

Mecanización de la Fertilización

Curso 2016

Objetivos

- Conocer los distintos diseños
- Comprender las variables que inciden sobre la eficiencia de aplicación
- Relacionar mecanismos, funciones y regulaciones que inciden sobre la fertilización
- Valorar el grado de uniformidad como parámetro de eficiencia de la labor

Qué decisiones hay que tomar

Cuánto?

Análisis de suelo, criterio de fertilización y requerimientos del cultivo

Qué ?

Tipo de fertilizante:

- **Mineral**
 - ✓ Sólido
 - ✓ Líquido
 - ✓ Gaseoso
- **Orgánico**

Cuándo?

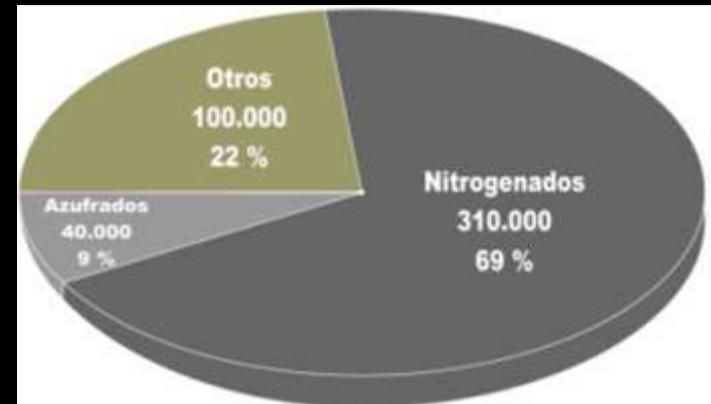
Momento de aplicación:

- ✓ Antes de la siembra
- ✓ Durante la siembra
- ✓ Después de la siembra

Cómo?

Forma de aplicación:

- ✓ Incorporado al suelo
- ✓ Superficial
- ✓ Bandas
- ✓ Al voleo



CONSUMO DE FERTILIZANTES POR PRODUCTO

NUTRIENTES - en toneladas

2010 – BASE C.I.A.F.A.

CONSUMO

NITRÓGENO

FOSFORO

POTASIO

AZUFRE

Cloruro de Potasio	21.989			13.193	
Fosfato Diamónico y otros NP	272.258	49.006	125.239		
Fosfato Monoamónico y otros MAP	610.445	67.149	307.177		4.150
Mezclas NPK (NP, NK, PK, NPK y otros)	61.243	7.099	6.048	3.998	
Otros Fosfatos	114.750	14.591	9.506	7.415	
CAN o Similares	75.021	20.175			
Nitrato de Potasio	12.396	1.611		5.206	
Superfosfato Triple	128.278		59.008		
Superfosfato Simple	453.741		95.286		54.449
Sulfato de Amonio	52.524	11.030			12.606
Sulfato de Potasio	10.512			5.256	1.892
UAN y otros líquidos	476.438	152.460			
Urea y otros nitrogenados	1.002.817	458.607			
Otros nitrogenados	72.337	11.290			15.908
Sulfato de Potasio y Magnesio	3.707			816	816
TOTAL	3.368.456	793.019	602.263	35.884	89.820 1.520.987

Alternativas para la aplicación de sólidos

Máquinas gravitacionales

- ❖ máquinas fertilizadoras
- ❖ cajones fertilizantes en sembradoras
- ❖ Con asistencia neumática
- ❖ De botalón

Máquinas centrífugas

- ❖ discos (simple o doble)
- ❖ tubo oscilante (simple o doble)

Máquinas neumáticas

Alternativas de mecanización

- Se realiza una labor específica
 - Con máquinas específicas
 - Con máquinas polifuncionales
- Se complementan tareas
 - Siembra y fertilización
 - En la línea de siembra
 - En líneas independientes
 - Labranza y fertilización
 - Fertilización e incorporación con implementos de casquetes y escardillos
 - Fertilización profunda junto a labores de descompactación

Máquinas específicas





Máquinas polifuncionales



Descompactador con aplicación profunda





Siembra y fertilización

La colocación del abresurcos del fertilizante debe evitar

- Dificultades para la penetración del equipo
- Posibilidades de atoraduras con rastrojo
- Alteraciones de la profundidad de siembra
- Extracción de terrones
- Fitotoxicidad
- Alteraciones de la densidad de siembra

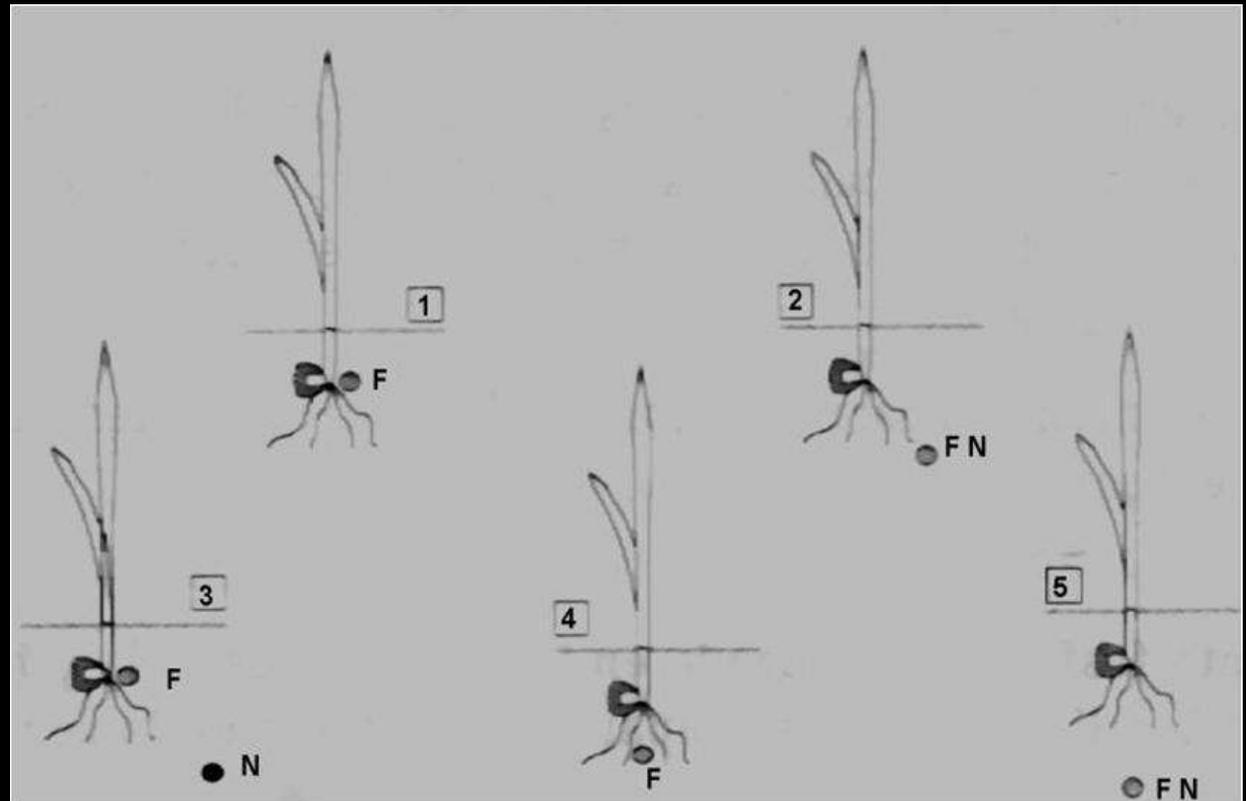
La fitotoxicidad depende de:

- **Dosis y Tipo de fertilizante**
- **Tolerancia del cultivo a implantar**
- **Humedad del suelo al momento de la siembra**
- **CIC del suelo**
- **Distancia entre surcos**

Ubicación de fertilizante sólido

□ Localizado:

- ❖ En la línea
- ❖ En banda



F = fósforo

N = nitrógeno



Fertilización Simple



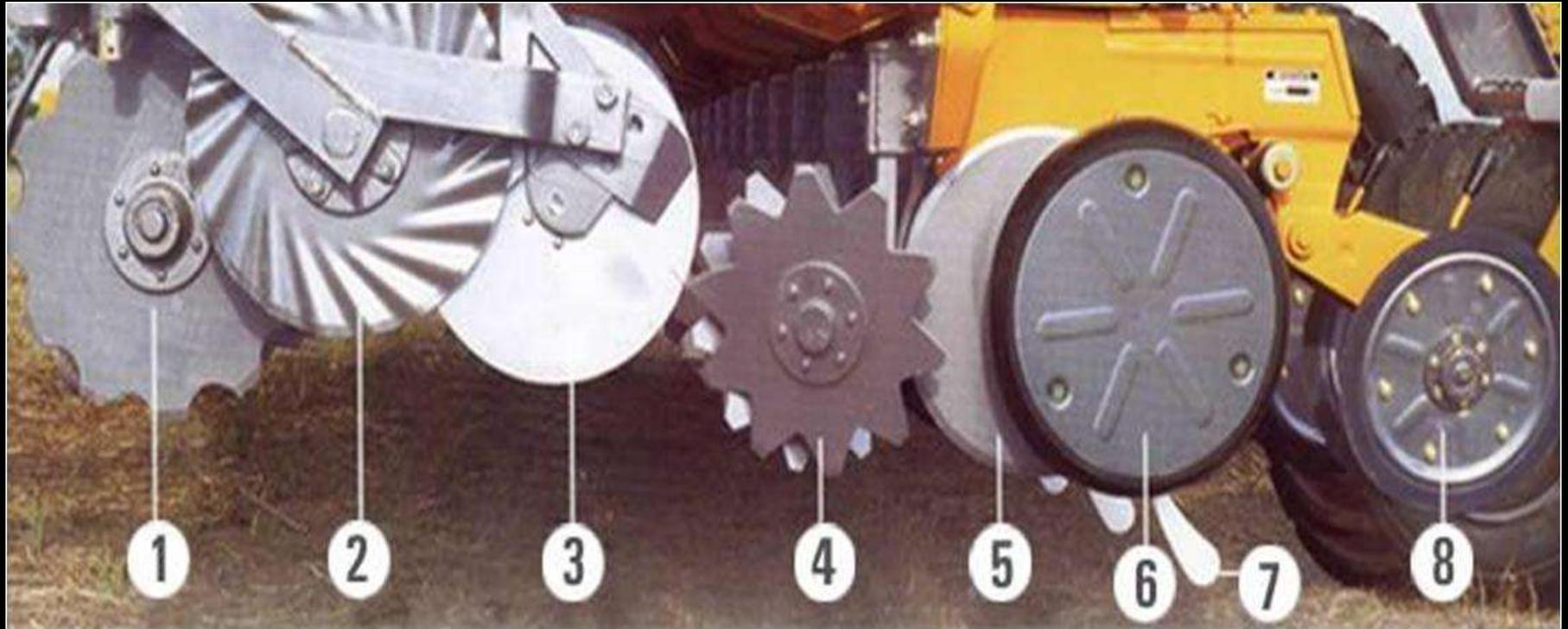
Fertilización doble



Trenes de fertilización

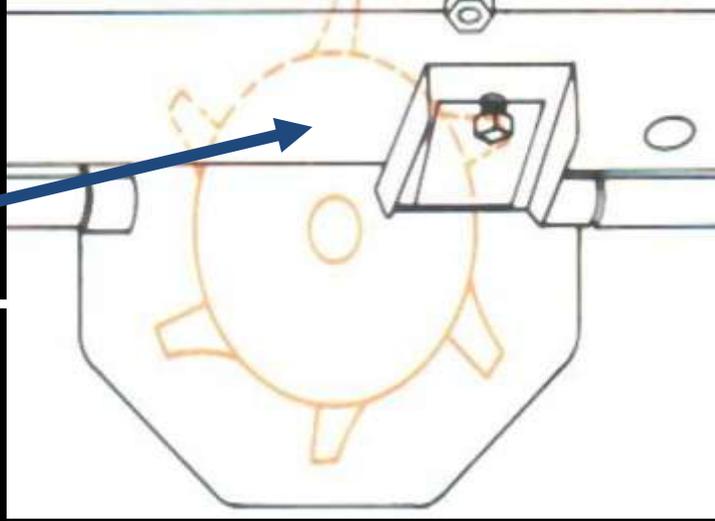


Tren de siembra directa



Dosificadores de sólidos

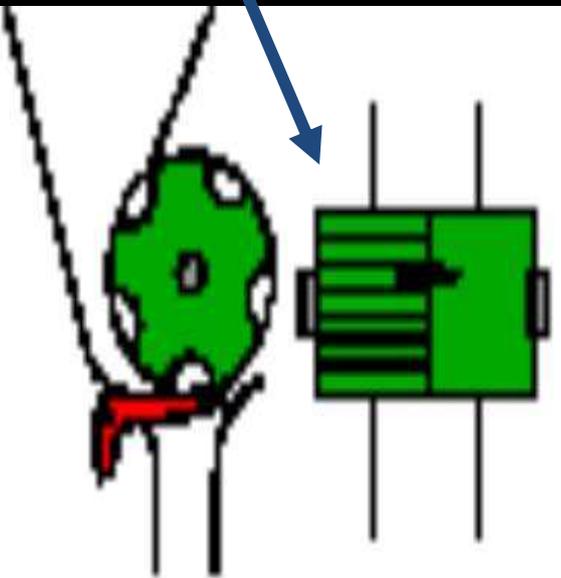
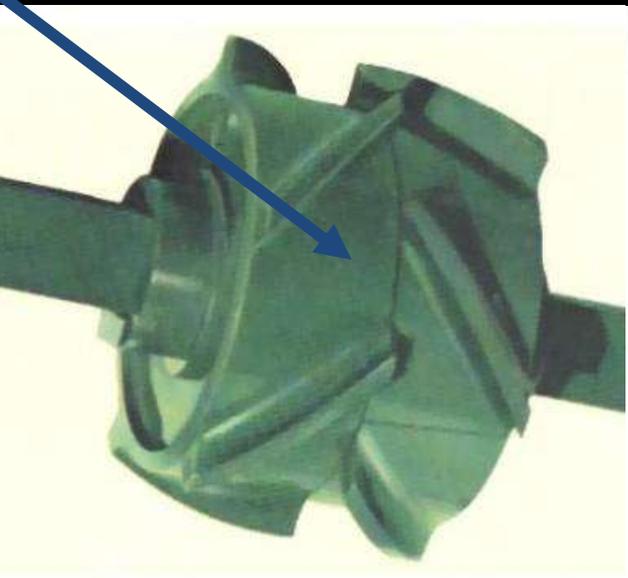
Estrellas



