

Sprinkled Technological Improvement in the Production of Forage Maize in the Majes Irrigation

Camilo Fernández¹, Godofredo Peña², Sergio Mestas³ y Diego Paredes⁴

cfernandezba@gmail.com, godofpenada@yahoo.es, sergio_mestas@yahoo.com, diegopm90@hotmail.com

¹edD, ³Ms, Universidad Católica de Santa María; ²Ms, Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur (IIDS) y

⁴Bs, Centro Agroexportador y Agroindustrial (AGROEXIN S.A.).

Abstract– Fodder corn is one of the most important products in Majes irrigation. In addition to its daily presence in food, corn is also excellent fodder for livestock, especially dairy cows and draft animals. It is used as cattle feed in various stages of plant growth, mainly from the time when the panicle appears.

Annually 3800 hectares of feed corn are grown in the Majes irrigation. The average yield is 60 tons / ha, but the potential yield is 100 MT / ha or more. The increasing scarcity of labor (the work is delayed because there farmworkers available), and the high cost of this (the price of wage reaches 100 S / . / Day in some seasons), it has made farmers look mechanize agricultural work to ensure the execution of tasks at the right time and reduce production costs.

In this project the improvement of agricultural machinery used for the production of fodder maize, focusing mainly on corn sprinkled technology using ultra low volume during the different stages of growth took place. Initially manual equipment was evaluated, finally reaching the design and optimal tractor-mounted design, using the German VDI 2222 design methodology for the design of the final prototype. During the test phase a plot of one hectare planted by precision seeder use the same project, in these tests the sprayer finally achieving a yield of 50 liters / Ha. Significantly reducing the cost of corn production and environmental contamination by chemicals. The research was conducted with the support of FINCYT, CENTRO SA and agro-export and agro AGROEXIN the Catholic University of Santa María and institutions RESEARCH INSTITUTE AND DEVELOPMENT FOR THE SOUTH.

Keywords-- Maíz forrajero, ultra bajo volumen, asperjadora, tamaño de gota, Lts/Ha, discos.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/meta/RP129.html>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”

20-22 July 2016, San Jose, Costa Rica

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

DOI: <http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/meta/RP129.html>

Mejoramiento tecnológico del asperjado en la producción de maíz forrajero en la irrigación Majes

Camilo Fernández¹, Godofredo Peña², Sergio Mestas³ y Diego Paredes⁴

cfernandezba@gmail.com, godofpenada@yahoo.es, sergio_mestas@yahoo.com, diegopm90@hotmail.com

¹edD, ³Ms, Universidad Católica de Santa María; ²Ms, Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur (IIDS) y

⁴Bs, Centro Agroexportador y Agroindustrial (AGROEXIN S.A.).

Abstract– Fodder corn is one of the most important products in Majes irrigation. In addition to its daily presence in food, corn is also excellent fodder for livestock, especially dairy cows and draft animals. It is used as cattle feed in various stages of plant growth, mainly from the time when the panicle appears.

Annually 3800 hectares of feed corn are grown in the Majes irrigation. The average yield is 60 tons / ha, but the potential yield is 100 MT / ha or more. The increasing scarcity of labor (the work is delayed because there farmworkers available), and the high cost of this (the price of wage reaches 100 S. / Day in some seasons), it has made farmers look mechanize agricultural work to ensure the execution of tasks at the right time and reduce production costs.

In this project the improvement of agricultural machinery used for the production of fodder maize, focusing mainly on corn sprinkled technology using ultra low volume during the different stages of growth took place. Initially manual equipment was evaluated, finally reaching the design and optimal tractor-mounted design, using the German VDI 2222 design methodology for the design of the final prototype. During the test phase a plot of one hectare planted by precision seeder use the same project, in these tests the sprayer finally achieving a yield of 50 liters / Ha. Significantly reducing the cost of corn production and environmental contamination by chemicals. The research was conducted with the support of FINCYT, CENTRO SA and agro-export and agro AGROEXIN the Catholic University of Santa María and institutions RESEARCH INSTITUTE AND DEVELOPMENT FOR THE SOUTH.

Keywords– Maíz forrajero, ultra bajo volumen, asperjadora, tamaño de gota, Lts/Ha, discos.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una forma domesticada de un pasto salvaje, cultivado hace 5000 años en México. El maíz es uno de los cereales más utilizados para consumo humano y animal [4,5,7]. En términos de recepción de ingresos es el tercer cultivo más importante en el mundo.

En Majes (Arequipa Perú), de las 14,226 hectáreas bajo riego [8], anualmente se cultivan 3 800 hectáreas de maíz forrajero. El rendimiento promedio es de 60 TM/ha, pero el rendimiento potencial es más de 100 TM/ha. La creciente escasez de mano de obra (las labores se retrasan porque no hay trabajadores agrícolas disponibles), y el alto costo de esta (el precio del jornal llega a 100 S. /Día en algunas temporadas), ha hecho que los productores busquen mecanizar las labores agrícolas para asegurar la ejecución de labores en el momento oportuno y reducir sus costos de producción. La siembra mecanizada se realiza en aproximadamente el 30% del área

(1140 hectáreas) y la aplicación de productos líquidos mecanizada es el 8% del área (304 hectáreas).

Actualmente se realizan las labores de asperjado del maíz mediante asperjadoras o fumigadoras manuales convencionales. Este tipo de fumigadora utiliza una bomba impulsada por un motor a combustión o un motor eléctrico para hacer pasar el líquido presurizado a través de una boquilla de sección reducida, lo que produce la pulverización de los químicos a fumar.

Al no tener equipos de asperjado de tecnología CDA (Controlled droplet application), que controlen el tamaño de gota y el volumen aplicado a la cosecha se tiene las siguientes consecuencias:

- Alto consumo de agua y/o aceite vegetal. (400 – 800 litros)
- Alto consumo de insecticida.
- Se produce contaminación de los suelos con elementos químicos del insecticida.
- No se tiene una fumigación homogénea.
- Bajo porcentaje de cubrimiento sobre todo en el envés.

Debido a que las aplicadoras disponibles tienen: alta variabilidad en tamaño de gota aplicada, con coeficientes de homogeneidad menores a 50%, escaso cubrimiento del envés de las hojas, altos volúmenes de aplicación (600 litros o más por hectárea) y pérdidas de producto líquido hacia el suelo por gotas de tamaño muy grande (mayores a 500 micras).

El propósito de esta investigación fue el mejoramiento tecnológico de aplicadoras de productos líquidos de ultra bajo volumen y alta uniformidad de gota aplicada, validados en las condiciones de la irrigación de Majes. Se logró desarrollar una asperjadora mejorada, con coeficiente de homogeneidad de 85% y solo utiliza agua entre 40 a 50 litros/ha, con ello mejora grandemente la rentabilidad económica de AGROEXIN y se reduce grandemente la contaminación por agroquímicos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Para lograr que las pruebas sean lo más precisas y consistentes posibles, se simuló el entorno operacional de las asperjadoras en los cultivos del Pedregal (Majes-Arequipa-Perú).

Se fabricó un ambiente controlado, con AA, desarmable y fácil de transportar, de tal forma que las pruebas puedan realizarse en distintos lugares y diferentes condiciones.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/meta/RP129.html>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

En este ambiente controlado se probaron las diferentes boquillas y discos de asperjado a las condiciones de El Pedregal de la Irrigación Majes.

Materiales de Laboratorio:

- Equipo AA 1200 BTU Westinhouse
- Anemometro Kestrel Portatil
- Ventilador Soplador:
- Carril de recorrido del soporte
- Aguilón
- Base para tarjetas hidrosensibles
- Sistema de Presurización
- Tanque de almacenamiento de líquido de Ultra Bajo Volumen (UBV)
- Papel sensible al agua.

Para esto, el ambiente controlado, está constituido por una cámara de laboratorio aislada y los elementos necesarios para controlar las siguientes variables de entrada:

- Velocidad del viento
- Temperatura mínima
- Temperatura máxima
- Presión ambiental.
- Humedad del aire.
- Irradiación solar.

Durante las pruebas se siguieron los procedimientos estandarizados por las normas ISO y ASTM.

