



BOQUILLAS

DE PULVERIZACIÓN HIDRÁULICA

Por: Juan Antonio Boto Fidalgo*, Víctor Marcelo Gabello**

INTRODUCCIÓN

A efectos de valorar la importancia de una boquilla pulverizadora en un equipo de aplicación de líquido por pulverización, se podría decir lo siguiente; un equipo "sencillo", con boquillas de calidad y en buen estado, y bien regulado, puede proporcionar aplicaciones aceptables o buenas, mientras que, un equipo "sofisticado", con boquillas en mal estado, nunca podrá realizar una buena aplicación. Esto se ha de tener muy en cuenta, sabiendo además que estos elementos representan un coste mínimo en relación al total del equipo.

Las boquillas pulverizadoras se diferencian, principalmente, por la forma de energía que usan para transformar el líquido en gotas, existiendo boquillas de pulverización hidráulica, neumática, centrífuga, etc...; no obstante, y dada la importancia de la pulverización hidráulica frente a otras formas de pulverización, frecuentemente, cuando se habla de boquillas pulverizadoras nos referimos a **boquillas de pulverización hidráulica**.

La presión del líquido, es la responsable del aporte de energía para la formación de

las gotas y de la energía cinética residual que éstas poseen una vez formadas; en general, a mayor presión, mayor nivel de pulverización (gotas más finas) y mayor energía cinética (mayor velocidad inicial de las gotas).

La población de gotas formadas depende, además de la presión del líquido, de los siguientes factores:

- * del cuerpo de la boquilla, o forma de canalizar el líquido hacia el exterior,
- * del orificio de salida, tanto de la sección, su forma, y las formulaciones internas o externas que presente.
- * de las características del líquido, especialmente de la viscosidad y tensión superficial.
- * de las condiciones ambientales, que modifican las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el líquido en la atmósfera.

CARACTERÍSTICAS DE LAS BOQUILLAS

Todas las boquillas presentan unas características que las diferencian y que es necesario conocer para su empleo. Algunas de ellas pueden valorarse mediante ensayos, incluidos en normas técnicas, como por ejemplo, los recogidos en la Norma **UNE 68-055-82 ó ISO 5682-1:1996**.

Las características más importantes son:

Presión de trabajo o recomendada. - Es la presión o intervalos de presión para la que recomienda su utilización el fabricante.

Caudal. - Es el caudal que proporciona la boquilla a una determinada presión de trabajo.

Poblaciones de gotas. - Parámetros relacionados con los tamaños de gotas que genera a la presión de trabajo.

Angulo de chorro. - Se corresponde con el ángulo que forma el líquido, a la salida del orificio, delimitado por las partes rectilíneas exteriores del chorro.

Superficie cubierta. - La superficie cubierta se corresponde con el área delimitada por la ocupación de las gotas sobre una superficie plana y horizontal.

Distribución de líquido en la dirección perpendicular al avance. - Viene determinada por la línea de distribución o superficie de reparto del líquido en el ancho ocupado por la superficie cubierta.

Desgaste. - Las boquillas, y especialmente los orificios de salida del líquido están sometidas a desgaste debido la corrosión y especialmente a la erosión de los líquidos que pulveriza.

Es importante comprobar que el caudal de una boquilla determinada (cuerpo y orificio de salida), en la pulverización de un determinado líquido, es proporcional de la \sqrt{p} ; es decir, para una boquilla que suministra un determinado caudal de un

(*) Dr. Ingeniero Agrónomo. Universidad de León.