Chevrón



Rodillo acanalado



Transporte neumático

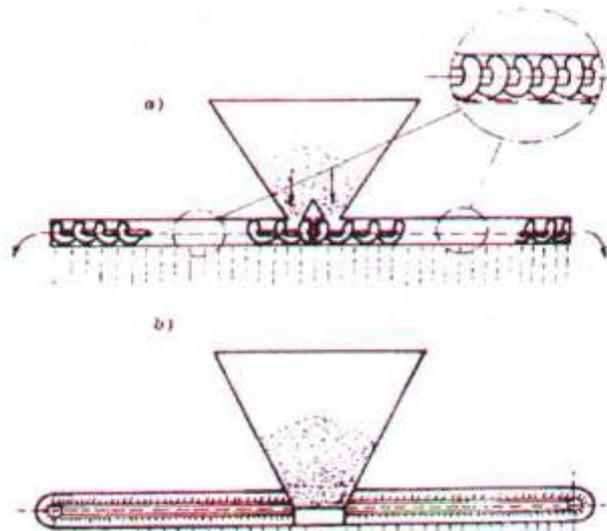


Máquinas Neumáticas





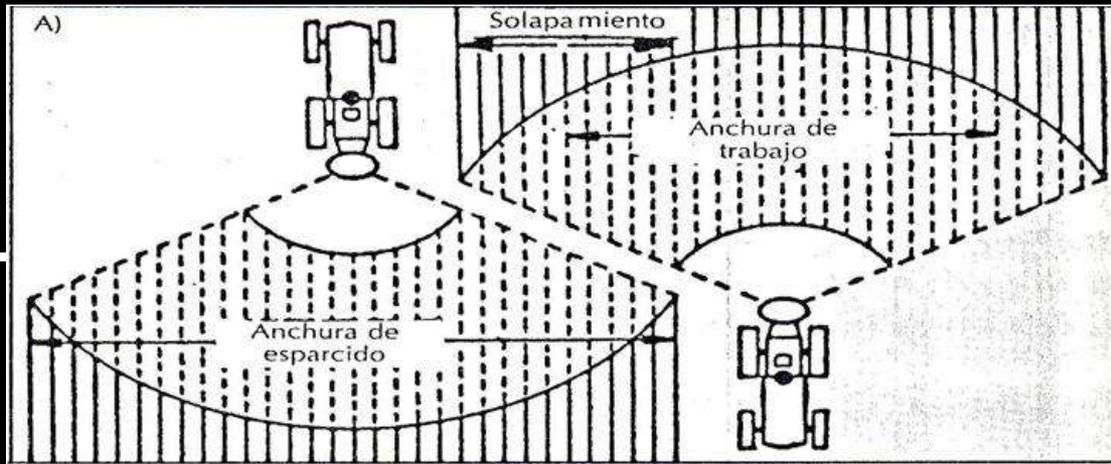
Fertilizadora-encaladora



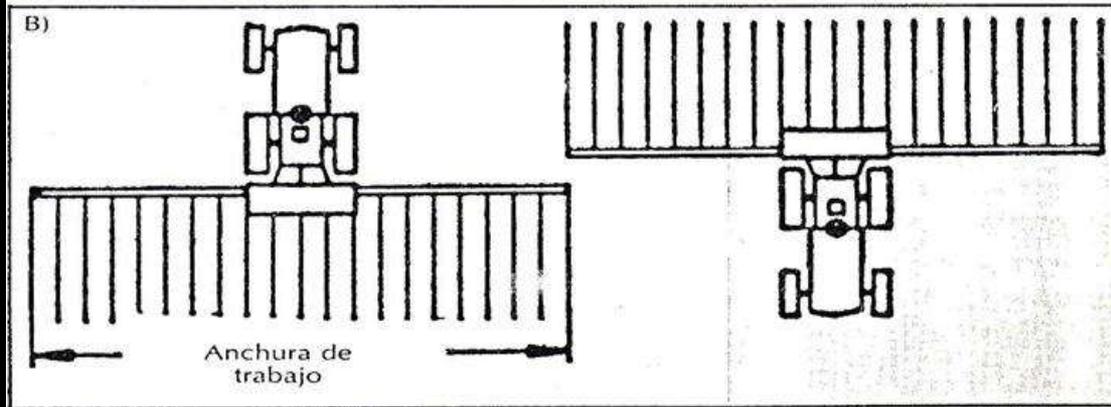
Distribuidora de tolva central: a) de tornillo sin fin; b) de cadena.



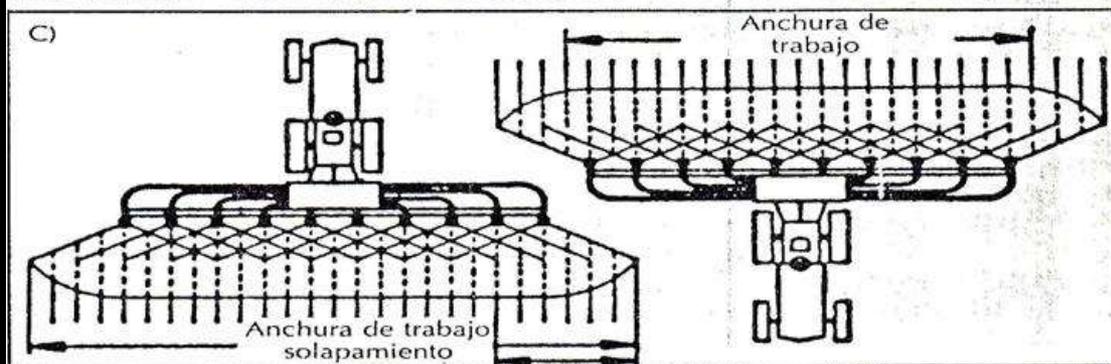
Sistema Centrifugo



Sistema Gravitacional



Sistema Neumático



Procedimiento de trabajo para conseguir la suficiente uniformidad de distribución.
(A) Abonadora de proyección. (B) Abonadora de caída por gravedad. (C) Abonadora neumática

Capacidad de trabajo

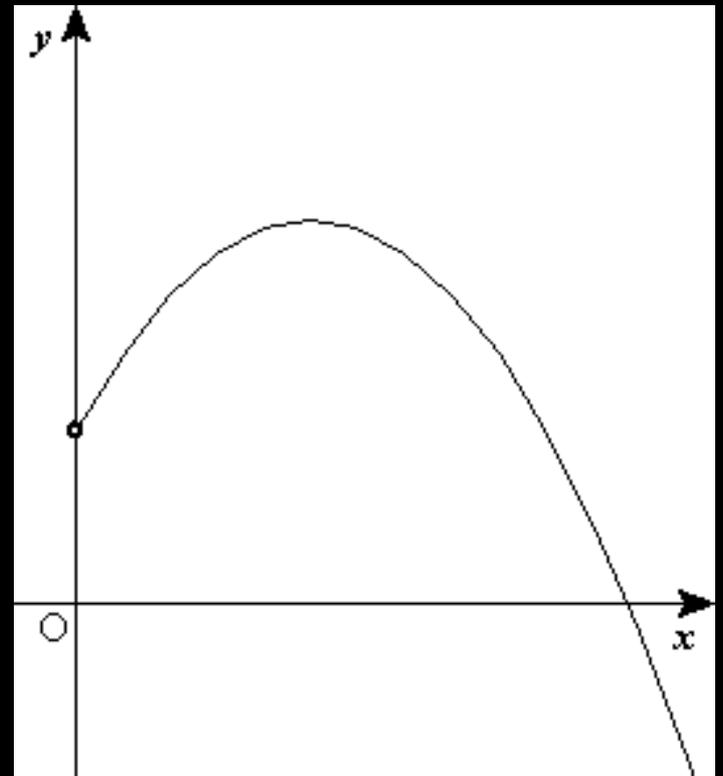
Comparación de aplicaciones de fertilizantes líquidos y sólidos en aplicaciones en superficie



Máquinas de proyección

Principio de la Balística

- La trayectoria de un proyectil depende de
- su forma
- el peso
- el tamaño
- la velocidad inicial
- su rotación,
- la resistencia del aire
- la gravedad.



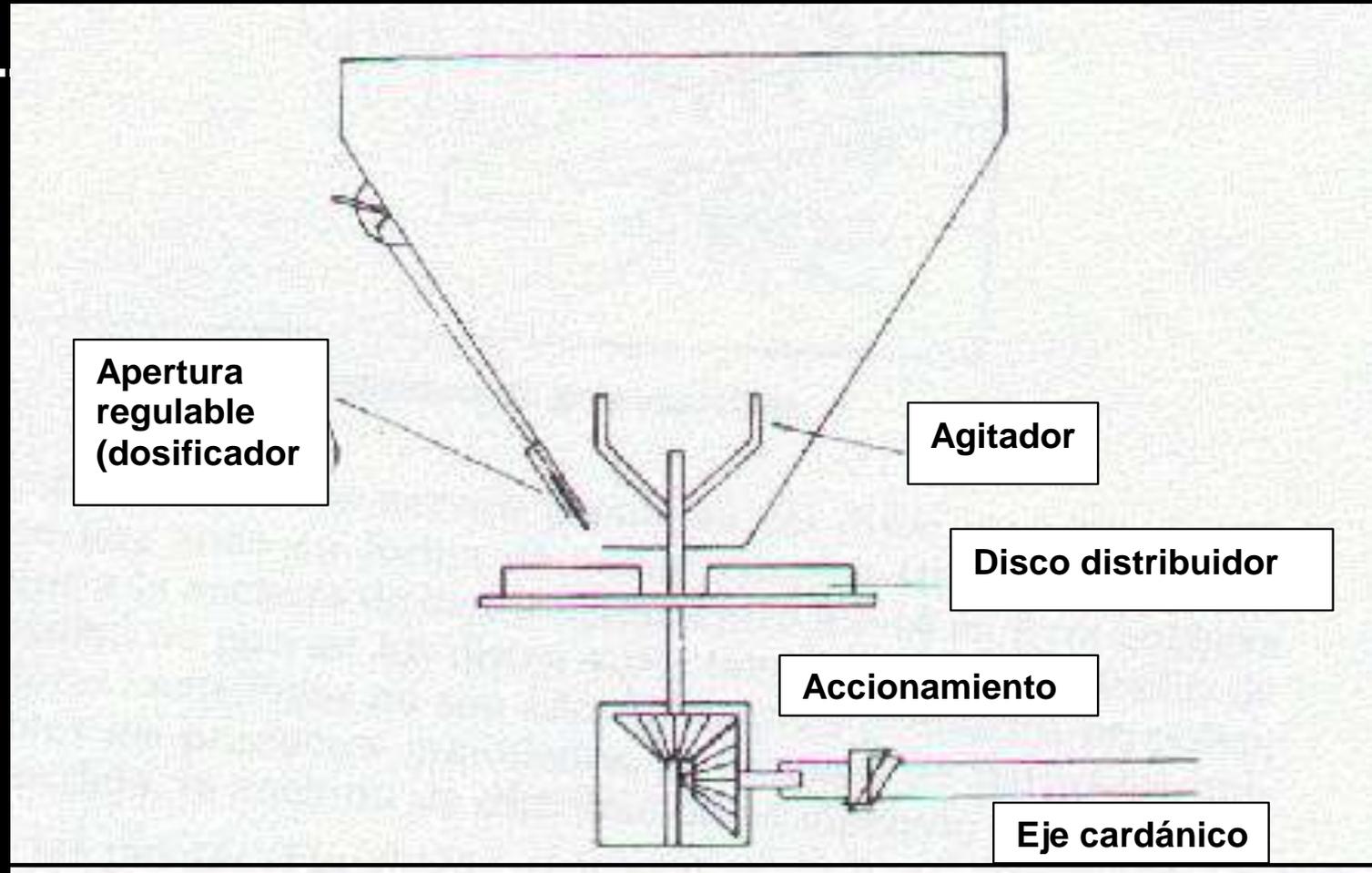
Relación fertilizante máquina

- Las máquinas de proyección varían su prestación en función de las características del fertilizante
 - ❖ la granulometría
 - ❖ la densidad
 - ❖ la esfericidad
 - ❖ la dureza

Qué significa esto?