Normas para protección de cultivos: Equipo de asperjado con métodos de prueba:

- ISO 5682: 1: 1996 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 1: Test methods for sprayer nozzles.
- ISO 5682: 2: 1997 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 2: Test methods for hydraulic sprayers.
- ISO 5682: 3: 1996 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 3: Test method for volumen / hectare adjustment systems of agricultural hydraulic pressure sprayers.
- ASTM – 01 (2012) e1 Standard Methods for testing hydraulic Spray Nozzles Used in Agriculture

En este ambiente controlado se pudo determinar:

- Tipo y tamaño de disco de mejor rendimiento según los indicadores (g/cm², DMV, DMN, l/min)
- Rendimiento de boquillas convencionales a presión.
- Rendimiento de boquillas y discos a diferentes presiones y caudales.
- Impacto de la temperatura y velocidad del viento en el asperjado.

Se Diseñó, construyó y probó las asperjadoras en modo manual (tipo carretilla) y modo tractor.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cámara de pruebas se comprobó el rendimiento óptimo de 03 discos de ultra bajo volumen, analizando los siguientes valores:

TABLA I
PARÁMETROS MEDIDOS EN PRUEBAS DE DISCOS UBV

Parámetro	Designación	Descripción
Diámetro volumétrico medio	DVM 0.5	Es el valor del diámetro de gota que divide a la población de gotas en forma tal que la mitad del volumen aplicado está constituido por gotas de diámetro inferior y la otra mitad del volumen, está constituido por gotas de diámetro mayor.-
Diámetro volumétrico 0.1	DVM 0.1	Es el valor expresado en micras de las gotas que dividen a la población total de gotas en un 90% superior y un 10 % inferior.
Diámetro numérico medio	DNM	Diámetro a partir del cual se dividen dos volúmenes distintos pero que contienen un mismo número de gotas.
Amplitud Relativa	AMP	Es el cociente entre la diferencia de los valores del DVM 0.9 – 0.1 dividido el DVM.0.5
Cobertura	C	Entendemos por cobertura la cantidad de gotas por centímetro cuadrado Las gotas se miden sus diámetros en micras (milésima de milímetro)

Estos valores deben superar los de las asperjadoras convencionales , al tener mejores parámetros se tienen diferentes ventajas sobre las fumigadoras que se utilizan en la actualidad, siendo lo más importante reducir el costo por hectárea en la producción de maíz forrajero y la contaminación del medio ambiente. A continuación, mostramos los valores de los parámetros con los diferentes diseños de discos UBV analizados:

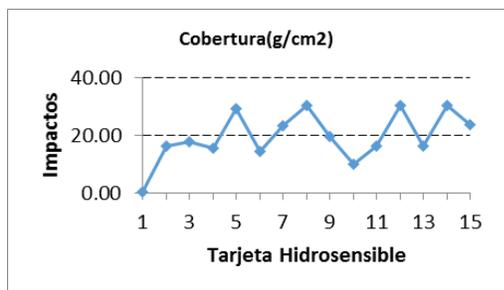
A. Disco cónico con borde acanalado



Fig. 1 Disco Cónico con borde acanalado en prueba.

Se obtuvo los siguientes cubrimientos en gotas/cm² sobre las siguientes tarjetas hidrosensibles colocadas a los diferentes

rangos del disco, teniendo un rango máximo de 2 metros de diámetro de cubrimiento.



Graf. 1 Cobertura Disco cónico en cámara de pruebas.

De las pruebas realizadas a este disco se pudo obtener los siguientes datos:

TABLA II
PARÁMETROS PRUEBA CÁMARA DISCO CÓNICO

Tarjeta	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvio (μ)	Volumen Teórico (Lt / ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	0.49	59.07	60.00	0.00	0.01	35.00	35.00	35.00
T2	16.42	641.89	560.00	263.71	227.43	609.00	885.00	923.00
T3	17.86	503.03	480.00	221.99	119.01	519.00	793.00	861.00
T4	15.59	607.59	570.00	258.13	183.11	585.00	831.00	847.00
T5	29.18	529.58	250.00	321.42	226.89	713.00	925.00	989.00
T6	14.30	468.52	440.00	228.66	77.02	507.00	835.00	867.00
T7	23.44	243.17	230.00	111.24	17.64	229.00	359.00	403.00
T8	30.59	218.30	210.00	121.18	16.66	215.00	399.00	437.00
T9	19.76	284.52	280.00	107.40	23.83	267.00	383.00	411.00
T10	9.88	403.80	360.00	248.28	34.07	505.00	685.00	685.00
T11	16.21	553.21	460.00	266.18	143.69	571.00	773.00	817.00
T12	30.51	237.71	220.00	132.01	21.46	247.00	427.00	499.00
T13	16.21	553.21	460.00	266.18	143.69	571.00	773.00	817.00
T14	30.51	237.71	220.00	132.01	21.46	247.00	427.00	499.00
T15	23.84	225.60	220.00	103.84	14.33	217.00	357.00	413.00
Promedio	19.65	384.46	334.67	185.48	84.69	402.47	592.47	633.53

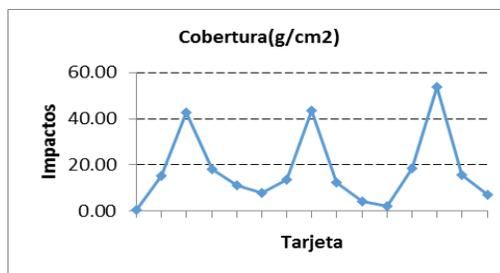
B. Disco cilíndrico con borde acanalado



Fig. 2 Operación disco Cilíndrico acanalado en cámara de pruebas.

Se probó el disco cilíndrico con borde acanalado con una presión de 3 bar y un caudal de 200 cc/min, este disco tiene un diámetro de 2 ½ pulg y utiliza una boquilla de sección reducida para alimentar el líquido en el centro del disco.

En la siguiente grafica se muestran los resultados de cubrimiento:



Graf. 2 Cobertura disco cilíndrico acanalado en cámara de pruebas.

TABLA III
PARÁMETROS PRUEBA CÁMARA DISCO CILÍNDRICO ACANALADO

Tarjeta	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvio (μ)	Volumen Teórico (Lt / ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	0.48	89.11	90.00	0.00	0.02	65.00	65.00	65.00
T2	15.01	173.63	80.00	167.57	4.11	275.00	347.00	361.00
T3	42.82	285.88	300.00	140.56	52.38	293.00	439.00	533.00
T4	18.10	331.88	400.00	191.05	34.64	405.00	549.00	587.00
T5	11.04	80.70	80.00	31.12	0.30	86.25	111.25	113.75
T6	7.73	112.35	80.00	48.46	0.57	103.00	139.00	141.00
T7	13.65	319.98	140.00	227.51	23.41	453.00	545.00	575.00
T8	43.66	331.63	310.00	181.84	83.39	347.00	643.00	765.00
T9	12.40	274.69	190.00	226.34	13.46	379.00	465.00	469.00
T10	4.18	145.38	130.00	72.18	0.67	192.50	237.50	237.50
T11	1.91	116.78	90.00	58.23	0.16	87.50	147.50	147.50
T12	18.35	245.73	160.00	195.23	14.26	435.00	559.00	569.00
T13	53.64	297.19	280.00	159.11	73.73	319.00	727.00	859.00
T14	15.46	322.48	120.00	264.80	27.14	519.00	733.00	733.00
T15	6.90	102.73	110.00	20.13	0.39	93.75	108.75	116.25
Promedio	17.69	215.34	170.67	132.28	21.91	270.20	387.73	418.13

C. Disco cilíndrico con borde liso

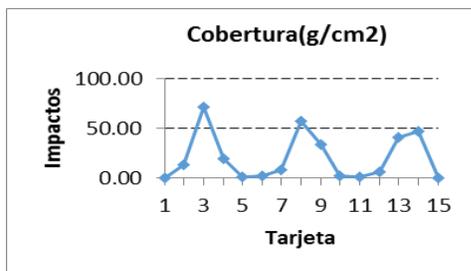


Fig. 3 Operación disco Cilíndrico liso en cámara de pruebas.

Con este disco se consiguió un verdadero asperjado de mano a ultra bajo volumen, con gotas de tamaño controlado entre 250mc-300mc.

