prototipo dosificador de disco	103
6.3.4 Resultados y análisis sobre la dosificación	106
6.4 Estudio sobre la uniformidad en la deposición de semillas	115
6.4.1 Construcción de una estructura para la recogida de semillas	116
6.4.2 Método experimental	117
6.4.3 Resultados y análisis sobre la uniformidad de la deposición	119
6.5 Conclusiones sobre el dispositivo dosificador	120
7 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE LA SEMBRADORA NEUMÁTICA DE PRECISIÓN	122
7.1 Diseño conceptual y consideraciones generales	123
7.2 Diseño detallado, fabricación y ensamble de la máquina	125
7.2.1 Barra porta-herramienta	127
7.2.2 Módulo de suspensión y copiado	128
7.2.3 Módulo de siembra	129
7.2.4 Sistema de generación de vacío	138
7.2.5 Sistema de generación de presión	147
7.2.6 Sistema de accionamiento de los discos dosificadores	148
7.3 Pruebas preliminares con el prototipo de la sembradora fuera de parcela	151
7.4 Pruebas de siembra en el campo	157
7.4.1 Evaluación del sistema dosificador	157
7.4.2 Evaluación de la deposición de semillas	161
7.4.3 Conclusiones de las pruebas de campo	165
CONCLUSIONES GENERALES DE LA TESIS	166
BIBLIOGRAFÍA	169

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	22
5	Cultivo en surcos siembra en charolas para trasplante	22
6	Sistema de riego por goteo	23
7	Trabajo manual	24
8	Daño por nemátodos y fusarium	25
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	30
14	Arrancadora hileradora	30
15	Arrancadora atadora	31
16	Arrancadora destalladora	32
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	34
20	Encajado y producto terminado	35
21	Siembra manual	37
22	Emergencia del ajo según posición de siembra de la semilla	40
23	Clasificación de las sembradoras	41
24	Sembradora semiautomática o asistida de cangilones	42
25	Sembradora de ajo con mecanismo de correa dentada.	42
26	Sembradora automática de disco escotado	43
27	Sembradora automática con distribuidor por rueda dentada	44
28	Sembradora automática de pinzas	44

29	Sembradora neumática	45
30	Prototipo de sembradora neumática de precisión	47
31	Siembra manual realizada a 8 cm entre semillas	52
32	Vista general de la sembradora	53
33	Siembra automática a chorrillo	53
34	Distancia entre semillas en la siembra mecánica	54
35	Distancia entre semillas de la siembra manual	54
36	Desarrollo del cultivo con siembra manual	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 las sembradora mecánica	65
47	Desempeño de las 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	74
54	Instrumentos para realizar las pruebas	75
55	Circuito hidráulico del sistema	77
56	Fuente regulable voltaje	77
57	Banco ensamblado para realizar las pruebas	78
58	Vista posterior del banco	78
59	Vista lateral del banco de Pruebas	79
60	Vista del dispositivo individualizador	79
61	Vista del dispositivo en funcionamiento	80

62	Vista del dispositivo	80
63	Mecanismo oscilador y tolva de descarga de semilla	81
64	Cinta adhesiva en banda transportadora	81
65	Rodillo del dosificador de precisión	85
66	Unidad experimental del rodillo con su eje	86
67	Vista del disco de 254 mm de diámetro	95
68	Dosificador en forma de disco de 254 mm	96
69	Dosificador en forma de disco de 254 mm y material acrílico	97
70	Disco de 254 mm, con doble disco	98
71	Imagen de la prueba del disco doble	98
72	Gráficos de Probabilidad Normal de los datos	107
73	Intervalos LSD variable %Dobles	113
74	Intervalos LSD variable %Fallos	114
75	Vista a detalle del sistema dosificador	116
76	Vista posterior del banco.	116
77	Detalles de la banda transportadora	119
78	Detalles análisis	120
79	Sembradora comercial.	125
80	Vista lateral general del ensamble	126
81	Vista frontal del prototipo	126
82	Vista lateral del prototipo	127
83	Componentes principales del módulo de suspensión y copiado	128
84	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	129
85	Componentes del conjunto del módulo de suspensión y copiado	129
86	Vista general del módulo de siembra	130
87	Vistas del marco en su temprana etapa del desarrollo	130
88	Paralelogramo	131
89	Esquema funcionamiento de la tolva	132
90	Sistema de vibración y esquema de construcción	132
91	Circuito hidráulico del sistema de vibración	133
92	Esquema de funcionamiento del sistema dosificador	134
93	Distribuidor de vacío montado y ensamble final conjunto	134
94	Disco con conductos internos radiales y lomos en periferia	135