- ❖ A menor densidad, menor distancia de proyección
- ❖ La densidad influye sobre el caudal de salida de la tolva
- ❖ A mayor granulometría mayor alcance
- ❖ Cuanto más esférica más regular es la trayectoria
- ❖ A mayor dureza menor tendencia a generar polvo y desuniformidad

Esquema de una fertilizadora centrífuga bi-disco



Máquinas centrífugas o de proyección

MONODISCO

- Simples
- Económicas
- Bajo mantenimiento
- Distribución poco uniforme
- Trabajo “en redondo” o “continuo”



Doble disco

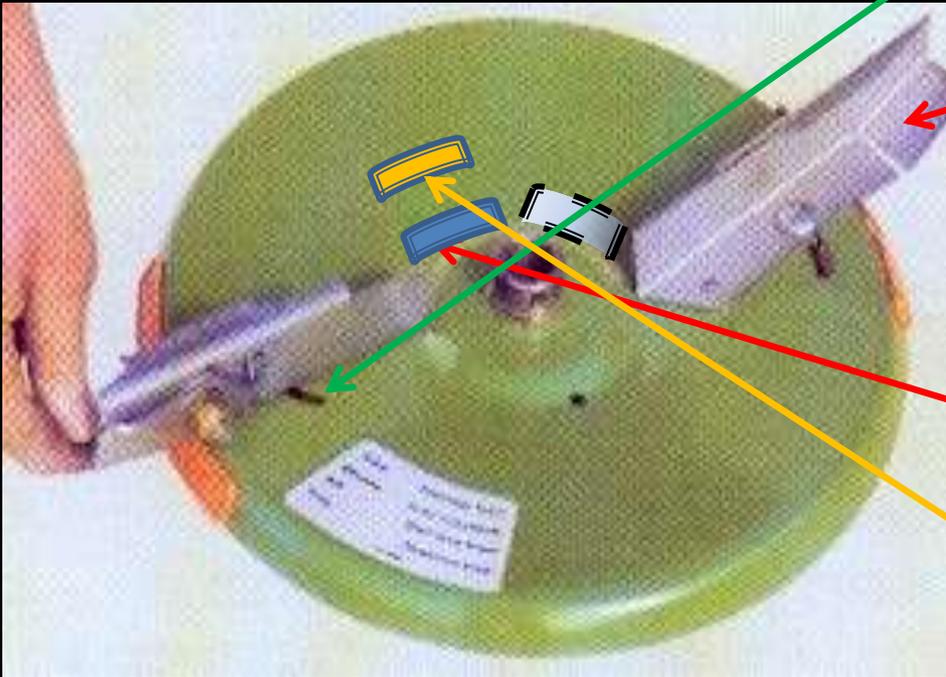


- Sencillas
- Económicas
- Mayor ancho de cobertura
- Mayor uniformidad
- Posibilidad de variar el ancho de trabajo
- Permiten trabajar ida y vuelta

Disco giratorio y aletas



Cómo se varía el perfil de distribución?



- Variando el ángulo de las paletas
- Variando la longitud de las paletas
- Modificando el punto de descarga
 - En relación al sentido de giro
 - En relación al radio
- Modificando la velocidad de rotación

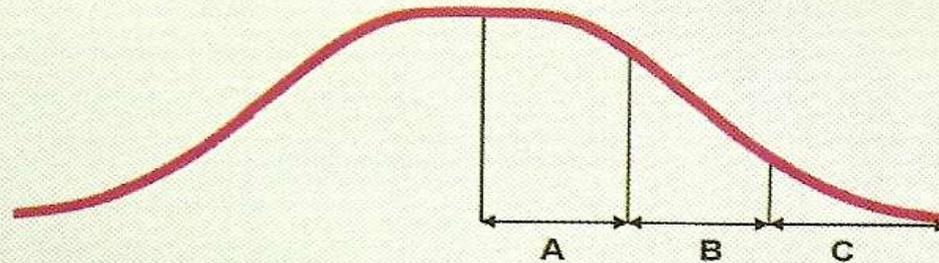
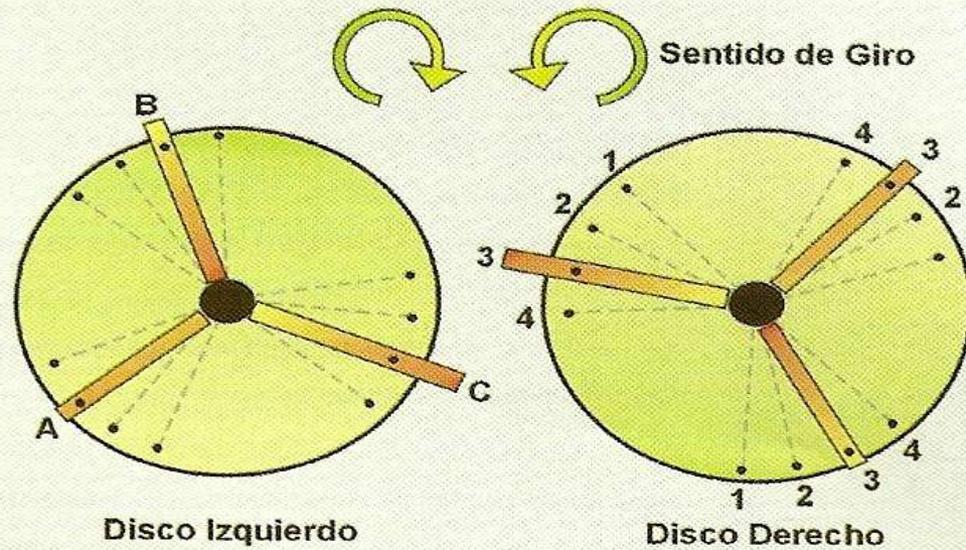
Regulación de la distribución



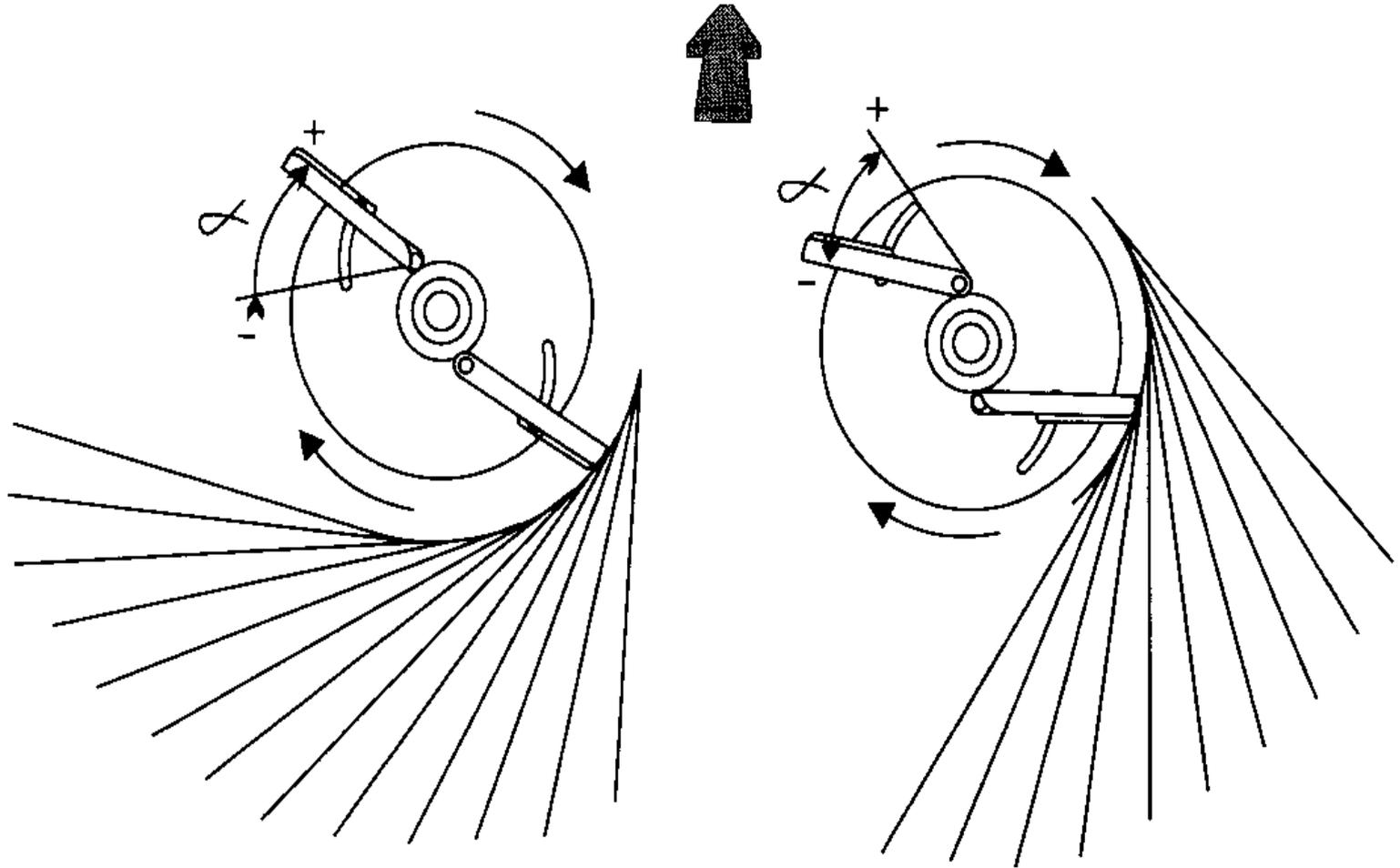
¿Qué variables de diseño existen?

- Diámetro de los discos
- La velocidad de giro de los discos
- La forma del disco
- La forma de las aletas
- El número de paletas
- Las longitudes de las paletas
- La alimentación de la tolva a los discos
- Las características de la variación de la tasa de aplicación
- Las posibilidades de regulación de los diferentes variables que inciden en la distribución
- La forma de accionamiento de los discos