Permitiendo un círculo de trabajo de 1.2-1.5 metros, dependiendo de la altura de trabajo.

El disco acanalado liso fue obtenido del diseño del equipo español Pulmic Fenix, el cual ofrece la posibilidad de intercambiar boquillas de inyección de líquido. Lo que favorece su versatilidad para distintas aplicaciones.



Graf. 3 Cobertura disco cilíndrico liso en cámara de pruebas.

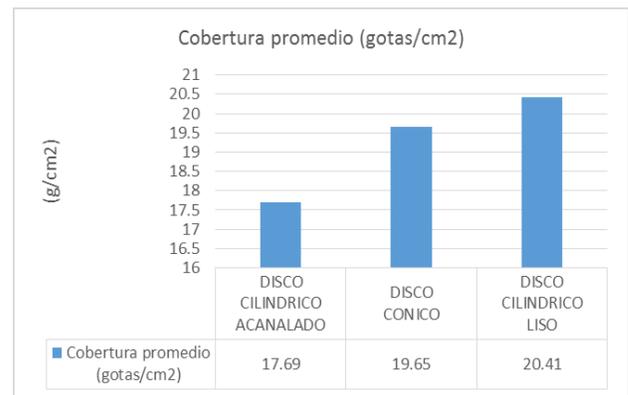
TABLA IV

Parámetros prueba cámara disco cilíndrico liso

Tarjeta	Número	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvio (μ)	Volumen Teórico (Lt/ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2	2	13.83	333.29	410.00	144.12	26.80	329.00	453.00	479.00
T3	3	71.84	237.47	240.00	122.38	50.37	239.00	441.00	543.00
T4	4	19.51	326.66	360.00	142.36	35.61	343.00	441.00	485.00
T5	5	0.92	88.21	60.00	50.42	0.03	82.50	82.50	82.50
T6	6	1.76	95.49	90.00	52.21	0.08	95.00	95.00	95.00
T7	7	8.10	350.40	410.00	143.04	18.26	389.00	439.00	457.00

T8	8	57.88	231.41	230.00	120.66	37.56	243.00	371.00	477.00
T9	9	33.68	290.18	280.00	133.17	43.09	305.00	443.00	555.00
T10	10	2.04	92.74	90.00	25.30	0.09	88.33	95.00	95.00
T11	11	0.99	217.42	90.00	191.22	0.53	335.00	335.00	335.00
T12	12	6.00	197.32	260.00	172.08	2.41	271.25	308.75	316.25
T13	13	41.36	232.82	250.00	93.39	27.33	233.00	287.00	393.00
T14	14	47.62	338.07	310.00	133.48	96.33	305.00	603.00	709.00
T15	15	0.56	84.98	90.00	0.00	0.02	65.00	65.00	65.00
Promedio		20.41	207.77	211.33	101.59	22.57	221.54	297.28	339.12

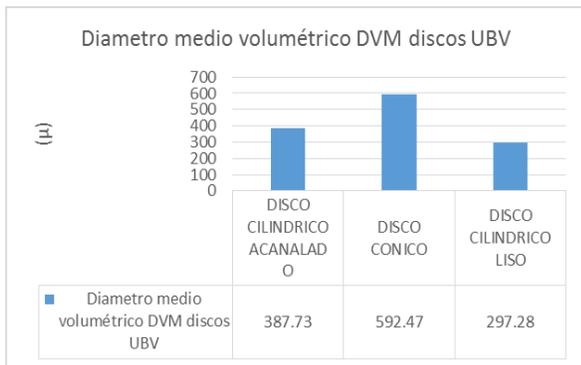
En los tres modelos de discos de ultra bajo volumen se utiliza el mismo principio, en el que la rotación del disco impulsa al líquido a los extremos del disco y por fuerza centrífuga se desprende en pequeñas gotas del elemento rotatorio. Siguiendo este principio se pueden variar diferentes aspectos de la construcción del disco como el diámetro, variando el alcance, la geometría, variando el desempeño y tamaño de gota, la fuente de rotación, el punto de alimentación de líquido, el tipo de elemento de alimentación de líquido al disco y el acabado de la superficie externa del disco (lisa rugosa o acanalada). Después, los resultados tabulados anteriormente, fueron plasmados en gráficas para una mejor comparación.



Graf. 4 Cobertura promedio discos ultra bajo volumen.

Según la gráfica N°4 se puede observar que el disco cilíndrico liso tiene una mayor cobertura promedio, este dato es determinante para el rendimiento del disco ya que a mayor cobertura se tendrá una mayor eficacia del aplicador para combatir las plagas y cubrir el haz y envés de la hoja de maíz. Otro aspecto que también se tomó en cuenta para la selección del disco más adecuado fue el DVM (Diámetro Medio Volumétrico), este valor debe encontrarse entre 250 y 500 micras, y se seleccionó el disco cuyo DVM es menor.

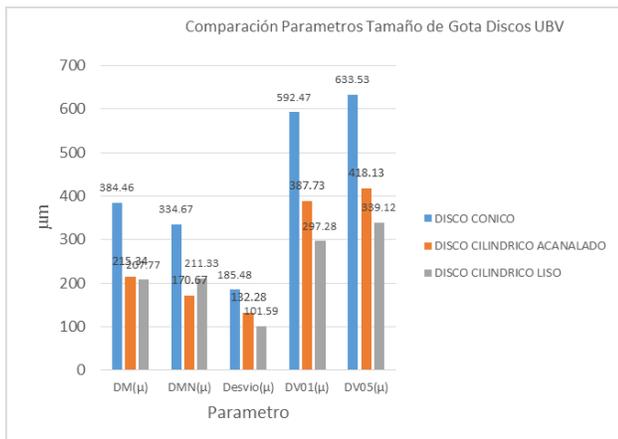
Según la siguiente gráfica comparamos los valores de diámetro medio volumétrico.



Graf. 5 Diámetro medio volumétrico DVM discos UBV.

En la gráfica 5 se puede observar que el disco con menor DVM es el disco de cilindro liso, con un tamaño de gota promedio de 297.28 μm .

Se graficaron y resaltaron estos dos parámetros por ser los más importantes para el desempeño de la máquina, se considera el tamaño de gota y el gado de cubrimiento de la hoja como los 02 parámetros de desempeño del disco más importantes, además el valor que nos importa para reducir el costo de asperjado en S./HA es el consumo del disco en Litros/Hectárea. Este valor está directamente relacionado con los valores antes determinados por lo cual se graficó juntos todos los parámetros en la siguiente gráfica.



Graf. 6 Parámetros tamaño de gota evaluados en cámara de pruebas discos UBV.

Como se puede observar en la Gráfica 6 el disco cilíndrico de borde liso alcanzó un menor tamaño de gota en las pruebas realizadas, que es lo que buscamos para la fumigadora de ultra bajo volumen. Al tener también un mayor cubrimiento que los otros discos de 20.41 gotas/cm² y un tamaño de gota promedio DV01= 297.08 μm , podemos llegar a la conclusión de que este disco será el de mejor ‘performance’ para la construcción de nuestra asperjadora, por lo cual fue seleccionado para proceder con el diseño del equipo.

Para el diseño del equipo se utilizó la metodología alemana VDI, siguiendo la secuencia expuesta en el documento VDI 2222 ‘Methodic development of solution principles’, en el cual mediante una secuencia de pasos se obtiene el diseño óptimo para el equipo. El concepto fabricado es una máquina transportable, totalmente desarmable, dicho equipo se podrá utilizar en modo manual impulsado por un operador o acoplado a una barra estándar de tractor. Se utilizó software para el diseño y cálculo de la parte estructural de la máquina: Autodesk, Autocad y Autodesk Inventor.

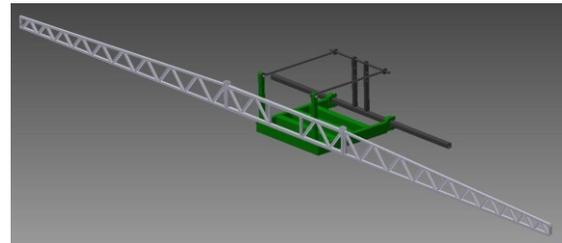


Fig. 4 Modelamiento 3D Asperjadora Modo Tractor.