95	Detalle del desfasamiento angular entre los discos de cada pareja	135
96	Tolva, dispositivo dosificador y conducto de descarga	136
97	Vistas del conjunto de abridores y tapadores de hileras un surco	137
98	Dibujo del conjunto de tapadores de hilera	137
99	Esquema de componentes del sistema de transmisión de potencia	138
100	Vistas del sistema de transmisión de potencia del extractor	138
101	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	141
102	Sección del conjunto de eje con maza de la rueda	142
103	Vistas generales de la transmisión modificada	143
104	Opresores aplicados en ambos pasos de la transmisión	143
105	Ventilador centrífugo para soplar las túnicas de ajo	147
106	Rueda copiadora y sistema de transmisión por cadena	149
107	Vistas del segundo paso de transmisión	149
108	Tercer paso de la transmisión y armado de la transmisión	150
109	Imagen del prototipo y preparación para la prueba	152
110	Vista del sistema dosificador en funcionamiento	153
111	Colocación de cinta y calibración de los abresurcos	153
112	Semilla depositada por la sembradora en la prueba	154
113	Sembradora antes de la prueba	155
114	Prueba de deposición de semillas	156
115	Distribución de la semilla depositada	157
116	Medición de parámetros durante la prueba	158
117	Funcionamiento de los discos durante la prueba	159
118	Semilla depositada sin cubrir sobre el terreno	160
119	Detalle de atasco en las ruedas tapadoras por exceso de humedad	160
120	Diferentes tamaños de semillas	161
121	Niveles abertura de compuerta de abastecimiento	162
122	Gráficos de caja y bigotes para diferentes velocidades de avance	164

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	41
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	101
19	Esquema diseño de experimentos 2^{k-p}	103
20	Valores parámetros del diseño de experimentos 2^{k-p}	104
21	Resumen estadístico de fallos y dobles	106
22	Análisis de varianza para la variable “fallos”	108
23	Análisis de varianza para la variable “dobles”	108
24	ANOVA para diseño 2^3 para la variable “fallos”	109

25	ANOVA para diseño 2 ³ para la variable “dobles”	109
26	Medias por mínimos cuadrados variable “fallos”	109
27	Medias por mínimos cuadrados variable “dobles”	109
28	Correlación entre variables y factores	110
29	Normalidad de los datos para la variable “dobles”	111
30	Normalidad de los datos para la variable “fallos”	111
31	ANOVA para la variable “dobles”	112
32	Múltiples rangos para variable “dobles”	112
33	Resumen estadístico para variable “dobles”	113
34	ANOVA para la variable “fallos”	114
35	Múltiples rangos para variable “fallos”	114
36	Resumen estadístico para variable “fallos”	115
37	Resumen estadístico de deposición	119
38	Indicadores de normalidad de variable “fallos”	119
39	ANOVA de los datos para la distancia entre semillas	119
40	Resultados de la prueba del extractor centrífugo	140
41	Resultados de la prueba del extractor centrífugo modificado	140
42	Parámetros de trabajo del extractor con la transmisión	144
43	Parámetros de trabajo de la prueba en campo del prototipo	151
44	Parámetros de trabajo en campo de posicionamiento semilla	156
45	Características de la semilla empleada	161
46	Características promedio de ajo americano blanco	162
47	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de compuerta	163
48	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de vacío	163
49	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes avances del tractor	164
50	Prueba de Kruskal-Wallis para diferentes niveles de oscilación	165