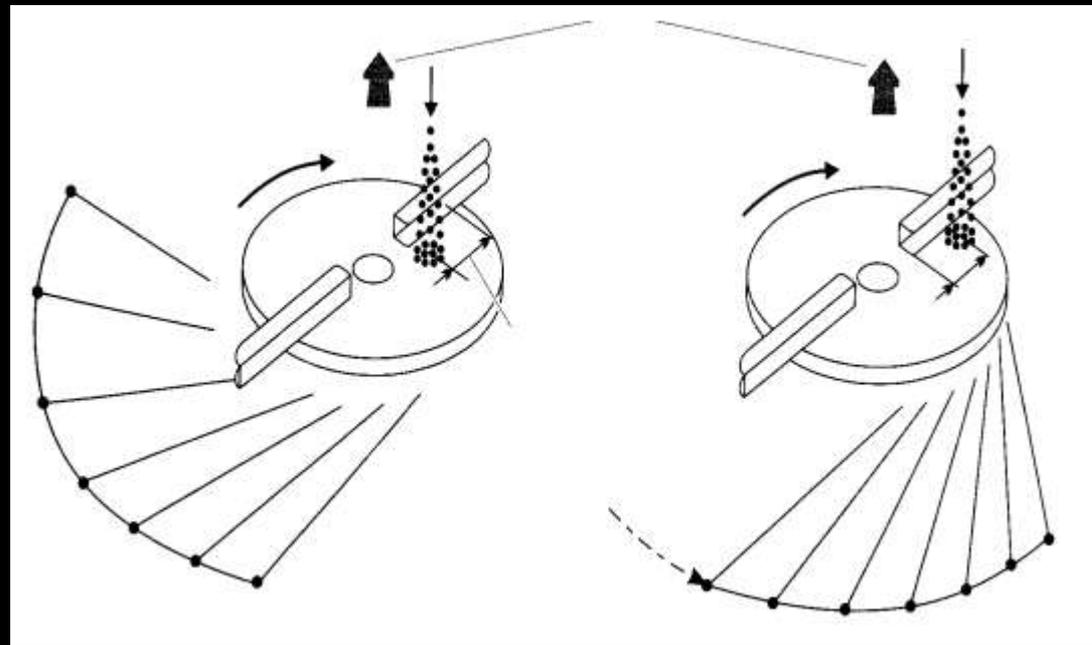
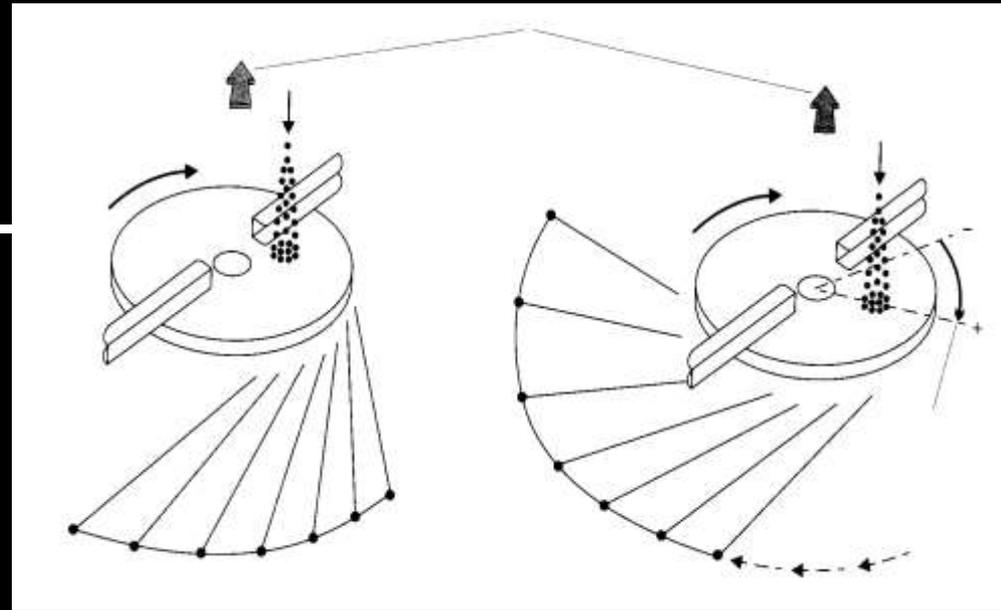
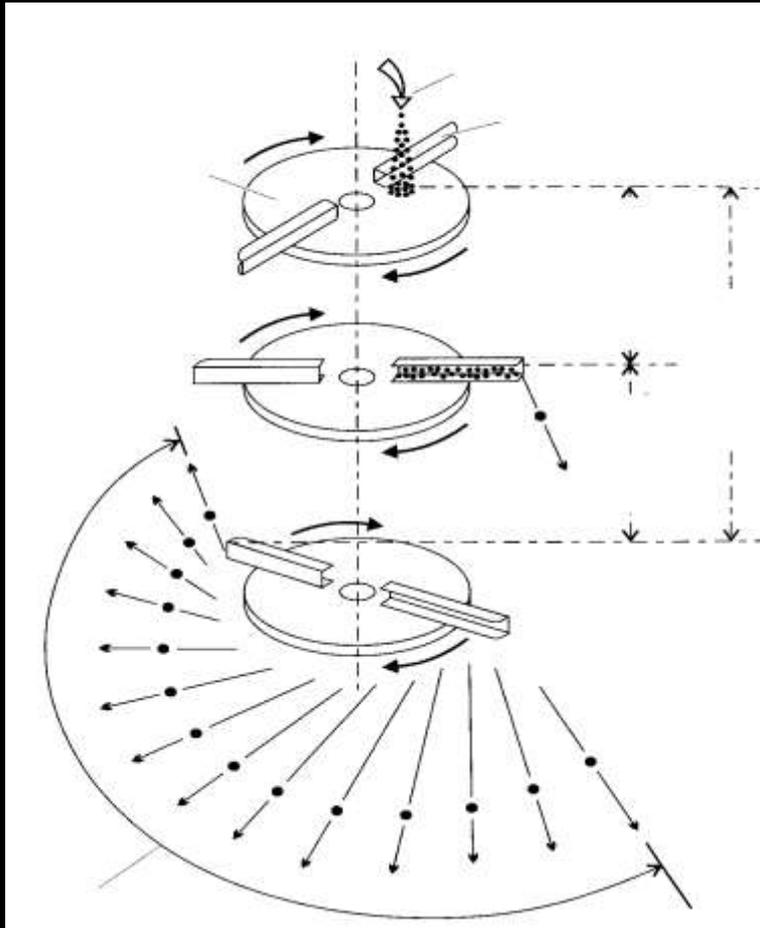
Regulación de la distribución



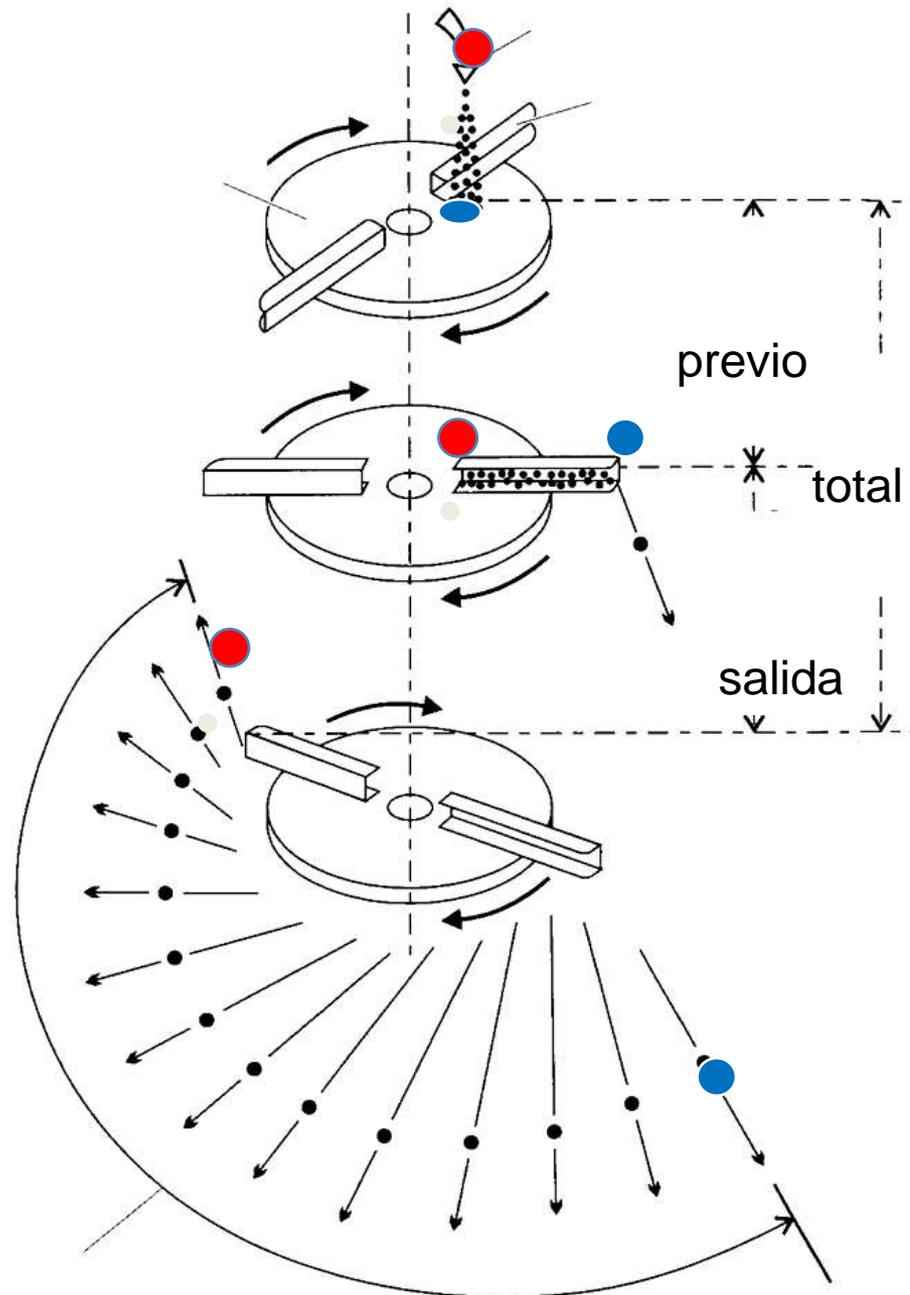
Influencia del punto de caída en función del ángulo



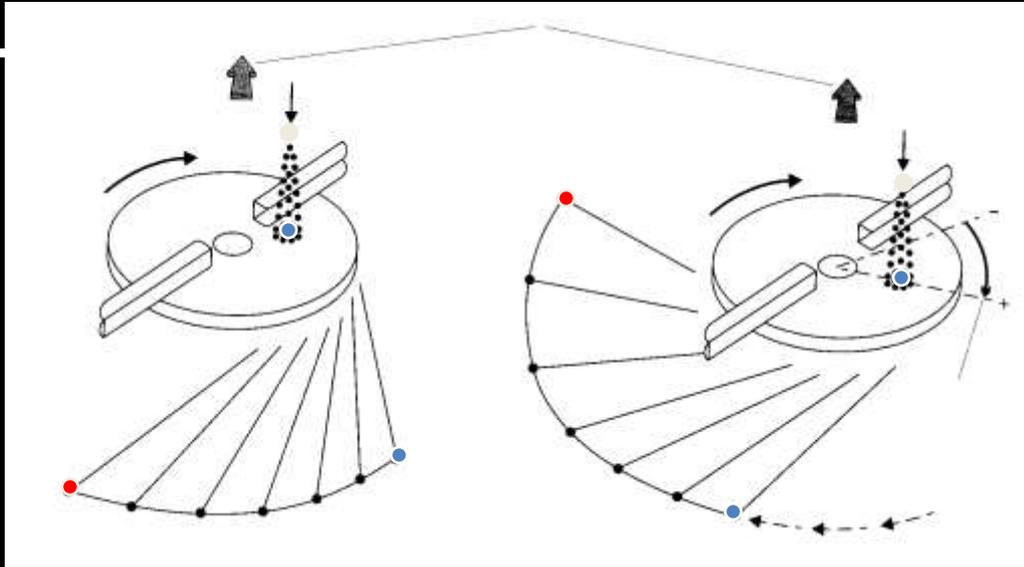
Influencia del punto de caída (radio)