Fabricada en acero A-36 con cubierta epóxica de color verde. La máquina tiene un peso aproximado de 75 Kg, incluyendo los acoples y conexiones para el modo manual y tractor. Se utiliza una bomba de diafragma para impulsar el líquido hasta los discos y conexiones flexibles transparente de polipropileno.

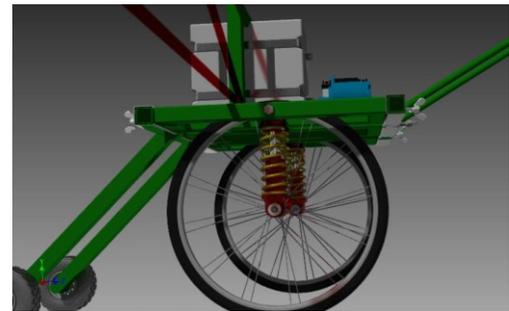


Fig. 5 Modelamiento 3D Asperjadora Modo manual.

Se procedió a la construcción del prototipo en la ciudad de Arequipa para posteriormente ser trasladado al Pedregal donde se asperjó la hectárea de maíz sembrada.

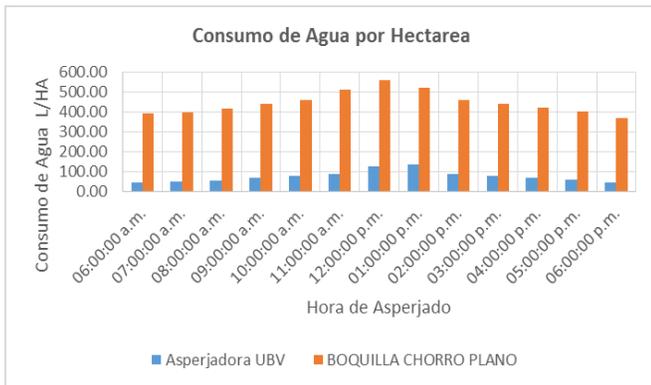


Fig. 6 Construcción de asperjadora Ultra Bajo volumen.



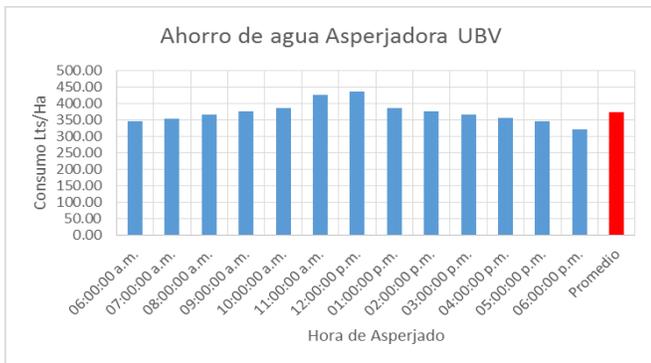
Fig. 7 Asperjadora Ultra Bajo Volumen Modo Manual Parcela Pedregal.

Se asperjó a diferentes horas del día para analizar el rendimiento del equipo en diferentes condiciones ambientales. Se obtuvo los resultados de consumo de agua expuestos en la siguiente gráfica número 7:



Graf. 7 Consumo de Agua Asperjadora UBV VS Asperjadora Convencional.

Se puede observar en la gráfica el gran ahorro de agua que supone utilizar la asperjadora de UBV sin importar cuál sea el químico o el tipo de sembrío que se fumigara siempre se tendrá una amplia ventaja sobre las asperjadoras convencionales, también podemos indicar que las mejores horas para asperjar son en la mañana de 06:00 am a 09:00 am y de 03:00 pm a 06:00 pm, por las condiciones de viento y temperatura.



Graf. 8 Ahorro de agua con Asperjadora UBV.

Asimismo, al momento de las pruebas se colocó papel sensible para re comprobar y comparar el rendimiento de los discos UBV obtenido en la cámara de pruebas.



Fig. 8 Colocación de papel sensible en hojas de maíz forrajero.

Se comprobó y validó la alta uniformidad del tamaño de gotas, al menos 85%, y se redujo la contaminación por agroquímicos en un 60% para el modo manual.

En base a la experiencia de la asperjadora manual, se diseñó y construyó la asperjadora para ser impulsada por cualquier tractor, como se muestra en la fig. 9.



Fig 9 Asperjadora UBV modo tractor en AGROEXIN

Esta asperjadora liviana, cubre 9 hileras de maíz, se muestran los discos de UBV, funcionan con muy poca energía eléctrica a 12V tiene una bomba y sistema de control. Las distancias entre discos y altura se regulan con facilidad, dependiendo del sembrado de maíz u otro producto.

IV. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó un prototipo de una asperjadora de ultra bajo volumen de accionamiento manual y para acople en tractor, dicho equipo es totalmente desarmable y transportable con herramientas básicas y puede hacerse el cambio manual-tractor en campo.
2. Se obtuvo un consumo promedio de agua de 73.67 litros por hectárea asperjada en las diferentes horas del día, reduciendo el consumo respecto a asperjadoras convencionales el cual fue de 445.54 litros por hectárea, para las mismas condiciones. Esto nos da un ahorro promedio de 371.88 litros por cada hectárea asperjada.
3. La asperjadora de ultra bajo volumen construida puede llegar a rendimientos de hasta 44 litros por hectárea si se realiza el asperjado en horas de la mañana. Esto supera nuestro objetivo inicial del proyecto que fue de 50 Litros por hectárea.

Esto también implica la menor contaminación del suelo y aire por agroquímicos, una mayor uniformidad de cubrimiento del haz y envés de las hojas de maíz, con un coeficiente de homogeneidad de por lo menos 85%.

4. Con los discos utilizados se logró un tamaño de gota entre 200 y 300 micras, lo que permite que nuestro equipo tenga un mayor rendimiento con menos líquido. Para la cual se optimizó a una presión de 3 bar, un caudal de 0.6 litros/min y una velocidad de 5000 revoluciones por minuto. Valores a los cuales se obtuvo mejores resultados en el asperjado a diferentes condiciones atmosféricas que fueron simuladas en la cámara de trabajo con acondicionamiento de aire AA.

REFERENCIAS

- [1] Matthews, Graham. "Pesticide application methods". John Wiley & Sons, Cuarta Edición Wiley Blackwell, 2008.
- [2] Monro, Hector Alexander Urquhart. "Manual de fumigación contra insectos". No. 20. Food & Agriculture Org., 1978.
- [3] Berlijn, Johan D. "Tractores y maquinaria agrícola". No. 631.3 B47Y. 1963.
- [4] Miguel Ángel Sánchez-Hernández et al "Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros"
- [5] Malvar, R. A., et al. "White maize: genetics of quality and agronomic performance." *Crop science* 48.4: 1373-1381. 2008.
- [6] Madamombe-Manduna, Idah, Heike Vibrans, and Lauro López-Mata. "Diversity of coevolved weeds in smallholder maize fields of Mexico and Zimbabwe." *Biodiversity and Conservation* 18.6: 1589-1610. 2009.
- [7] Sánchez-Hernández, Miguel Ángel, et al. "Densidad de siembra y crecimiento de maíces Forrajeros." *Agronomía mesoamericana* 22.2: 281-295. 2011.
- [8] Ministerio de Agricultura. "Diagnostico del estado situacionalde las asociaciones activas em la irrigacion majes". 2009
- [9] Chau, A. "Ensayo de una nueva técnica de aspersión aérea." v. 8 (1) p. 72-75. Diciembre. 1965.
- [10] G.A Matthews, E.W Thronhill, "Equipo portátil de aplicación de pesticidas para uso en la agricultura". Volumen 1. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.1996.
- [11] Tinoco Alfaro, Carlos Alberto, et al. "Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento." *Agricultura técnica en México* 34.3: 271-278. 2008
- [12] Valero Ubierna, Constantino, and Víctor Gil Quirós. "Últimas tendencias en pulverizadores, atomizadores y nebulizadores". *Vida Rural* 225: 53-56. 2006.
- [13] Wilson, Mx, R. F Ruppel, y R. R. Treece. "Low - Volume Concentrate Sprays Applied by Aircraft for Control of the Cereal Leaf Beetle", *Journal of Economic Entomology*, Vol. 58 (1): 11-14. 1965.
- [14] Swissmex. [13] ["http://www.swissmex.com/SwissMexCMS/Productos-\(1\)/Productos-Exportacion/dos/Motorizadas-\(1\).aspx"](http://www.swissmex.com/SwissMexCMS/Productos-(1)/Productos-Exportacion/dos/Motorizadas-(1).aspx). 2012. Consultado [Setiembre, 2013].
- [15] Sirfran: Pulverizadores y accesorios. <http://www.sirfran.com/>. Consultado [Octubre, 2013].
- [16] Ontario: Ministry of Agriculture, food and rural affairs. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/11-001.htm>. 2016. Consultado [Enero, 2016].
- [17] Manuel F. Polanco Puerta. "Maquinaria y mecanización Agrícola". www.ecapma.bligoo.com/media/users/13/657161/files/73188/201619_-_Maquinaria_y_Mecanizaci_n_Agr cola.pdf. 2007. Consultado [Marzo, 2012].