(**) Ingeniero Agrónomo.

líquido, sometido a una presión conocida, se puede calcular la presión a que se debe someter el líquido para obtener otro caudal diferente.

$$p_2 = p_1 \times (Q_2/Q_1)^2$$

siendo,

* Q_2 , caudal que se quiere obtener,

* Q_1 , caudal inicial conocido,

* p_2 , presión requerida para obtener el nuevo caudal

* p_1 , presión inicial del líquido

CLASIFICACIÓN-CATALOGACIÓN

Existe una extraordinaria diversidad de boquillas de pulverización hidráulica aunque no todas son de aplicación agrícola. Atendiendo a esta diversidad, dentro de las de aplicación agrícola, se podrían diferenciar tres categorías fundamentales:

Tipos y subtipos. Se corresponde con formas de funcionamiento determinados.

Sección del orificio de salida. Dentro de cada tipo, subtipo o modelo, normalmente se construyen boquillas con diferente tamaño de orificio "calibrado", que se corresponden con aportaciones de diferentes caudales a una presión determinada, y que suelen diferenciarse con colores para facilitar su identificación.

Materiales de constitución. - El material en los que se fabrican los cuerpos de las boquillas, y en especial los orificios de salida del líquido, son otra variante a destacar que se encuentra en estas boquillas de pulverización.

TIPOS Y SUBTIPOS

Aunque son muchos los tipos de boquillas que nos podemos encontrar en el mercado, son cuatro los más utilizados en pulverizaciones agrícolas; éstos, se van a designar como *hendidura*, *turbulencia*, *deflectora* y *tres orificios*. Estos cuatro tipos son los que se incluyen en la Norma UNE 68-082-89 (Punto 4.1)

Hendidura, pincel o abanico plano

El principio teórico de funcionamiento de estas boquillas es el siguiente: "Si dos corrientes de líquidos chocan entre sí con un ángulo superior a los 90°, frente a un orificio de salida, se forma hacia el exterior una fina película de líquido que se transforma en gotas".

El interior del cuerpo de la boquilla de hendidura presenta una forma que le permite repartir el líquido, que le llega a presión, en dos "filetes líquidos" que se curvan hacia el centro para chocar ante el orificio de salida. La forma elíptica del orifi-

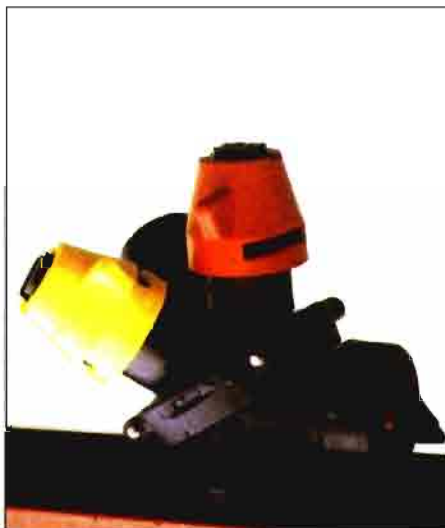
cio de salida junto con su prolongación lenticular hacia el exterior o "hendidura" tiene una gran importancia en el comportamiento y características de la boquilla. Esta boquilla, presenta una imagen del chorro característica, en forma de "pincel" o "abanico plano".

Dentro de este tipo se pueden diferenciar cuatro subtipos:

Estándar (Standard). Responde a lo especificado manteniendo sus prestaciones en un corto intervalo de presiones.

Antideriva (No drift). Se diferencia de la estándar porque reduce el número de gotas finas formadas ($\phi < 200 \mu\text{m}$) en porcentajes que pueden alcanzar el 80% del total. Este hecho se debe a una disminución de la presión del líquido en el interior del cuerpo de la boquilla. Dentro de este subtipo se pueden encontrar dos variantes,

- "preorificio calibrado"; la entrada del



líquido al cuerpo de la boquilla se ve limitada por un orificio de pequeña sección (menor que la del propio orificio de salida hacia el exterior)

• "formación de codos"; el líquido, en el cuerpo de la boquilla (antes de salir por el orificio) debe desplazarse por conducciones sinuosas (codos) en las que pierde presión.