Proyección del abono granulado

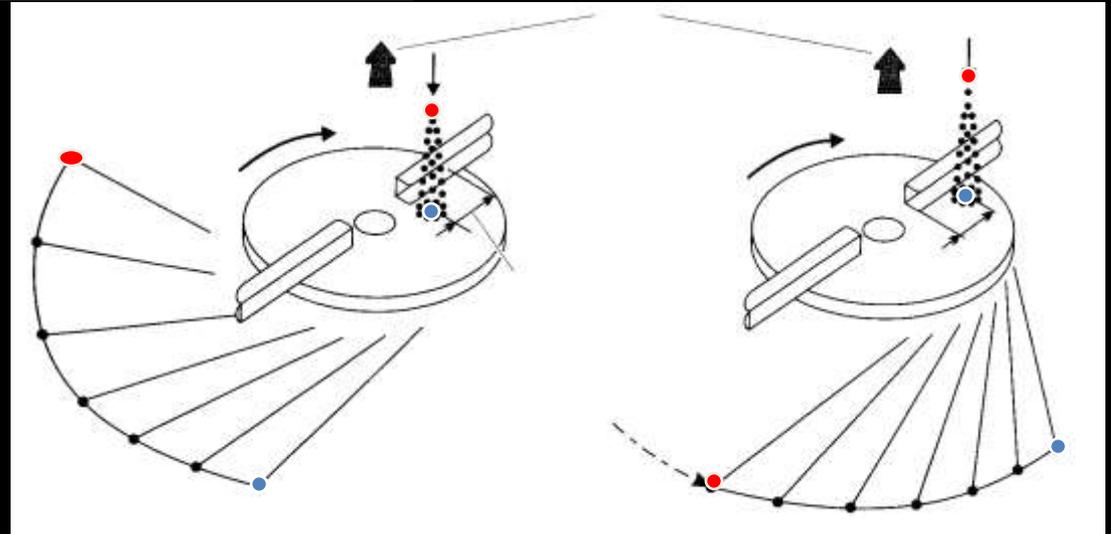


Influencia del punto de caída

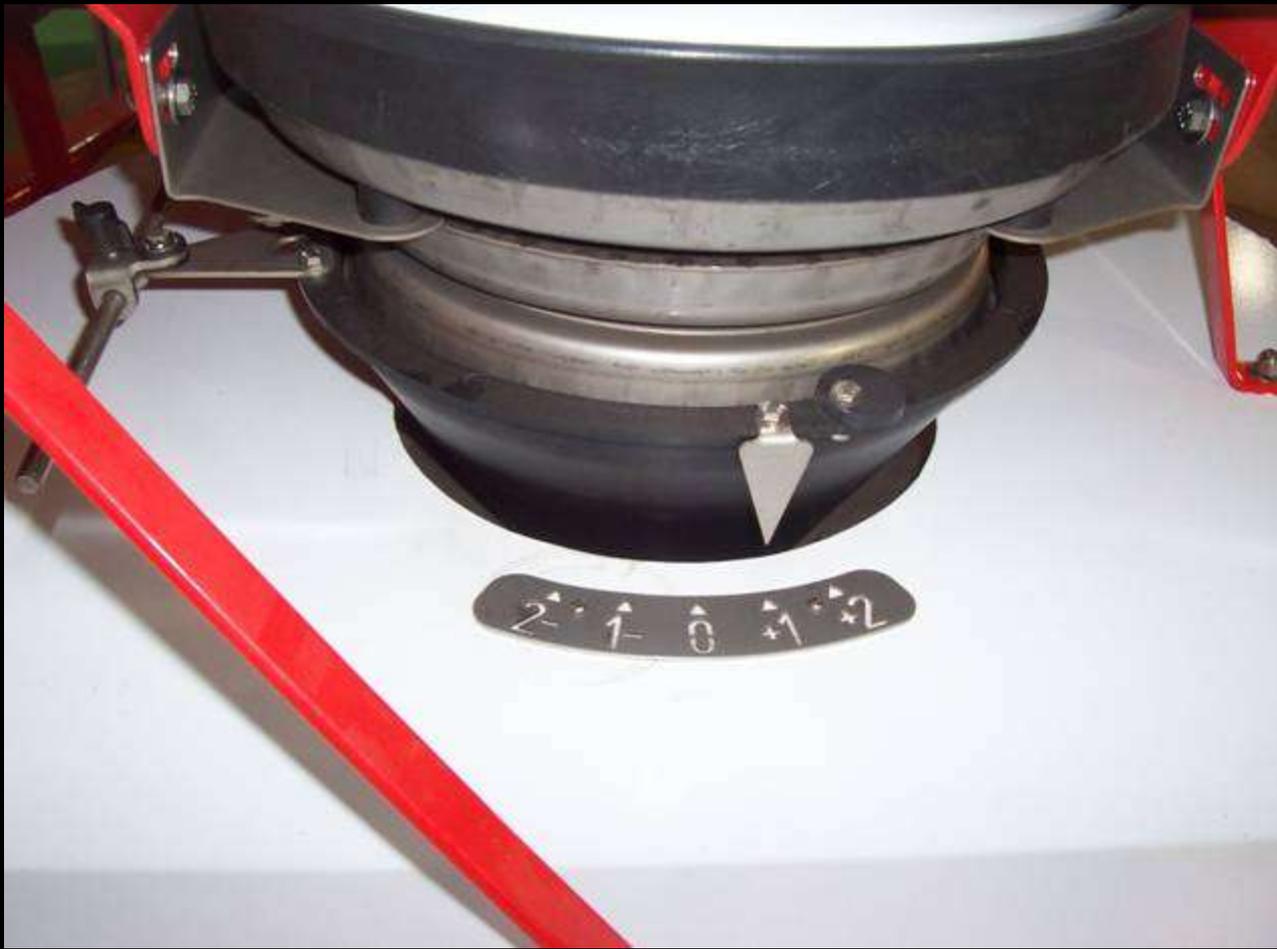


Respecto al sentido de giro

Respecto al radio



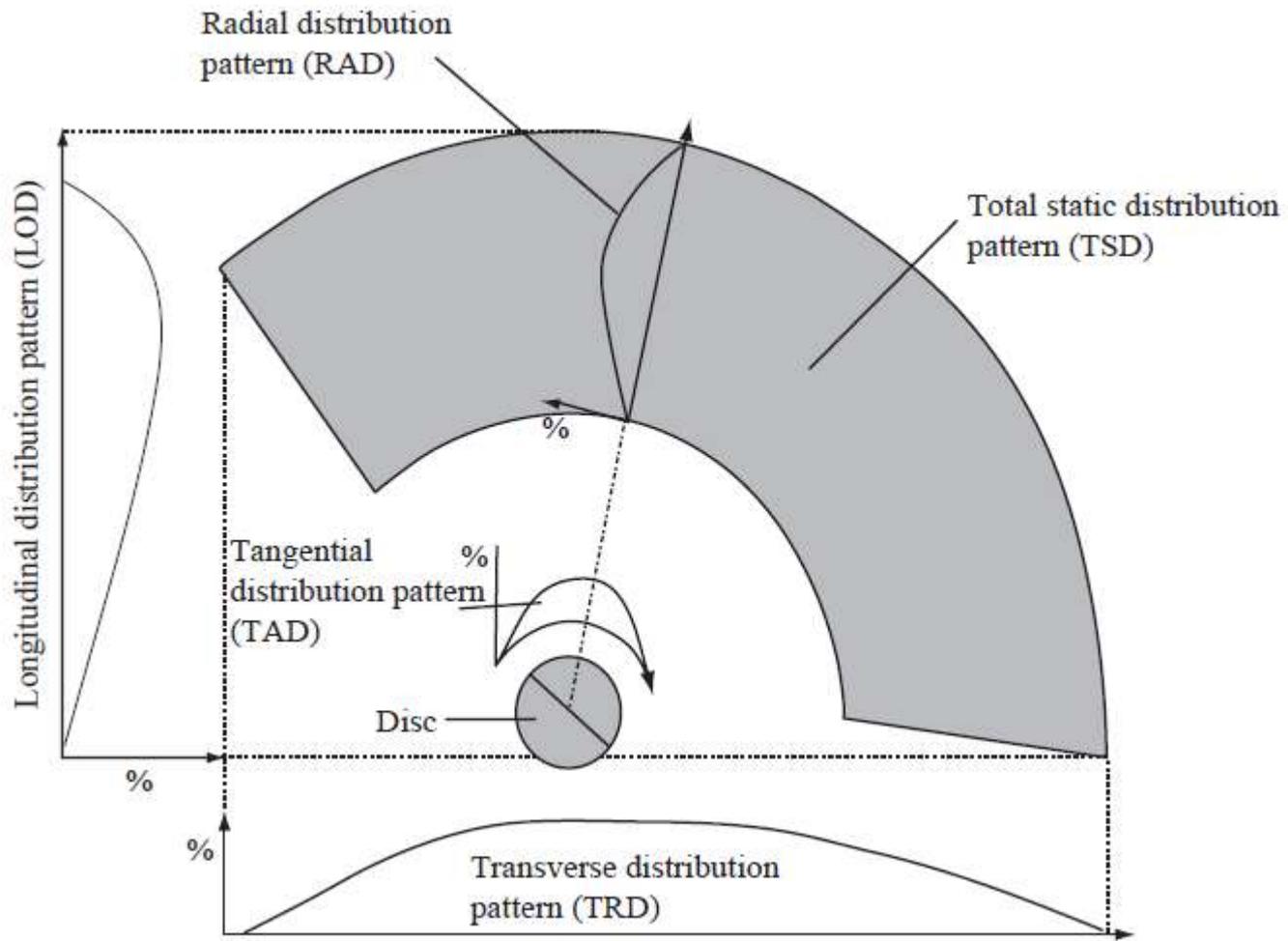
- Aspectos de diseño
- Características del fertilizante
- Aspectos operativos

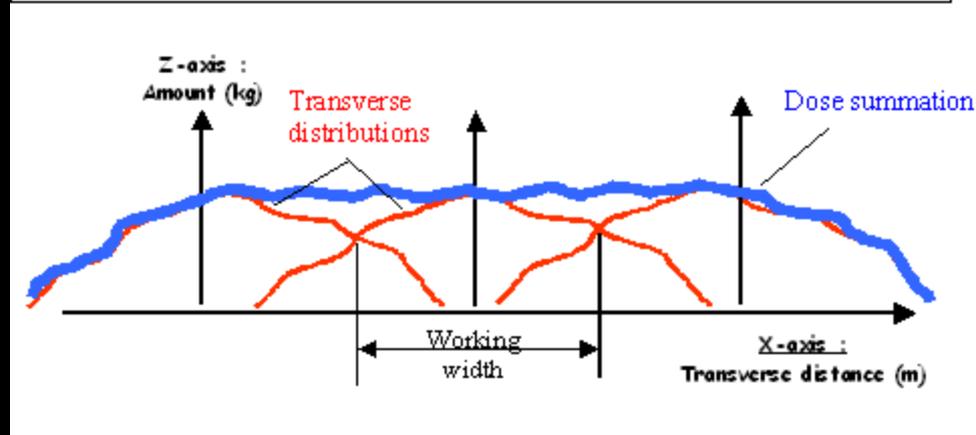
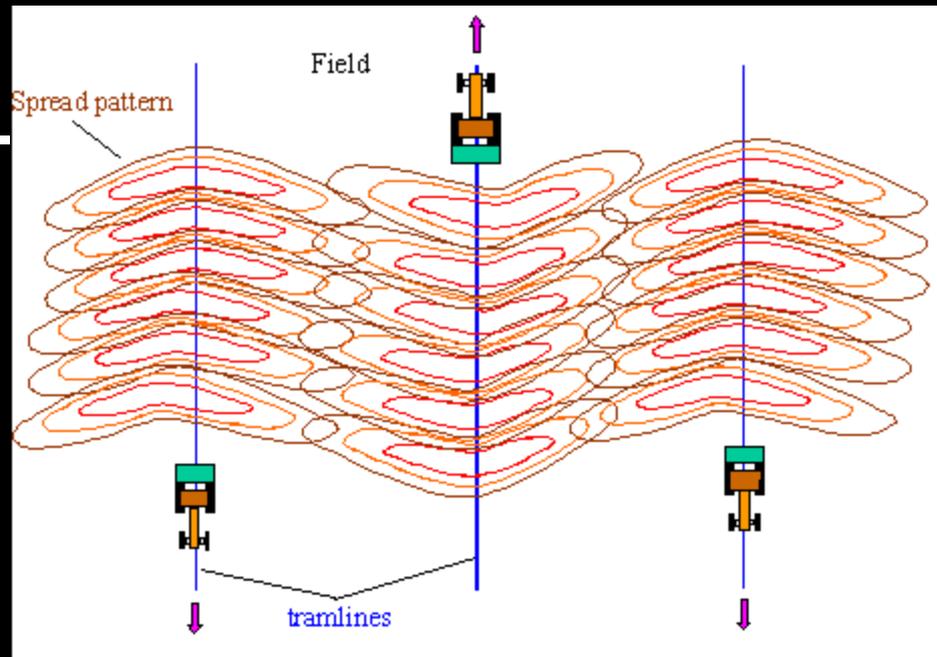