Mejoramiento tecnológico del asperjado en la producción de maíz forrajero en la irrigación Majes

Camilo Fernández¹, Godofredo Peña², Sergio Mestas³ y Diego Paredes⁴

cfernandezba@gmail.com, godofpenada@yahoo.es, sergio_mestas@yahoo.com, diegopm90@hotmail.com

¹edD, ³Ms, Universidad Católica de Santa María; ²Ms, Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur (IIDS) y

⁴Bs, Centro Agroexportador y Agroindustrial (AGROEXIN S.A.).

Abstract– *Fodder corn is one of the most important products in Majes irrigation. In addition to its daily presence in food, corn is also excellent fodder for livestock, especially dairy cows and draft animals. It is used as cattle feed in various stages of plant growth, mainly from the time when the panicle appears.*

Annually 3800 hectares of feed corn are grown in the Majes irrigation. The average yield is 60 tons / ha, but the potential yield is 100 MT / ha or more. The increasing scarcity of labor (the work is delayed because there farmworkers available), and the high cost of this (the price of wage reaches 100 S / Day in some seasons), it has made farmers look mechanize agricultural work to ensure the execution of tasks at the right time and reduce production costs.

In this project the improvement of agricultural machinery used for the production of fodder maize, focusing mainly on corn sprinkled technology using ultra low volume during the different stages of growth took place. Initially manual equipment was evaluated, finally reaching the design and optimal tractor-mounted design, using the German VDI 2222 design methodology for the design of the final prototype. During the test phase a plot of one hectare planted by precision seeder use the same project, in these tests the sprayer finally achieving a yield of 50 liters / Ha. Significantly reducing the cost of corn production and environmental contamination by chemicals. The research was conducted with the support of FINCYT, CENTRO SA and agro-export and agro AGROEXIN the Catholic University of Santa María and institutions RESEARCH INSTITUTE AND DEVELOPMENT FOR THE SOUTH.

Keywords– *Maíz forrajero, ultra bajo volumen, asperjadora, tamaño de gota, Lts/Ha, discos.*

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una forma domesticada de un pasto salvaje, cultivado hace 5000 años en México. El maíz es uno de los cereales más utilizados para consumo humano y animal [4,5,7]. En términos de recepción de ingresos es el tercer cultivo más importante en el mundo.

En Majes (Arequipa Perú), de las 14,226 hectáreas bajo riego [8], anualmente se cultivan 3 800 hectáreas de maíz forrajero. El rendimiento promedio es de 60 TM/ha, pero el rendimiento potencial es más de 100 TM/ha. La creciente escasez de mano de obra (las labores se retrasan porque no hay trabajadores agrícolas disponibles), y el alto costo de esta (el precio del jornal llega a 100 S / Día en algunas temporadas), ha hecho que los productores busquen mecanizar las labores agrícolas para asegurar la ejecución de labores en el momento oportuno y reducir sus costos de producción. La siembra mecanizada se realiza en aproximadamente el 30% del área

(1140 hectáreas) y la aplicación de productos líquidos mecanizada es el 8% del área (304 hectáreas).

Actualmente se realizan las labores de asperjado del maíz mediante asperjadoras o fumigadoras manuales convencionales. Este tipo de fumigadora utiliza una bomba impulsada por un motor a combustión o un motor eléctrico para hacer pasar el líquido presurizado a través de una boquilla de sección reducida, lo que produce la pulverización de los químicos a fumar.

Al no tener equipos de asperjado de tecnología CDA (Controlled droplet application), que controlen el tamaño de gota y el volumen aplicado a la cosecha se tiene las siguientes consecuencias:

- Alto consumo de agua y/o aceite vegetal. (400 – 800 litros)
- Alto consumo de insecticida.
- Se produce contaminación de los suelos con elementos químicos del insecticida.
- No se tiene una fumigación homogénea.
- Bajo porcentaje de cubrimiento sobre todo en el envés.

Debido a que las aplicadoras disponibles tienen: alta variabilidad en tamaño de gota aplicada, con coeficientes de homogeneidad menores a 50%, escaso cubrimiento del envés de las hojas, altos volúmenes de aplicación (600 litros o más por hectárea) y pérdidas de producto líquido hacia el suelo por gotas de tamaño muy grande (mayores a 500 micras).

El propósito de esta investigación fue el mejoramiento tecnológico de aplicadoras de productos líquidos de ultra bajo volumen y alta uniformidad de gota aplicada, validados en las condiciones de la irrigación de Majes. Se logró desarrollar una asperjadora mejorada, con coeficiente de homogeneidad de 85% y solo utiliza agua entre 40 a 50 litros/ha, con ello mejora grandemente la rentabilidad económica de AGROEXIN y se reduce grandemente la contaminación por agroquímicos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Para lograr que las pruebas sean lo más precisas y consistentes posibles, se simuló el entorno operacional de las asperjadoras en los cultivos del Pedregal (Majes-Arequipa-Perú).

Se fabricó un ambiente controlado, con AA (acondicionamiento de aire), desarmable y fácil de transportar, de tal forma que las pruebas puedan realizarse en distintos lugares y diferentes condiciones.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.129>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

En este ambiente controlado se probaron las diferentes boquillas y discos de asperjado a las condiciones de El Pedregal de la Irrigación Majes.

Materiales de Laboratorio:

- Equipo AA 1200 BTU Westinhouse
- Anemometro Kestrel Portatil
- Ventilador Soplador:
- Carril de recorrido del soporte
- Aguilón
- Base para tarjetas hidrosensibles
- Sistema de Presurización
- Tanque de almacenamiento de líquido de Ultra Bajo Volumen (UBV)
- Papel sensible al agua.

Para esto, el ambiente controlado, está constituido por una cámara de laboratorio aislada y los elementos necesarios para controlar las siguientes variables de entrada:

- Velocidad del viento
- Temperatura mínima
- Temperatura máxima
- Presión ambiental.
- Humedad del aire.
- Irradiación solar.

Durante las pruebas se siguieron los procedimientos estandarizados por las normas ISO y ASTM.

Normas para protección de cultivos: Equipo de asperjado con métodos de prueba:

- ISO 5682: 1: 1996 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 1: Test methods for sprayer nozzles.
- ISO 5682: 2: 1997 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 2: Test methods for hydraulic sprayers.
- ISO 5682: 3: 1996 Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 3: Test method for volumen / hectare adjustment systems of agricultural hydraulic pressure sprayers.
- ASTM – 01 (2012) el Standard Methods for testing hydraulic Spray Nozzles Used in Agriculture

En este ambiente controlado se pudo determinar:

- Tipo y tamaño de disco de mejor rendimiento según los indicadores (g/cm², DMV, DMN, l/min)
- Rendimiento de boquillas convencionales a presión.
- Rendimiento de boquillas y discos a diferentes presiones y caudales.
- Impacto de la temperatura y velocidad del viento en el asperjado.