Baja presión (Low pressure). Se caracterizan porque sus prestaciones (a excepción de las poblaciones de gotas) se mantienen en amplios intervalos de presión. Con presiones bajas, se obtienen gotas gruesas y menor riesgo de deriva y, con presiones elevadas, gotas más finas con más riesgo de deriva.

Bandas (Even). Se caracterizan porque la distribución del líquido, en la dirección del eje mayor de la elipse cubierta, presenta una superficie de reparto que se aproxima más a una forma trapezoidal que a una triangular.

Las características principalmente, normalmente, se ajustan a lo siguiente:

• La presión de trabajo puede variar entre 1 y 5 bar; siendo entre 2 y 3 bar las presiones más frecuentes.

• El caudal suministrado es muy variable según la sección del orificio de salida y presión de trabajo, encontrando boquillas que nos pueden proporcionar menos de 0,5 l/min.

• La población de gotas formada es muy heterogénea, con una relación DMV/DMN que puede variar de 1,8 a 7. Un DMV representativo puede estar comprendido entre 200 y 300 μm . El diámetro de Sauter (d_{vs}) puede variar entre 150 y 500 μm .

• El ángulo de chorro varía de 65 a 120°, siendo la de 110° la de uso más generalizado. La superficie cubierta es una elipse cuyo diámetro mayor está determinado por el "ángulo de chorro".

• La línea de distribución del líquido, en relación a la dirección del eje mayor de la elipse cubierta, se asemeja a la forma de una "Campana de Gauss", generando una superficie de reparto entre triangular y trapezoidal.

• Estas boquillas se realizan en una gran diversidad de materiales lo que les confiere la diferente resistencia al desgaste.

Turbulencia de cono hueco

En estas boquillas, el líquido antes de llegar al orificio de salida (con forma circular) se ve sometido a un movimiento direccional "turbulencia" que provoca, en contacto con la atmósfera, la creación de películas de líquido giratorias que forman un "cono hueco", dando una imagen característica al chorro pulverizado. Otras características de estas boquillas son, la superficie cubierta en forma de corona circular y la línea de distribución con forma de "Campana de Gauss" invertida.

El orificio circular de salida de líquido, normalmente, presenta una formación cónica hacia el exterior, y puede integrarse en el cuerpo de la boquilla o forma parte de un elemento independiente que se denomina **restringidor, calibrador o pastilla**. El tamaño de este orificio suele variar de 0,8 a 2 mm de diámetro.

El movimiento direccional del líquido, antes de salir por el orificio, puede producirse de distintas formas, lo que sirve para diferenciar en subtipos estas boquillas.

Difusor y orificio (disc and core). El movimiento rotativo del líquido se produce en un elemento independiente denominado **difusor**, que consiste en un "disco" que posee unos agujeros o acanaladuras tangenciales o en espiral (helicoidales). El **orificio calibrado** se encuentra en otro elemento independiente, conforma semiesférica o de disco denominado frecuentemente "pastilla". Entre el difusor y el orificio se

forma un espacio, en el que el líquido mantiene el movimiento giratorio, denominado "cámara de turbulencia".

Orificio ranurado (hollow cone). El movimiento giratorio del líquido se produce sobre unas ranuras o canalizaciones tangenciales hechas sobre la cara interna del elemento que posee el orificio de salida; el líquido, previamente a su llegada a estas ranuras, es conducido hacia ellas en el interior del cuerpo de la boquilla de diferentes formas; por ejemplo, a través de un elemento con tres orificios como ocurre en las boquillas *ATR de Albus*, muy utilizadas en la pulverización con equipos hidroneumáticos.

Cámara variable (adjustable cone). El movimiento se produce en unas canalizaciones helicoidales hechas en la cara interna del cuerpo de la boquilla o sobre un elemento cilíndrico ubicado en su interior; en todo caso, estas canalizaciones finalizan en un espacio o "cámara de turbulencia" donde el líquido presenta el movimiento direccional antes de salir por el orificio. El desplazamiento del cuerpo de la boquilla (que incluye el orificio ya sea integrado en el propio cuerpo o como pastilla independiente) respecto del elemento cilíndrico ubicado en su interior, produce una variación del volumen de la cámara de turbulencia; un incremento de este volumen conlleva, salida de un mayor caudal, obtención de gotas más gruesas y, disminución del ángulo de chorro.