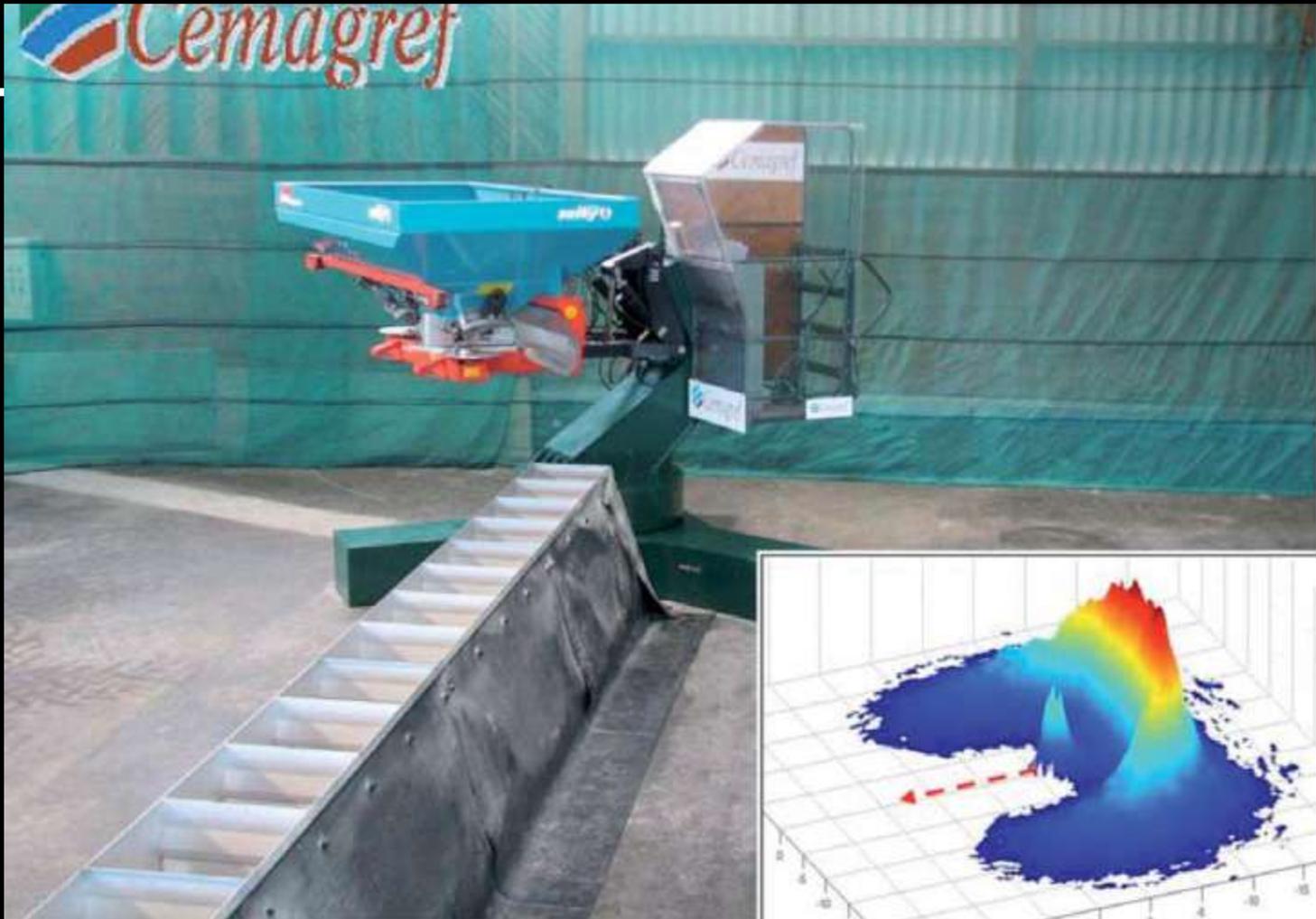


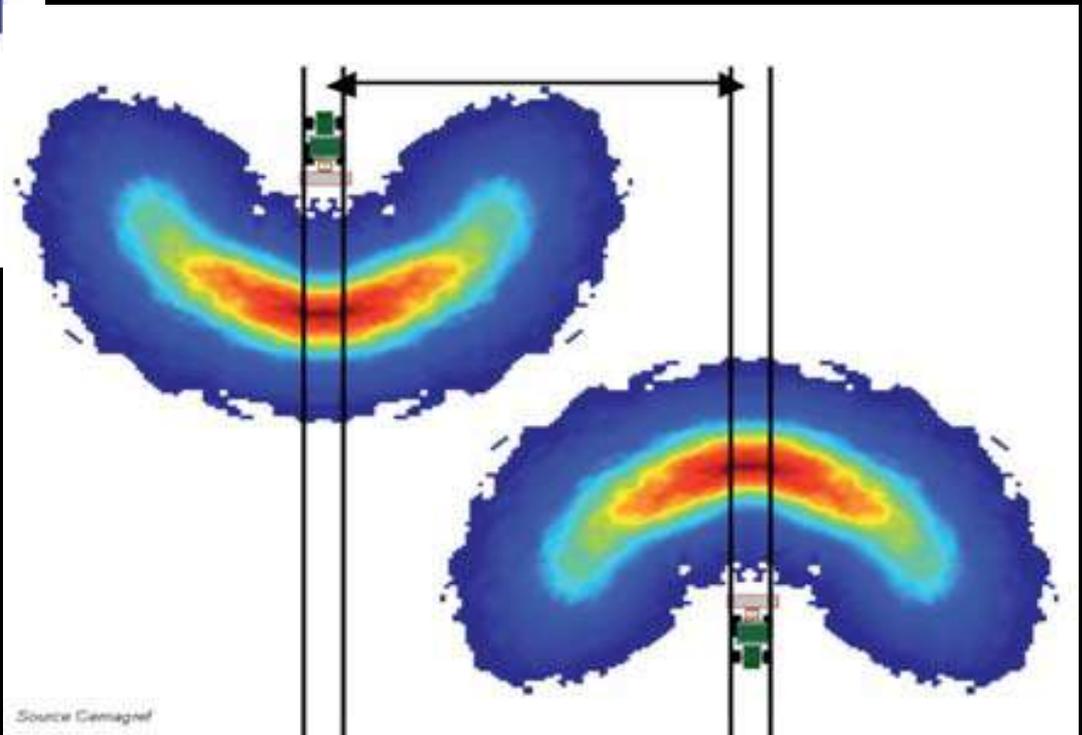
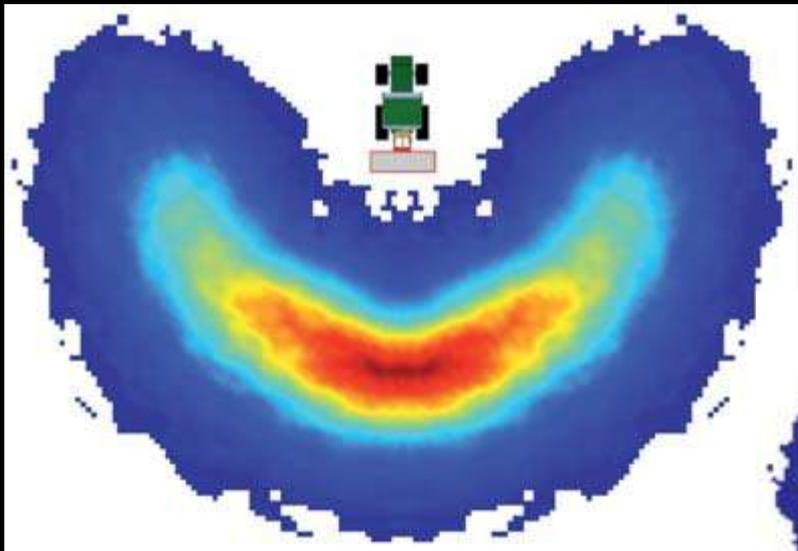












Source: Cemagref

Parámetros dinámicos

Variables:

- velocidad de salida
- dirección de proyección

Proporcionan:

- energía al gránulo para que siga una trayectoria precisa

Velocidad de salida:

- depende de la velocidad periférica

(valores teóricos: 18 y 30 m/s)

Afectada por:

- inclinación de las paletas
- frotamiento de las partículas
- densidad del gránulo

(valores reales: 25 a 42 m/s)

Aspectos de mantenimiento que atentan contra una adecuada distribución

Acumulación de material sobre las paletas, péndulo, divisores de flujo, compuertas de control de flujo y sobre el transportador de cadenas o cintas

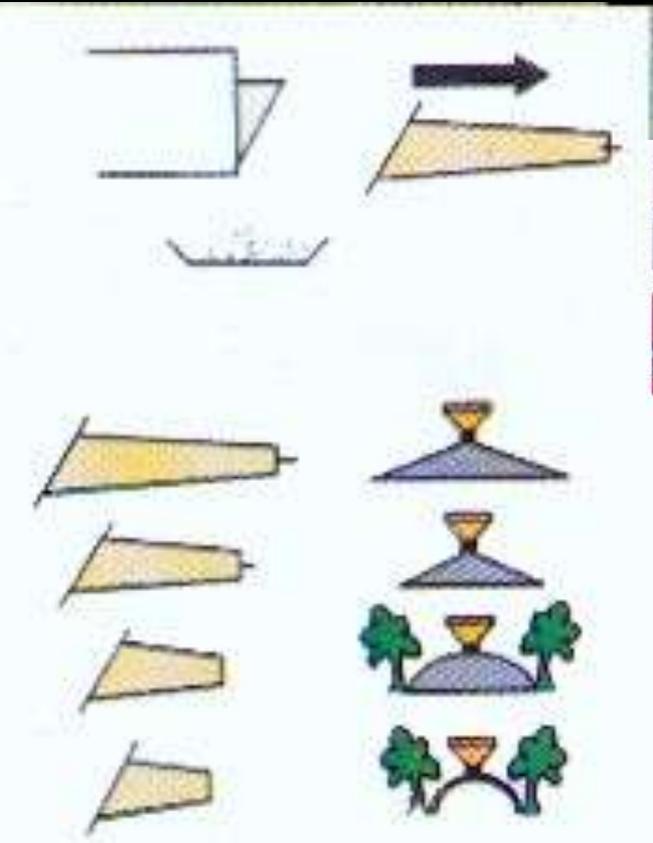
Paletas del distribuidor gastadas

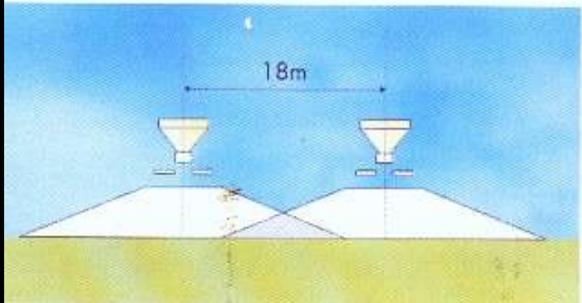
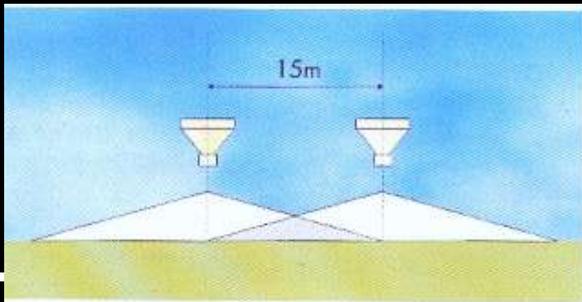
Paletas del distribuidor sueltas o flojas

Difusor gastado

Transportador de cadenas o cintas flojas

Fertilizadora pendular

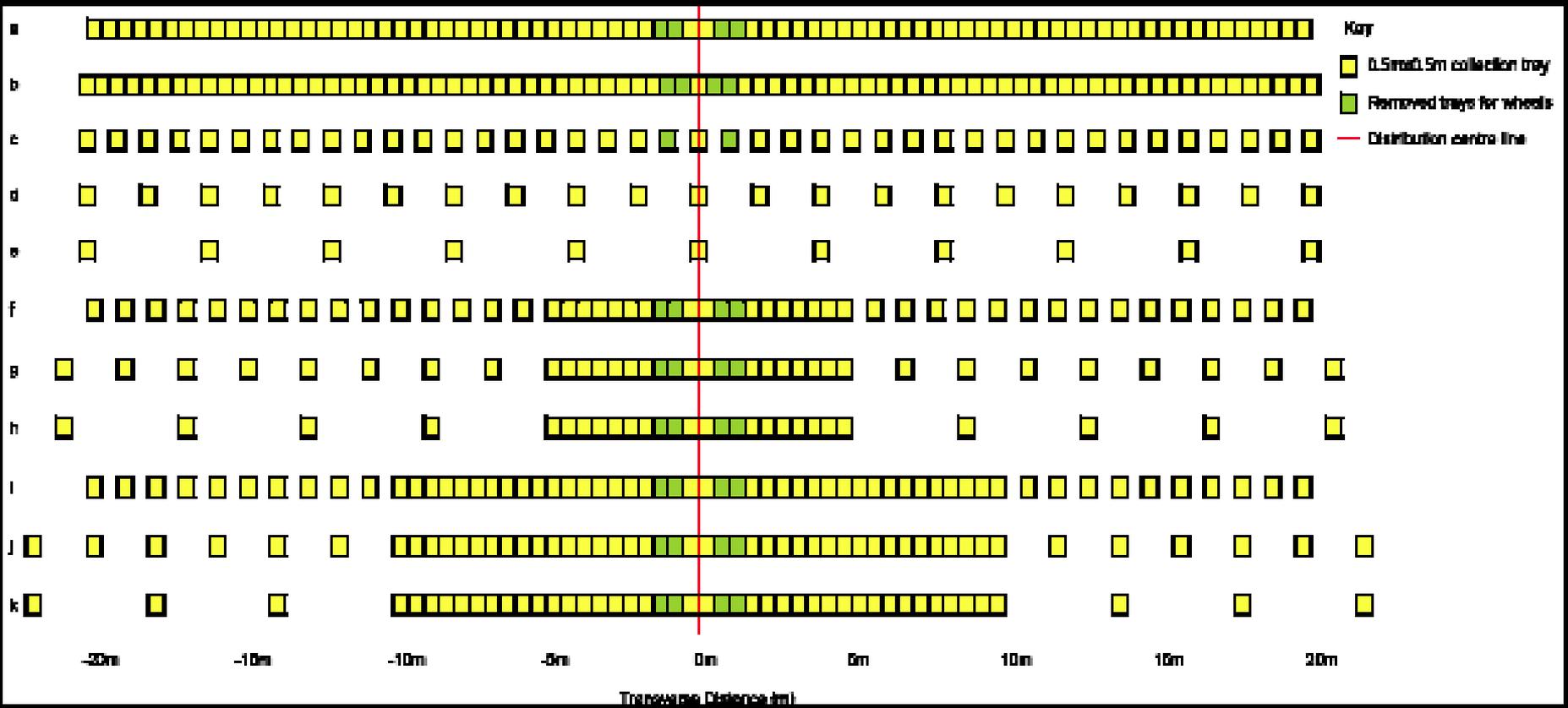




Calibración de fertilizadoras centrífugas



Norma ISO 5690/1 1982
ASAE S341.2 1992



Calibración de Fertilizadoras Centrífugas

- Aspectos previos : limpieza, engrase, otros

- Sobre la máquina:

- ✓ Verificación de la altura del dosificador

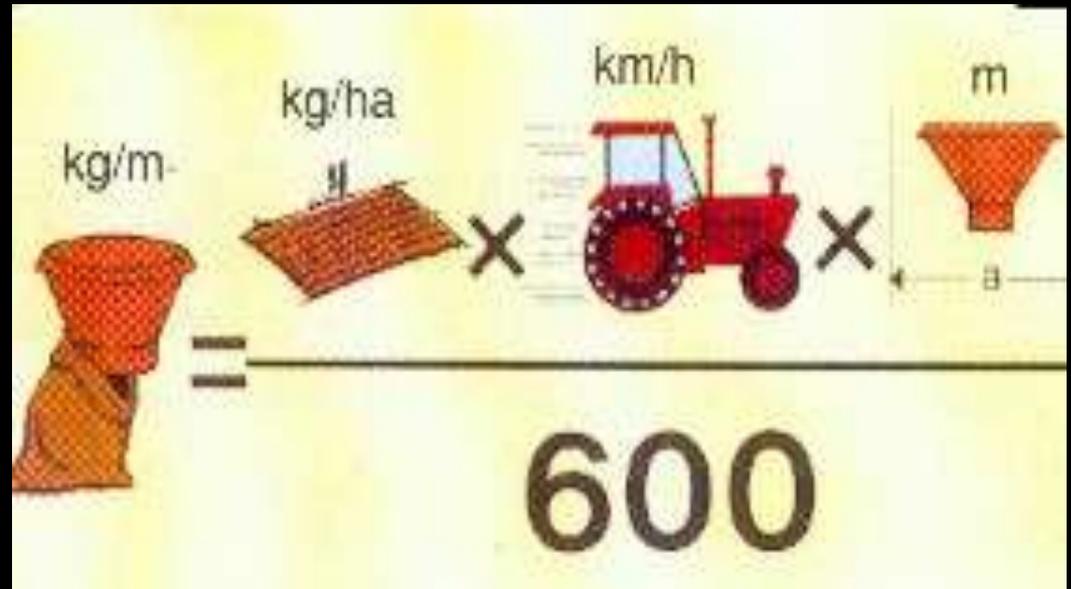
- ✓ Nivelación horizontal y transversal

- ✓ Verificación de las r.p.m. de la T.P.P.