Se Diseñó, construyó y probó las asperjadoras en modo manual (tipo carretilla) y modo tractor.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cámara de pruebas se comprobó el rendimiento óptimo de 03 discos de ultra bajo volumen, analizando los siguientes valores:

TABLA I
PARÁMETROS MEDIDOS EN PRUEBAS DE DISCOS UBV

Parámetro	Designación	Descripción
Diámetro volumétrico medio	DVM 0.5	Es el valor del diámetro de gota que divide a la población de gotas en forma tal que la mitad del volumen aplicado está constituido por gotas de diámetro inferior y la otra mitad del volumen, está constituido por gotas de diámetro mayor.-
Diámetro volumétrico 0.1	DVM 0.1	Es el valor expresado en micras de las gotas que dividen a la población total de gotas en un 90% superior y un 10 % inferior.
Diámetro numérico medio	DNM	Diámetro a partir del cual se dividen dos volúmenes distintos pero que contienen un mismo número de gotas.
Amplitud Relativa	AMP	Es el cociente entre la diferencia de los valores del DVM 0.9 – 0.1 dividido el DVM.0.5
Cobertura	C	Entendemos por cobertura la cantidad de gotas por centímetro cuadrado Las gotas se miden sus diámetros en micras (milésima de milímetro)

Estos valores deben superar los de las asperjadoras convencionales , al tener mejores parámetros se tienen diferentes ventajas sobre las fumigadoras que se utilizan en la actualidad, siendo lo más importante reducir el costo por hectárea en la producción de maíz forrajero y la contaminación del medio ambiente. A continuación, mostramos los valores de los parámetros con los diferentes diseños de discos UBV analizados:

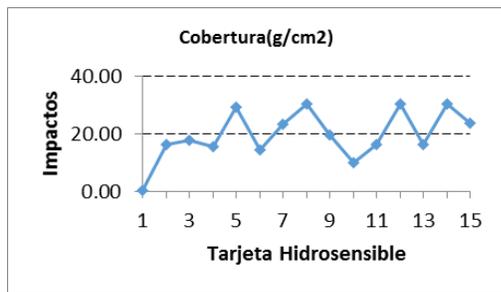
A. Disco cónico con borde acanalado

I. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Fig. 1 Disco Cónico con borde acanalado en prueba.

Se obtuvo los siguientes cubrimientos en gotas/cm² sobre las siguientes tarjetas hidrosensibles colocadas a los diferentes rangos del disco, teniendo un rango máximo de 2 metros de diámetro de cubrimiento.



Graf. 1 Cobertura Disco cónico en cámara de pruebas.

De las pruebas realizadas a este disco se pudo obtener los siguientes datos:

TABLA II
PARÁMETROS PRUEBA CÁMARA DISCO CÓNICO

Tarjeta	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvío (μ)	Volumen Teórico (Lt / ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	0.49	59.07	60.00	0.00	0.01	35.00	35.00	35.00
T2	16.42	641.89	560.00	263.71	227.43	609.00	885.00	923.00
T3	17.86	503.03	480.00	221.99	119.01	519.00	793.00	861.00
T4	15.59	607.59	570.00	258.13	183.11	585.00	831.00	847.00
T5	29.18	529.58	250.00	321.42	226.89	713.00	925.00	989.00
T6	14.30	468.52	440.00	228.66	77.02	507.00	835.00	867.00
T7	23.44	243.17	230.00	111.24	17.64	229.00	359.00	403.00
T8	30.59	218.30	210.00	121.18	16.66	215.00	399.00	437.00
T9	19.76	284.52	280.00	107.40	23.83	267.00	383.00	411.00
T10	9.88	403.80	360.00	248.28	34.07	505.00	685.00	685.00
T11	16.21	553.21	460.00	266.18	143.69	571.00	773.00	817.00
T12	30.51	237.71	220.00	132.01	21.46	247.00	427.00	499.00
T13	16.21	553.21	460.00	266.18	143.69	571.00	773.00	817.00
T14	30.51	237.71	220.00	132.01	21.46	247.00	427.00	499.00
T15	23.84	225.60	220.00	103.84	14.33	217.00	357.00	413.00
Promedio	19.65	384.46	334.67	185.48	84.69	402.47	592.47	633.53

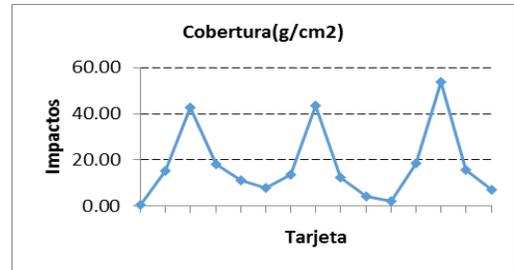
Disco cilíndrico con borde acanalado



Fig. 2 Operación disco Cilíndrico acanalado en cámara de pruebas.

Se probó el disco cilíndrico con borde acanalado con una presión de 3 bar y un caudal de 200 cc/min, este disco tiene un diámetro de 2 ½ pulg y utiliza una boquilla de sección reducida para alimentar el líquido en el centro del disco.

En la siguiente grafica se muestran los resultados de cubrimiento:



Graf. 2 Cobertura disco cilíndrico acanalado en cámara de pruebas.

TABLA III
PARÁMETROS PRUEBA CÁMARA DISCO CILÍNDRICO ACANALADO

Tarjeta	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvío (μ)	Volumen Teórico (Lt / ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	0.48	89.11	90.00	0.00	0.02	65.00	65.00	65.00
T2	15.01	173.63	80.00	167.57	4.11	275.00	347.00	361.00
T3	42.82	285.88	300.00	140.56	52.38	293.00	439.00	533.00
T4	18.10	331.88	400.00	191.05	34.64	405.00	549.00	587.00
T5	11.04	80.70	80.00	31.12	0.30	86.25	111.25	113.75
T6	7.73	112.35	80.00	48.46	0.57	103.00	139.00	141.00
T7	13.65	319.98	140.00	227.51	23.41	453.00	545.00	575.00
T8	43.66	331.63	310.00	181.84	83.39	347.00	643.00	765.00
T9	12.40	274.69	190.00	226.34	13.46	379.00	465.00	469.00
T10	4.18	145.38	130.00	72.18	0.67	192.50	237.50	237.50
T11	1.91	116.78	90.00	58.23	0.16	87.50	147.50	147.50
T12	18.35	245.73	160.00	195.23	14.26	435.00	559.00	569.00
T13	53.64	297.19	280.00	159.11	73.73	319.00	727.00	859.00
T14	15.46	322.48	120.00	264.80	27.14	519.00	733.00	733.00
T15	6.90	102.73	110.00	20.13	0.39	93.75	108.75	116.25
Promedio	17.69	215.34	170.67	132.28	21.91	270.20	387.73	418.13

B. Disco cilíndrico con borde liso

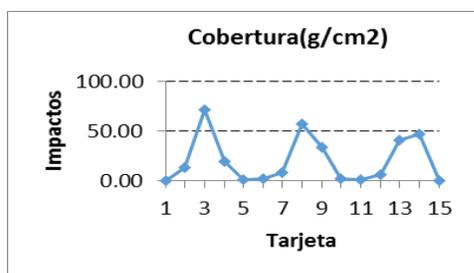


Fig. 3 Operación disco Cilíndrico liso en cámara de pruebas.

Con este disco se consiguió un verdadero asperjado de mano a ultra bajo volumen, con gotas de tamaño controlado entre 250mc-300mc.

Permitiendo un círculo de trabajo de 1.2-1.5 metros, dependiendo de la altura de trabajo.

El disco acanalado liso fue obtenido del diseño del equipo español Pulmic Fenix, el cual ofrece la posibilidad de intercambiar boquillas de inyección de líquido. Lo que favorece su versatilidad para distintas aplicaciones.



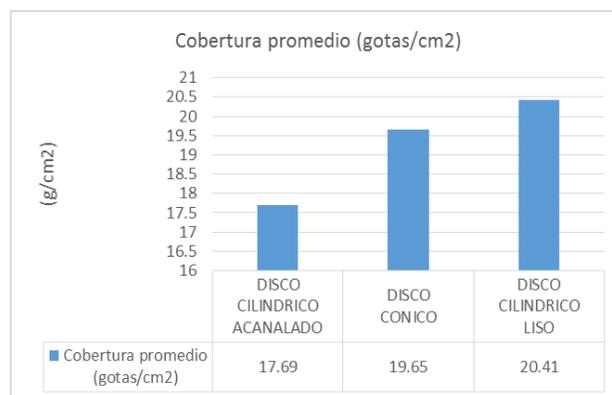
Graf. 3 Cobertura disco cilíndrico liso en cámara de pruebas.