Las características principales, normalmente, se ajustan a lo siguiente:

- La presión de trabajo suele ser superior a 3 bar. En su uso en equipos hidráulicos se recomiendan presiones entre 3 y 5 bar mientras que en equipos hidroneumáticos las presiones recomendadas superan los 10 bar.
- El caudal suministrado, también muy variable en función de la sección del orificio de salida y presión de trabajo, pueden variar entre 0,1 l/min hasta superar los 5 l/min.
- La población de gotas formada es heterogénea, con una relación DMV/DMN que varía de 2 a 8. Un DMV representativo puede estar comprendido entre 100 y 259 μm . El diámetro de Sauter ($d_{v/5}$) puede variar entre 70 y 400 μm .
- El ángulo de chorro varía de 60 a 100° pudiendo considerar con un valor representativo el de 80°. La superficie cubierta es una corona circular.
- La línea de distribución del líquido, respecto del diámetro de la corona circular cubierta, se asemeja a una doble "Campana de Gauss", con los puntos más

altos correspondientes al diámetro medio de la circunferencia que define la corona circular. De forma simplificada la superficie de reparto se podría asemejar a un triángulo invertido.

- Estas boquillas también se realizan en una gran diversidad de materiales, aunque abundan las de orificio de cerámica debido al elevado riesgo de desgaste por erosión que presentan.
- La trayectoria de las gotas formadas, en el espacio, describen líneas giratorias lo que las confiere una elevada capacidad de penetración en la vegetación.

Deflectora, espejo, choque

El líquido a presión, al atravesar un orificio circular de tamaño calibrado, se encuentra con una superficie "deflectora" o de "choque" contra la que impacta transformándose el chorro líquido en gotas. La superficie de choque, con forma



curva y perfectamente lisa, por lo que se denomina también "espejo", se forma como prolongación del cuerpo cilíndrico de la boquilla.

Aunque no se suelen diferenciar subtipos, algunas boquillas presentan "preorificios calibrados" similares a los existentes en las boquillas de hendidura antideriva.

Las características principales, normalmente, se ajustan a lo siguiente:

- La presión de trabajo varía de 0,5 a 2,0 bar, siendo frecuente su utilización entre 1 y 2 bar.
- El caudal suministrado, muy variable, puede oscilar entre 0,2 l/min hasta los 10 l/min.
- La población de gotas formada presenta una relación DMV/DMN que varía de 4 a 12. Un DMV representativo puede estar comprendido entre 400 y 650 μm . El diámetro de Sauter ($d_{v/5}$) puede variar entre 400 y 800 μm .

• El ángulo de chorro varía de 80 a 160°, pudiendo considerar como un valor representativo el de 120°. La superficie cubierta puede considerarse rectangular con los bordes redondeados.

• La línea de distribución del líquido, respecto de la dirección de los lados más grandes del rectángulo formado por la superficie cubierta, es prácticamente recta (superficie de reparto rectangular).

• También se realizan estas boquillas en diversos materiales.

Chorro simple, corriente sólida

La más popular de estas boquillas es la de tres orificios o "chorritos"; en ellas, el líquido a presión que llega al cuerpo de la boquilla, se hace pasar por orificios circulares calibrados, por donde sale en chorros que, a su vez, pueden transformarse en gruesas gotas a su llegada al objetivo.

Las características principales, normalmente, se ajustan a lo siguiente:

- La presión de trabajo varía de 0,5 a 1,0 bar.
- La población de gotas está caracterizada por gotas de elevado tamaño de poca uniformidad. Un DMV representativo puede ser de 1.000 μm .
- El caudal suministrado, muy variable, puede oscilar entre 0,5 l/min hasta los 15 l/min.
- La superficie cubierta constituye áreas circulares para cada orificio.
- La distribución del líquido forma una línea triangular para la superficie de cada orificio.