Parámetros de calibración

¿Cuántos kilos quiero aplicar?
¿Qué variables inciden?
¿Cuál es mi ancho de trabajo?



Caudal (kg / minuto) X 600

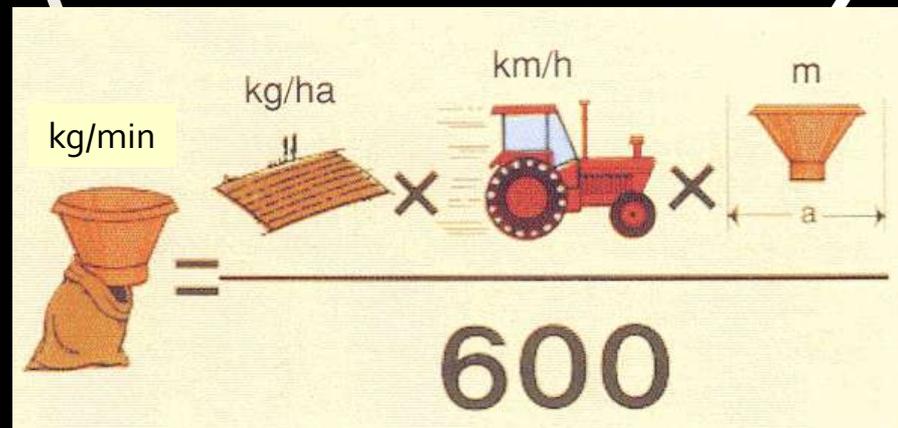
kg / ha =

Ancho efectivo (m) X Velocidad (km / h)

Conjunto de calibración



Prueba en el campo



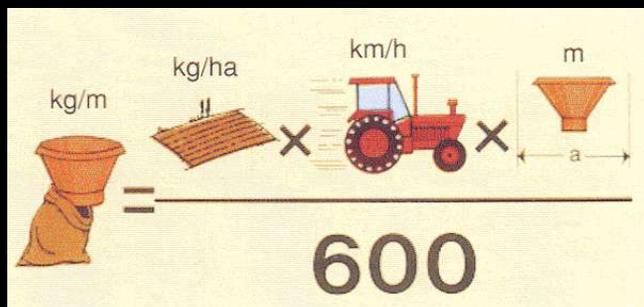
Determinación del caudal

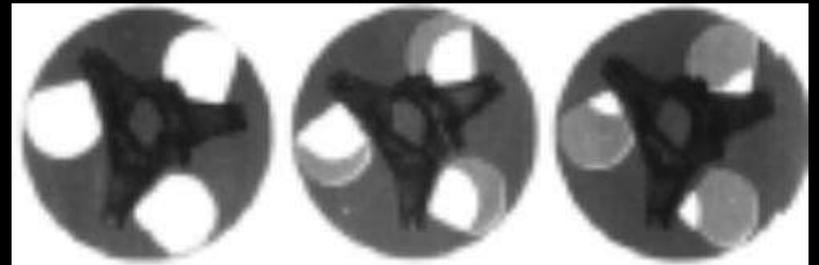
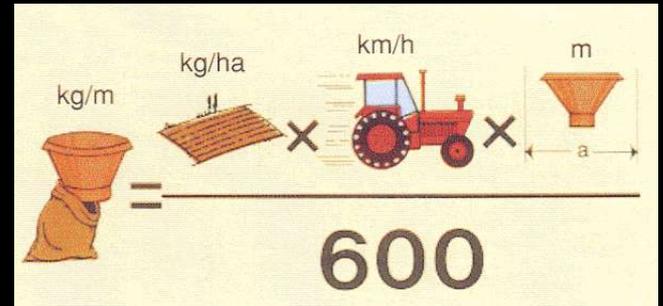


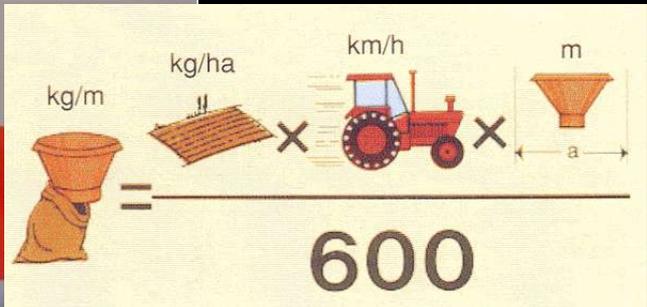
The diagram shows the calculation of flow rate (kg/m) based on application rate (kg/ha), tractor speed (km/h), and row spacing (m). The result is 600 kg/m.

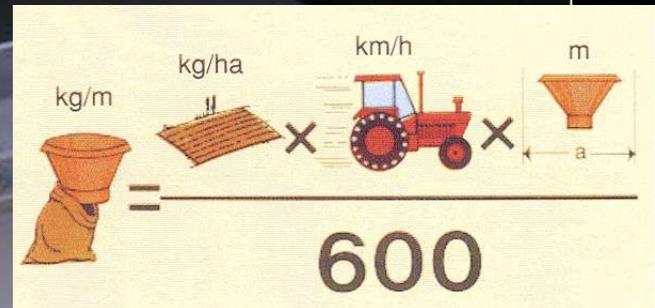
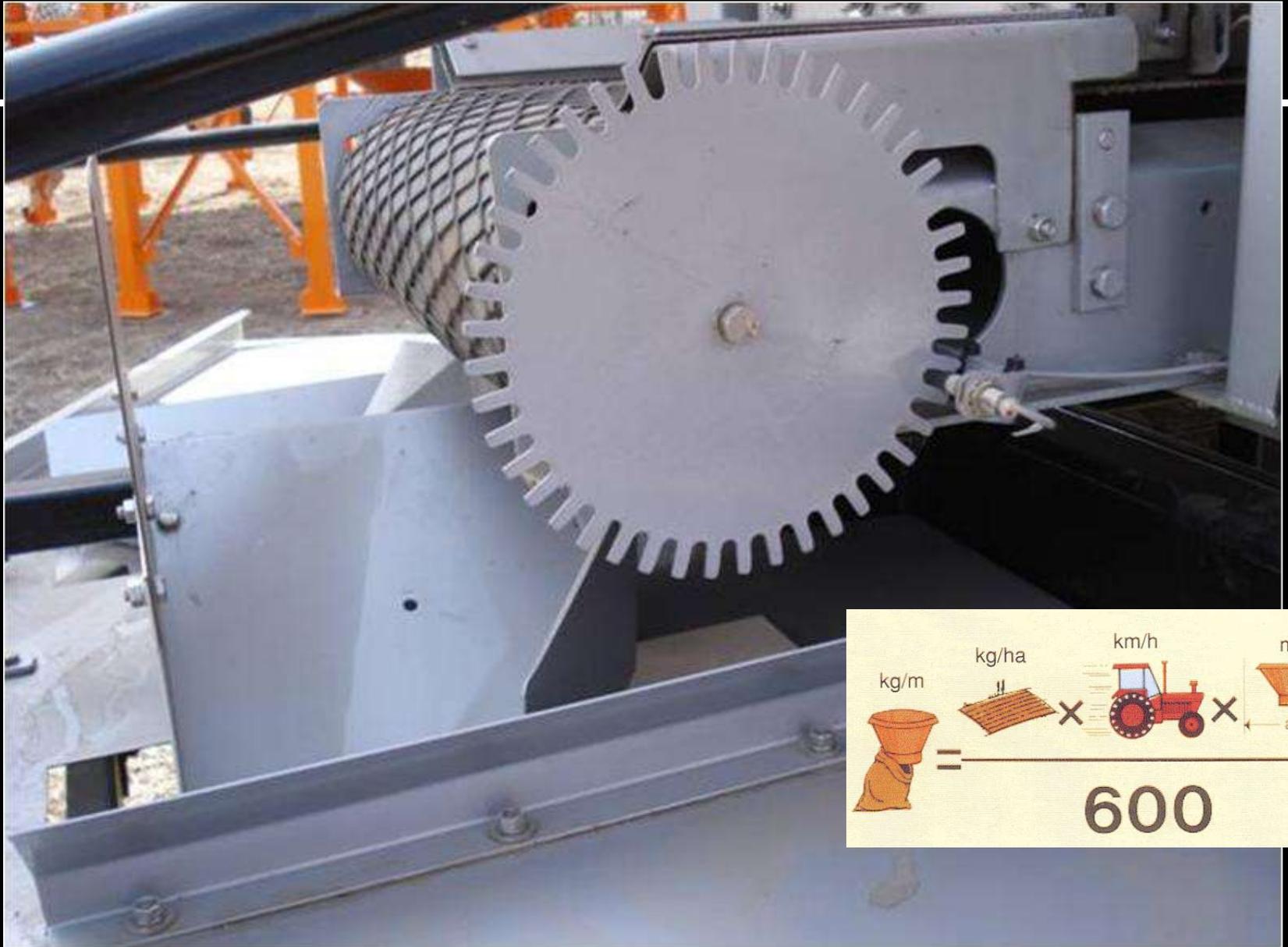
$$\text{kg/m} = \frac{\text{kg/ha} \times \text{km/h} \times \text{m}}{600}$$

Regulación del caudal









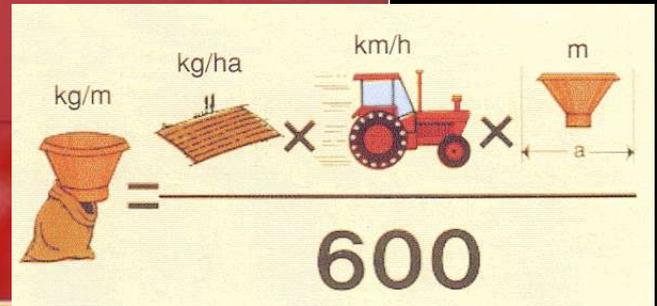
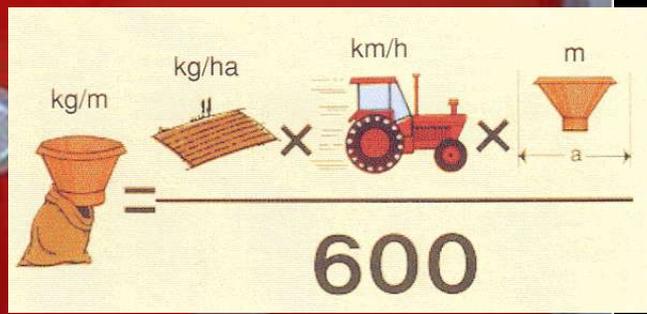


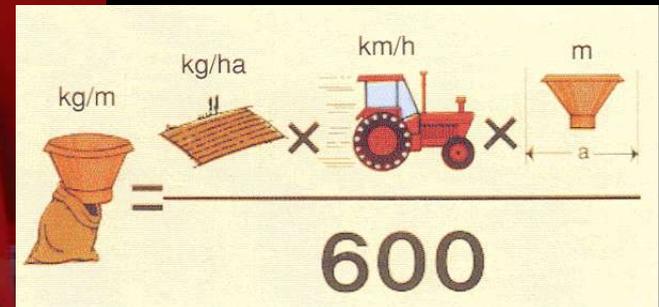
TABLA DE DOSIFICACION FERTIL FC3000 en Kg/ha

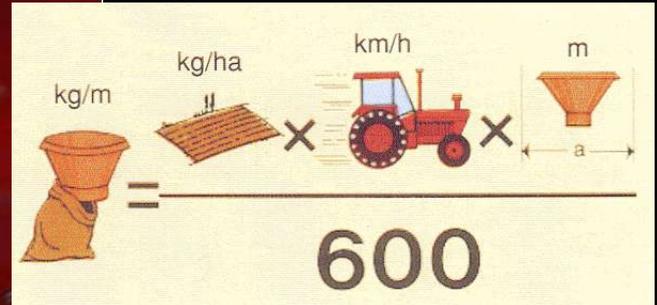
UREA Granulada Pasa 20 Mesh (0.85)					UREA Seca Granulada Pasa 20 Mesh (0.85)											Ancho de labor (m)	Alteza de la sembradora (m)
Velocidad (km/h)	1	2	3	4	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
10	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
12	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
16	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
18	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
20	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
22	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
25	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6





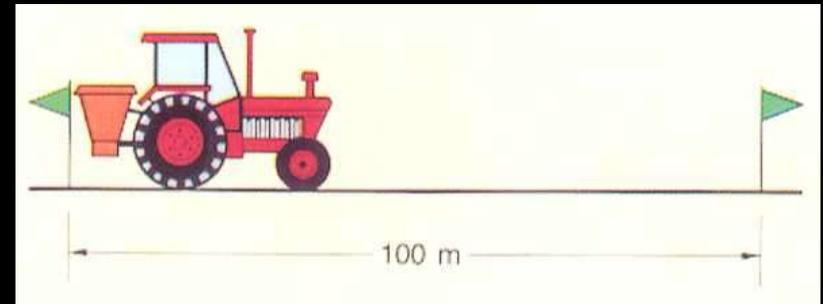
Si cambia la velocidad de avance?