TABLA IV
Parámetros prueba cámara disco cilíndrico liso

Tarjeta	Número	Cobertura (g/cm ²)	DM (μ)	DMN (μ)	Desvio (μ)	Volumen Feórico (Lt / ha)	DV01 (μ)	DV05 (μ)	DV09 (μ)
T1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T2	2	13.83	333.29	410.00	144.12	26.80	329.00	453.00	479.00
T3	3	71.84	237.47	240.00	122.38	50.37	239.00	441.00	543.00
T4	4	19.51	326.66	360.00	142.36	35.61	343.00	441.00	485.00
T5	5	0.92	88.21	60.00	50.42	0.03	82.50	82.50	82.50
T6	6	1.76	95.49	90.00	52.21	0.08	95.00	95.00	95.00

T7	7	8.10	350.40	410.00	143.04	18.26	389.00	439.00	457.00
T8	8	57.88	231.41	230.00	120.66	37.56	243.00	371.00	477.00
T9	9	33.68	290.18	280.00	133.17	43.09	305.00	443.00	555.00
T10	10	2.04	92.74	90.00	25.30	0.09	88.33	95.00	95.00
T11	11	0.99	217.42	90.00	191.22	0.53	335.00	335.00	335.00
T12	12	6.00	197.32	260.00	172.08	2.41	271.25	308.75	316.25
T13	13	41.36	232.82	250.00	93.39	27.33	233.00	287.00	393.00
T14	14	47.62	338.07	310.00	133.48	96.33	305.00	603.00	709.00
T15	15	0.56	84.98	90.00	0.00	0.02	65.00	65.00	65.00
Promedio		20.41	207.77	211.33	101.59	22.57	221.54	297.28	339.12

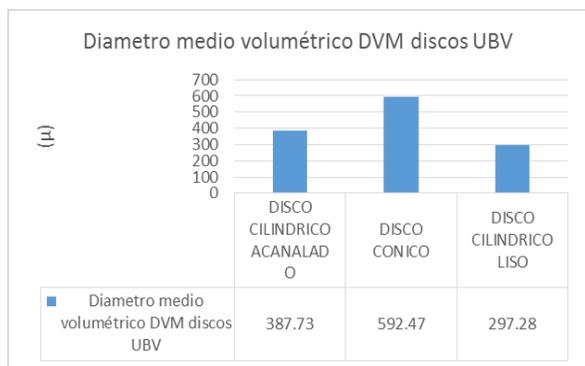
En los tres modelos de discos de ultra bajo volumen se utiliza el mismo principio, en el que la rotación del disco impulsa al líquido a los extremos del disco y por fuerza centrífuga se desprende en pequeñas gotas del elemento rotatorio. Siguiendo este principio se pueden variar diferentes aspectos de la construcción del disco como el diámetro, variando el alcance, la geometría, variando el desempeño y tamaño de gota, la fuente de rotación, el punto de alimentación de líquido, el tipo de elemento de alimentación de líquido al disco y el acabado de la superficie externa del disco (lisa rugosa o acanalada). Después, los resultados tabulados anteriormente, fueron plasmados en gráficas para una mejor comparación.



Graf. 4 Cobertura promedio discos ultra bajo volumen.

Según la gráfica N°4 se puede observar que el disco cilíndrico liso tiene una mayor cobertura promedio, este dato es determinante para el rendimiento del disco ya que a mayor cobertura se tendrá una mayor eficacia del aplicador para combatir las plagas y cubrir el haz y envés de la hoja de maíz. Otro aspecto que también se tomó en cuenta para la selección del disco más adecuado fue el DVM (Diámetro Medio Volumétrico), este valor debe encontrarse entre 250 y 500 micras, y se seleccionó el disco cuyo DVM es menor.

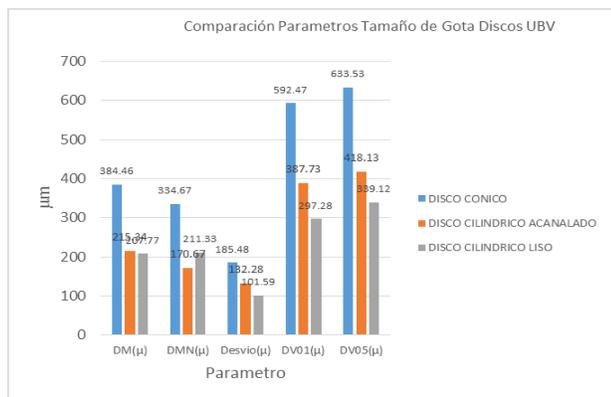
Según la siguiente gráfica comparamos los valores de diámetro medio volumétrico.



Graf. 5 Diámetro medio volumétrico DVM discos UBV.

En la gráfica 5 se puede observar que el disco con menor DVM es el disco de cilindro liso, con un tamaño de gota promedio de 297.28 μm.

Se graficaron y resaltaron estos dos parámetros por ser los más importantes para el desempeño de la máquina, se considera el tamaño de gota y el gado de cubrimiento de la hoja como los 02 parámetros de desempeño del disco más importantes, además el valor que nos importa para reducir el costo de asperjado en S./HA es el consumo del disco en Litros/Hectárea. Este valor está directamente relacionado con los valores antes determinados por lo cual se graficó juntos todos los parámetros en la siguiente gráfica.



Graf. 6 Parámetros tamaño de gota evaluados en cámara de pruebas discos UBV.

Como se puede observar en la Gráfica 6 el disco cilíndrico de borde liso alcanzó un menor tamaño de gota en las pruebas realizadas, que es lo que buscamos para la fumigadora de ultra bajo volumen. Al tener también un mayor cubrimiento que los otros discos de 20.41 gotas/cm² y un tamaño de gota promedio DV01= 297.08 μm, podemos llegar a la conclusión de que este disco será el de mejor 'performance' para la construcción de nuestra asperjadora, por lo cual fue seleccionado para proceder con el diseño del equipo.

Para el diseño del equipo se utilizó la metodología alemana VDI, siguiendo la secuencia expuesta en el documento VDI 2222 'Methodic development of solution principles', en el cual mediante una secuencia de pasos se obtiene el diseño óptimo para el equipo. El concepto fabricado es una máquina transportable, totalmente desarmable, dicho equipo se podrá utilizar en modo manual impulsado por un operador o acoplado a una barra estándar de tractor. Se utilizó software para el diseño y cálculo de la parte estructural de la máquina: Autodesk, Autocad y Autodesk Inventor.

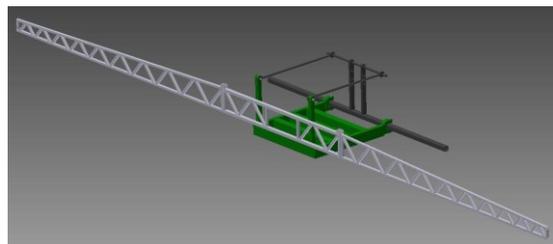


Fig. 4 Modelamiento 3D Asperjadora Modo Tractor.

Fabricada en acero A-36 con cubierta epóxica de color verde. La máquina tiene un peso aproximado de 75 Kg, incluyendo los acoples y conexiones para el modo manual y tractor. Se utiliza una bomba de diafragma para impulsar el líquido hasta los discos y conexiones flexibles transparente de polipropileno.

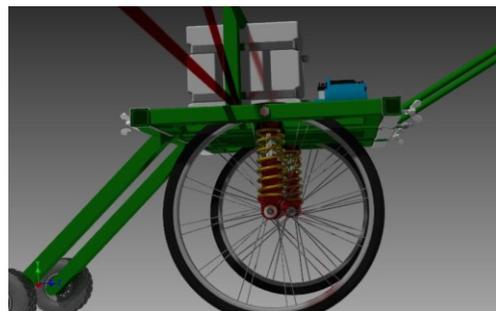


Fig. 5 Modelamiento 3D Asperjadora Modo manual.