OTRAS BOQUILLAS

Aunque existe una importante diversidad, se podrían destacar las siguientes:

Cono lleno (full jet). Consisten, normalmente, en boquillas de turbulencia de cono hueco, del subtipo "difusor y orificio" en las que el difusor, además de los hélicos, presenta un orificio central que permite el paso de líquido y la formación del cono lleno.

Doble corro plano (twin jet standard o even). Presentan dos superficies cubiertas, similares cvada una a las formadas por las boquillas de hendidura. Permiten una doble pulverización sobre la superficie objetivo, lo que puede favorecer el nivel de cobertura y penetración del producto.

De chorro excéntrico (off-center jet). Son boquillas de tipo de hendidura pero con orificio excéntrico. Se ubican en los extremos de las barras de distribución, para hacer aplicaciones laterales, permi-

tiendo, la distribución de líquidos en superficies con obstáculos o ampliar el ancho de trabajo del equipo.

LAS BOQUILLAS HIDRONEUMÁTICAS

Estas boquillas, de reciente aparición, no presentan formas nuevas respecto de las estudiadas, aunque funcionan de forma diferente; en ellas el proceso de pulverización se puede diferenciar en tres etapas.

a) Salida del líquido a presión, a través de uno o varios orificios calibrados "calibradores", hacia una pequeña cámara donde se forma una "ligera" pulverización.

c) La mezcla líquido-aire se ve arrastrada hacia el exterior, a través de un conducto más o menos sinuoso, para salir por un orificio que pone la mezcla en contacto con la atmósfera formándose gotas que incluyen los dos elementos.

La ventaja fundamental atribuida a estas boquillas se debe a la utilización de gotas de mayor tamaño, que las hacen menos sensibles a la deriva a la vez que puede mejorar su cobertura; esto es debido a que cuando estas gotas impactan con el objetivo "estallan", debido a las burbujas de aire que poseen, formando gotas de líquido mucho más finas con mejor cobertura.

El tamaño de las gotas con la mezcla dependerá de los porcentajes de aire/líquido



b) En la mencionada cámara de pulverización se introduce aire, ya sea por aspiración natural mediante el efecto "Venturi" o a presión procedente de un circuito neumático.

que posean; la cantidad de líquido puede variarse mediante el tamaño de los calibradores o la presión de trabajo y la cantidad de aire solo podrá regularse cuando proceda de un circuito neumático.

Tabla I

Referencia	Color	Caudal (l/min) ¹	Volúmenes de aplicación (l/ha) ²
01	Naranja	0,4	65-50
015	Verde	0,6	100-75
02	Amarillo	0,8	130-100
03	Azul	1,2	200-150
04	Rojo	1,6	260-200
05	Marrón	2,0	330-250
06	Gris	2,4	400-300
08	Blanco	3,2	500-400

¹Caudal obtenido a una presión de 3 bar

² Los volúmenes de aplicación están calculados a una presión de 2 bar y velocidades de 6 y 8 km/h respectivamente

Las variantes que existen en el mercado de estas boquillas (o sistemas) son los siguientes:

Boquillas de hendidura con inyección de aire.- El orificio externo de la boquilla, por donde ha de salir la mezcla formándose las gotas, es de "hendidura"; el cuerpo de la boquilla es alargado y posee un calibrador para la entrada de líquido y unos orificios que permiten la entrada de aire por "efecto Venturi". Ejemplos de estas boquillas son la "ID" de Lechler y la "al-Teejet" de Teejet.

Cuerpo con inyección de aire.- Se trata de una estructura que posee un orificio calibrado para la entrada del líquido a presión y un orificio para la entrada de aire por "efecto Venturi"; en su interior, presenta formaciones para facilitar la mezcla "líquido-aire"; la mezcla, finalmente, pasa a una boquilla "convencional" sustituible (normalmente de hendidura o turbulencia de cono hueco) que se acopla a la estructura general. Ejemplo de esta boquilla es la Turbodrop de Agrotop.

Sistemas con aire a presión.- Estos sistemas incluyen un circuito neumático que permite variar a voluntad (o de forma automática en función del tamaño de gotas formadas) la cantidad de aire de la mezcla. El caudal de líquido se regula utilizando distintos calibradores o variando la presión. Con estos sistemas se utilizan orificios de salida de la mezcla integrados en boquillas tipo "deflectora". Ejemplos de estos sistemas son, "Airtec" de Royaume-Uni y "Airjet" de Teejet.

LAS BOQUILLAS PARA APLICACIÓN DE ABONOS EN FORMA LÍQUIDA

En países en los que se ha desarrollado esta práctica, especialmente para aplicaciones de abonados nitrogenados en cobertura (sobre el cultivo en desarrollo), se comercializan boquillas pulverizadoras diferenciadas para esta actividad; todas ellas permiten un reparto uniforme del líquido en el ancho de reparto y forman chorros sólidos o gotas muy grandes que no se mantienen en las hojas de las plantas (podrían producir quemaduras), "escurriendo" hasta el suelo.

Boquillas con esta finalidad, aparte de la de chorro sólido con tres orificios ya mencionada, son, cuerpo con varios orificios repartidos en un arco determinado, cuerpo con orificio único "alargado", conducción lineal en la que se abren orificios cada cierta separación, etc.

TAMAÑOS DE ORIFICIO EXTERNO

Para cada tipo, subtipo o modelo, normalmente, se fabrican boquillas que se diferencian por el tamaño de orificio de salida

da, o el caudal suministrado a una presión de trabajo; por ejemplo, las boquillas que presentan orificios de salida circulares, frecuentemente, presentan diámetros de 2, 1.8, 1.5, 1.2, 1.0, y 0.8 mm.

El cuerpo de las boquillas que difieren en el tamaño de orificio, normalmente, presenta distintos colores para facilitar su identificación por los agricultores. El color de las boquillas ha sido propio de cada fabricante lo que ha creado ciertas confusiones con los colores. La norma **ISO 10.625:1996** establece un código de colores, al que se van ajustando los diferentes fabricantes. El código de la norma establece las relaciones de la Tabla I.

MATERIAL DE CONSTITUCIÓN

El orificio externo de las boquillas se ve sometido a un gran desgaste, lo que exige que esté realizado en un material resistente a la abrasión y corrosión, de lo contrario, con pocas horas de funcionamiento puede variar su tamaño y forma y, consecuentemente, las prestaciones de la boquilla. Cuando se emplean materiales "caros" en su construcción "cerámica o acero inoxidable endurecido", éstos forman únicamente la zona del orificio u otras zonas próximas sometidas a más desgaste mientras que el resto del cuerpo se forma de material plástico (por ejemplo poliamida); en caso contrario, los materiales se utilizan para la construcción de todo el cuerpo de la boquilla (incluido el orificio).

Un desgaste se puede poner de manifiesto mediante ensayos, como el descrito en la **Norma UNE 68-082-89 (punto 4.5)**, en los que se comprueba el incremento de caudal que se produce con el uso realizando pulverizaciones con líquidos que son suspensiones de productos muy abrasivos, como pueden ser, oxiclórico de cobre, caolín, óxido de aluminio, etc.

Los materiales más utilizados en la fabricación de boquillas son los siguientes:

Latón.- Cada vez menos empleado, es poco resistente a la erosión y corrosión (especialmente frente a los abonos líquidos) y, actualmente, se suele utilizar como referencia para valorar comparativamente la resistencia de otros materiales frente al desgaste.