Se procedió a la construcción del prototipo en la ciudad de Arequipa para posteriormente ser trasladado al Pedregal donde se asperjó la hectárea de maíz sembrada.

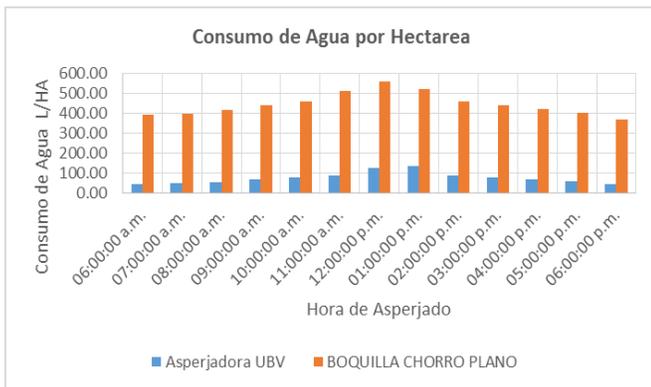


Fig. 6 Construcción de asperjadora Ultra Bajo volumen.



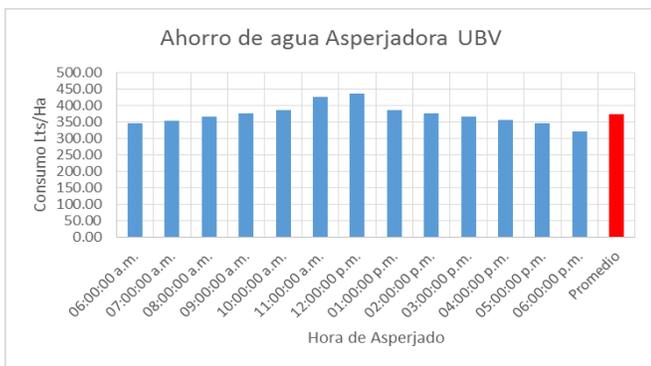
Fig. 7 Asperjadora Ultra Bajo Volumen Modo Manual Parcela Pedregal.

Se asperjó a diferentes horas del día para analizar el rendimiento del equipo en diferentes condiciones ambientales. Se obtuvo los resultados de consumo de agua expuestos en la siguiente gráfica número 7:



Graf. 7 Consumo de Agua Asperjadora UBV VS Asperjadora Convencional.

Se puede observar en la gráfica el gran ahorro de agua que supone utilizar la asperjadora de UBV sin importar cuál sea el químico o el tipo de sembrío que se fumigara siempre se tendrá una amplia ventaja sobre las asperjadoras convencionales, también podemos indicar que las mejores horas para asperjar son en la mañana de 06:00 am a 09:00 am y de 03:00 pm a 06:00 pm, por las condiciones de viento y temperatura.



Graf. 8 Ahorro de agua con Asperjadora UBV.

Asimismo, al momento de las pruebas se colocó papel sensible para re comprobar y comparar el rendimiento de los discos UBV obtenido en la cámara de pruebas.



Fig. 8 Colocación de papel sensible en hojas de maíz forrajero.

Se comprobó y validó la alta uniformidad del tamaño de gotas, al menos 85%, y se redujo la contaminación por agroquímicos en un 60% para el modo manual.

En base a la experiencia de la asperjadora manual, se diseñó y construyó la asperjadora para ser impulsada por cualquier tractor, como se muestra en la fig. 9.



Fig 9 Asperjadora UBV modo tractor en AGROEXIN

Esta asperjadora liviana, cubre 9 hileras de maíz, se muestran los discos de UBV, funcionan con muy poca energía eléctrica a 12V tiene una bomba y sistema de control. Las distancias entre discos y altura se regulan con facilidad, dependiendo del sembrado de maíz u otro producto.

II. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó un prototipo de una asperjadora de ultra bajo volumen de accionamiento manual y para acople en tractor, dicho equipo es totalmente desarmable y transportable con herramientas básicas y puede hacerse el cambio manual-tractor en campo.
2. Se obtuvo un consumo promedio de agua de 73.67 litros por hectárea asperjada en las diferentes horas del día, reduciendo el consumo respecto a asperjadoras convencionales el cual fue de 445.54 litros por hectárea, para las mismas condiciones. Esto nos da un ahorro promedio de 371.88 litros por cada hectárea asperjada.
3. La asperjadora de ultra bajo volumen construida puede llegar a rendimientos de hasta 44 litros por hectárea si se realiza el asperjado en horas de la mañana. Esto supera nuestro

objetivo inicial del proyecto que fue de 50 Litros por hectárea. Esto también implica la menor contaminación del suelo y aire por agroquímicos, una mayor uniformidad de cubrimiento del haz y envés de las hojas de maíz, con un coeficiente de homogeneidad de por lo menos 85%.

4. Con los discos utilizados se logró un tamaño de gota entre 200 y 300 micras, lo que permite que nuestro equipo tenga un mayor rendimiento con menos líquido. Para la cual se optimizó a una presión de 3 bar, un caudal de 0.6 litros/min y una velocidad de 5000 revoluciones por minuto. Valores a los cuales se obtuvo mejores resultados en el asperjado a diferentes condiciones atmosféricas que fueron simuladas en la cámara de trabajo con acondicionamiento de aire AA.

REFERENCIAS

- [1] Matthews, Graham. "Pesticide application methods". John Wiley & Sons, Cuarta Edición Wiley Blackwell, 2008.
- [2] Monro, Hector Alexander Urquhart. "Manual de fumigación contra insectos". No. 20. Food & Agriculture Org., 1978.
- [3] Berlijn, Johan D. "Tractores y maquinaria agrícola". No. 631.3 B47Y. 1963.
- [4] Miguel Ángel Sánchez-Hernández et al "Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros"
- [5] Malvar, R. A., et al. "White maize: genetics of quality and agronomic performance." *Crop science* 48.4: 1373-1381. 2008.
- [6] Madamombe-Manduna, Idah, Heike Vibrans, and Lauro López-Mata. "Diversity of coevolved weeds in smallholder maize fields of Mexico and Zimbabwe." *Biodiversity and Conservation* 18.6: 1589-1610. 2009.
- [7] Sánchez-Hernández, Miguel Ángel, et al. "Densidad de siembra y crecimiento de maíces Forrajeros." *Agronomía mesoamericana* 22.2: 281-295. 2011.
- [8] Ministerio de Agricultura. "Diagnóstico del estado situacional de las asociaciones activas en la irrigación de maíces". 2009
- [9] Chau, A. "Ensayo de una nueva técnica de aspersión aérea." v. 8 (1) p. 72-75. Diciembre. 1965.
- [10] G.A Matthews, E.W Thronhill, "Equipo portátil de aplicación de pesticidas para uso en la agricultura". Volumen 1. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 1996.
- [11] Tinoco Alfaro, Carlos Alberto, et al. "Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento." *Agricultura técnica en México* 34.3: 271-278. 2008
- [12] Valero Ubierna, Constantino, and Víctor Gil Quirós. "Últimas tendencias en pulverizadores, atomizadores y nebulizadores". *Vida Rural* 225: 53-56. 2006.
- [13] Wilson, Mx, R. F Ruppel, y R. R. Treece. "Low - Volume Concentrate Sprays Applied by Aircraft for Control of the Cereal Leaf Beetle", *Journal of Economic Entomology*, Vol. 58 (1): 11-14. 1965.
- [14] Swissmex. [13]
 "http://www.swissmex.com/SwissMexCMS/Productos-(1)/Productos-Exportacion/dos/Motorizadas-(1).aspx". 2012. Consultado [Setiembre, 2013].
- [15] Sirfran: Pulverizadores y accesorios. <http://www.sirfran.com/>. Consultado [Octubre, 2013].
- [16] Ontario: Ministry of Agriculture, food and rural affairs. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/11-001.htm>. 2016. Consultado [Enero, 2016].
- [17] Manuel F. Polanco Puerta. "Maquinaria y mecanización Agrícola". www.ecapma.bligoo.com/media/users/13/657161/files/73188/201619_-_Maquinaria_y_Mecanizaci_n_Agr cola.pdf. 2007. Consultado [Marzo, 2012].