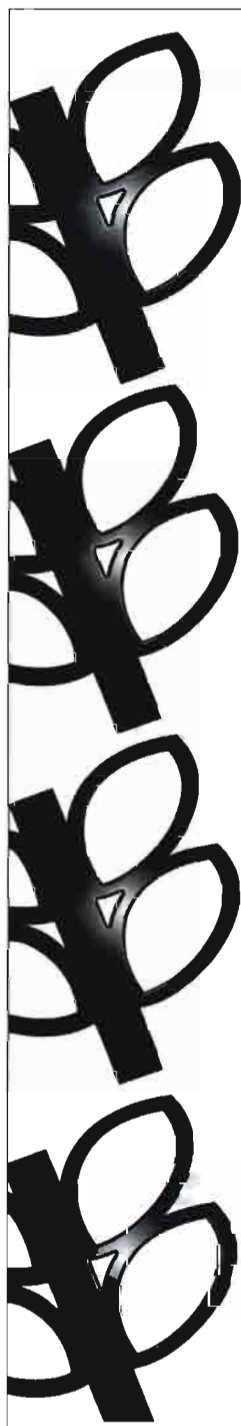
Aceros inoxidables (normales o endurecidos).- Estas boquillas presentan una buena resistencia a la corrosión mientras que la resistencia a la erosión depende mucho del tipo de acero. Se le puede asignar una resistencia de 4 a 8 veces superior al latón.

Polímeros plásticos.- Estos materiales plásticos (poliacetato, polipropileno, kematal, syntal, hostaform, etc.) son muy utilizados en la fabricación de las boquillas; su resistencia es buena tanto frente a la corrosión como a la erosión, aunque ésta

última propiedad puede variar mucho en función de las características del plástico; algunos pueden asignárseles una resistencia de 10 veces superior al latón. El orificio de estas boquillas puede deformarse durante la limpieza si en ella se utilizan elementos "rígidos".

Cerámicas.- Materiales sintéticos, obtenidos a partir de óxidos de aluminio, de gran dureza. Constituye, sin duda, el material más resistente a la erosión y corrosión de los utilizados en la fabricación de estas boquillas, aunque también es el

más frágil y caro. Se les puede atribuir una resistencia de 50 veces superior al latón. Debido a su fragilidad, las boquillas deben conseguir un orificio perfecto tras el moldeado, pues no admiten mecanizado posterior como el resto de materiales; ello lleva a que en algunos casos las boquillas pueden presentar ciertas irregularidades en la pulverización del líquido. En la limpieza de estas boquillas se evitarán elementos rígidos (por ejemplo alambres) que provocarán fácilmente su rotura.



A VACAS LOCASPROTEINAS VEGETALES

El CAMPO ESPAÑOL, puede ayudar a producir gran parte de estas con :

LEGUMINOSAS --- 25/30 % de proteínas

LINO OLEAGINOSO --- 48 % de proteínas y grasas

AGROSA SEMILLAS puede ayudar aportando las mejores variedades:

VEZAS: Sonda y Vereda

YEROS: Moro 131

LINO OLEAGINOSO : Oliver, Júpiter o Mikael

ECOTRANS, puede ayudar contratando,

comprando y transformando la cosecha

del grano de Lino, tanto en cultivo PAC, como en retirada.

El **AGRICULTOR** puede ayudar apostando por la diversificación, por la rotación de cultivos y por la demanda del mercado.

La **ADMINISTRACION** puede colaborar buscando mejores ayudas y ampliando los cupos existentes.

Con todo ello, conseguiremos dar una mayor alternativa a nuestros campos y de paso producir la mejor Proteína Vegetal.

... por eso **AGRICULTOR, GANADERO** cuenta con **AGROSA**.

 **AGROSA**
SEMILLAS SELECTAS S.A.

 **ECOTRANS**
ECOTRANS S.A.

902 12 24 12

Agrosa Semillas y Ecotrans son iniciativas empresariales de