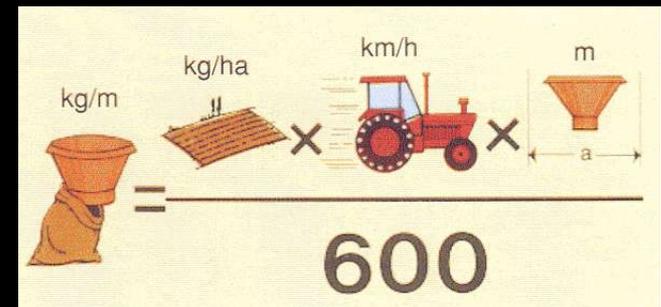


Cálculo de la velocidad de trabajo

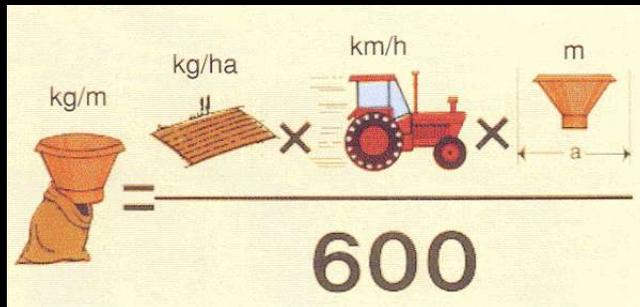
s/100 m km/h		s/100 m km/h		s/100 m km/h		s/100 m km/h	
36	10,00	49,5	7,27	63	5,71	76,5	4,71
36,5	9,86	50	7,20	63,5	5,67	77	4,68
37	9,73	50,5	7,13	64	5,63	77,5	4,65
37,5	9,60	51	7,06	64,5	5,58	78	4,62
38	9,47	51,5	6,99	65	5,54	78,5	4,59
38,5	9,35	52	6,92	65,5	5,50	79	4,56
39	9,23	52,5	6,88	66	5,45	79,5	4,53
39,5	9,11	53	6,79	66,5	5,41	80	4,50
40	9,00	53,5	6,73	67	5,37	80,5	4,47
40,5	8,89	54	6,67	67,5	5,33	81	4,44
41	8,78	54,5	6,61	68	5,29	81,5	4,42
41,5	8,67	55	6,55	68,5	5,26	82	4,39
42	8,57	55,5	6,49	69	5,22	82,5	4,36
42,5	8,47	56	6,43	69,5	5,18	83	4,34
43	8,37	56,5	6,37	70	5,14	83,5	4,31
43,5	8,28	57	6,32	70,5	5,11	84	4,29
44	8,18	57,5	6,26	71	5,07	84,5	4,26
44,5	8,09	58	6,21	71,5	5,03	85	4,24
45	8,00	58,5	6,15	72	5,00	85,5	4,21
45,5	7,91	59	6,10	72,5	4,97	86	4,19
46	7,83	59,5	6,05	73	4,93	86,5	4,16
46,5	7,74	60	6,00	73,5	4,90	87	4,14
47	7,66	60,5	5,95	74	4,86	87,5	4,11
47,5	7,58	61	5,90	74,5	4,83	88	4,09
48	7,50	61,5	5,85	75	4,80	88,5	4,07
48,5	7,42	62	5,81	75,5	4,77	89	4,04
49	7,35	62,5	5,76	76	4,74	89,5	4,02
						90	4,00



$$\text{velocidad [km/h]} = \frac{\text{distancia [m]} \times 3,6}{\text{tiempo [s]}}$$



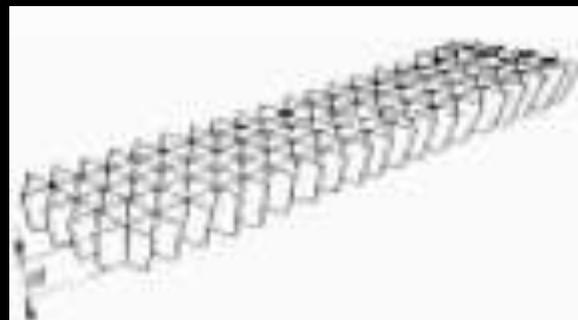
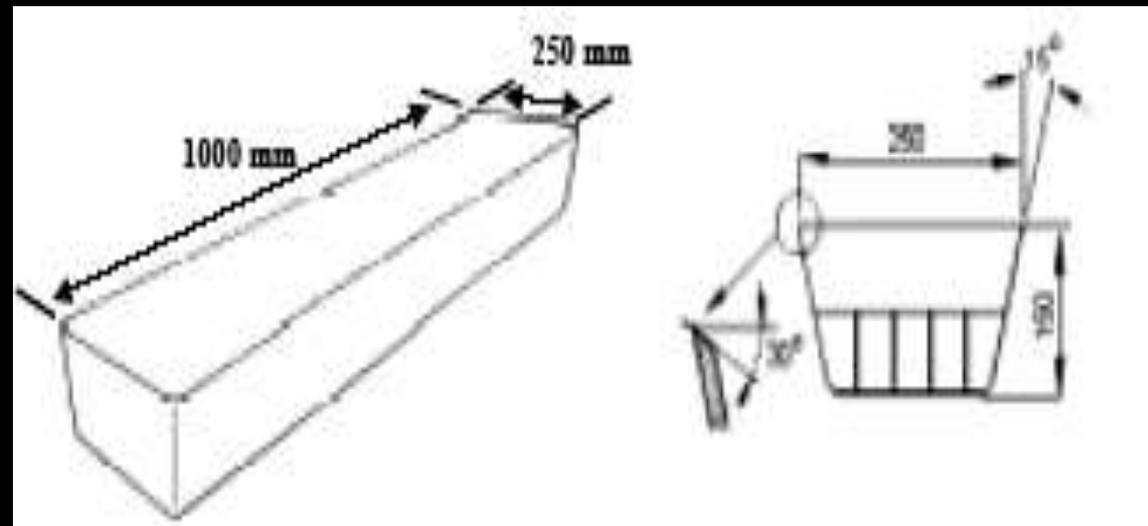
Determinación del ancho efectivo



Para evaluación en campo



b)

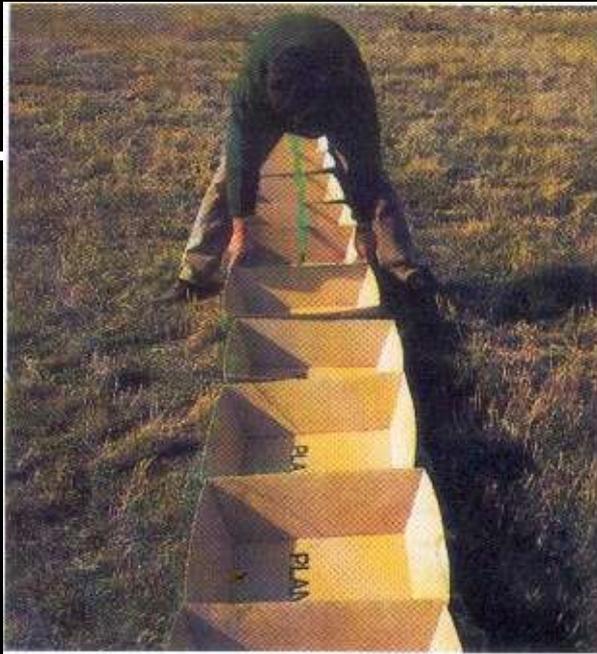


(A)



(B)

■ Cálculo del ancho de trabajo efectivo:



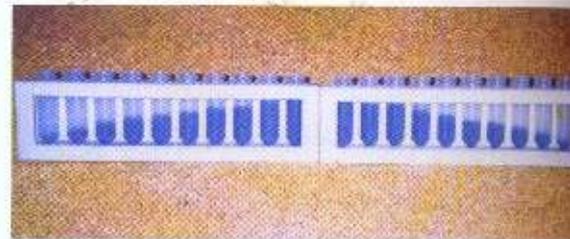
a)



b)



c)



d)

Determinación del perfil de distribución.

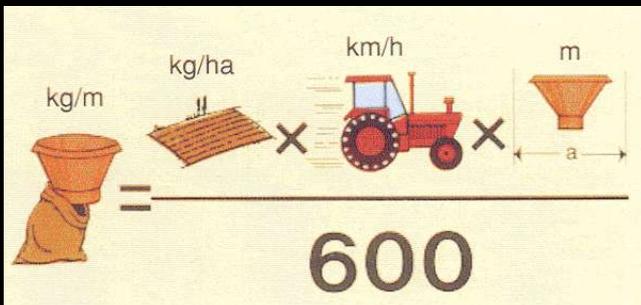
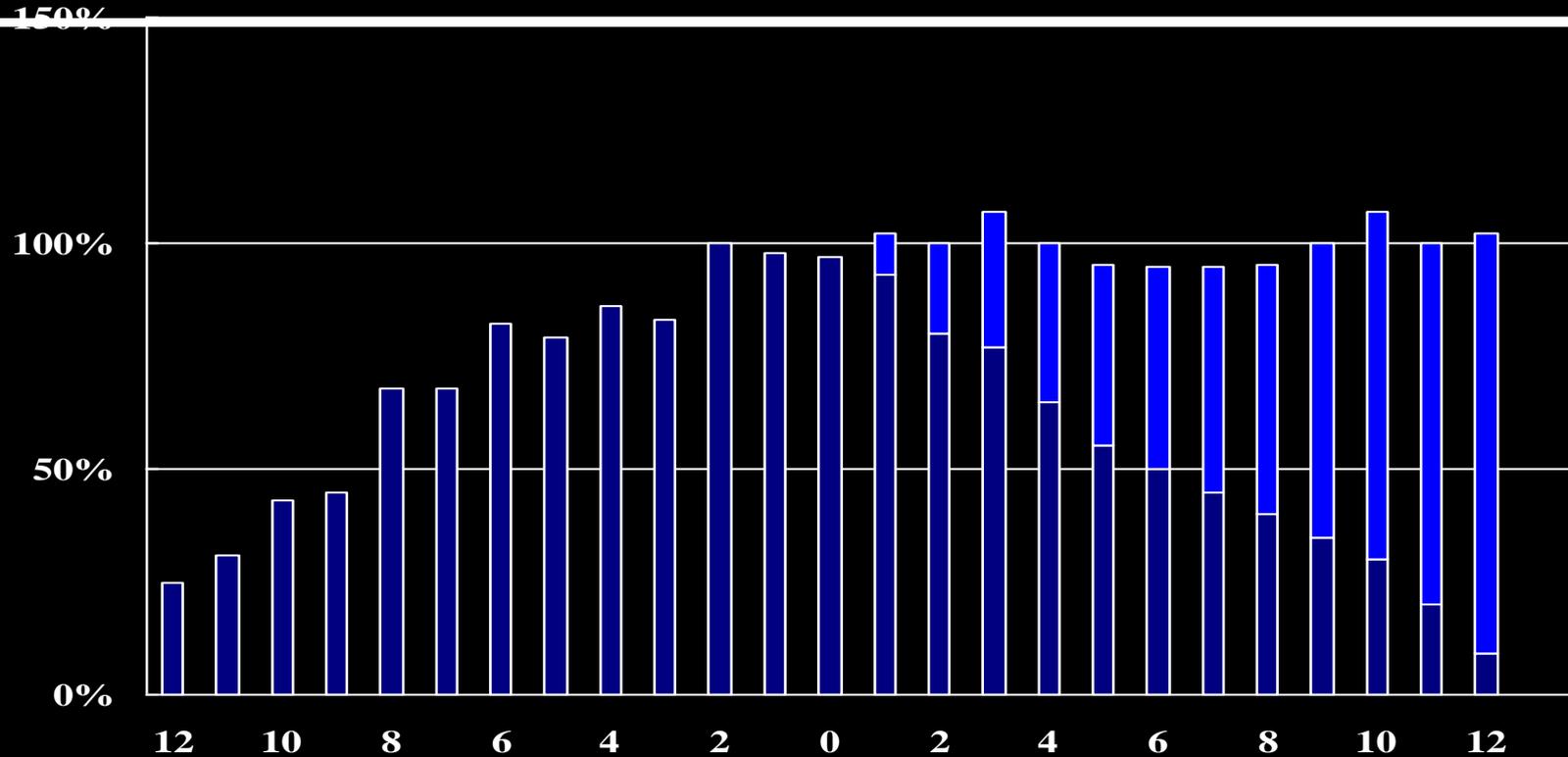
a) Colocación de las cajas de recogida.

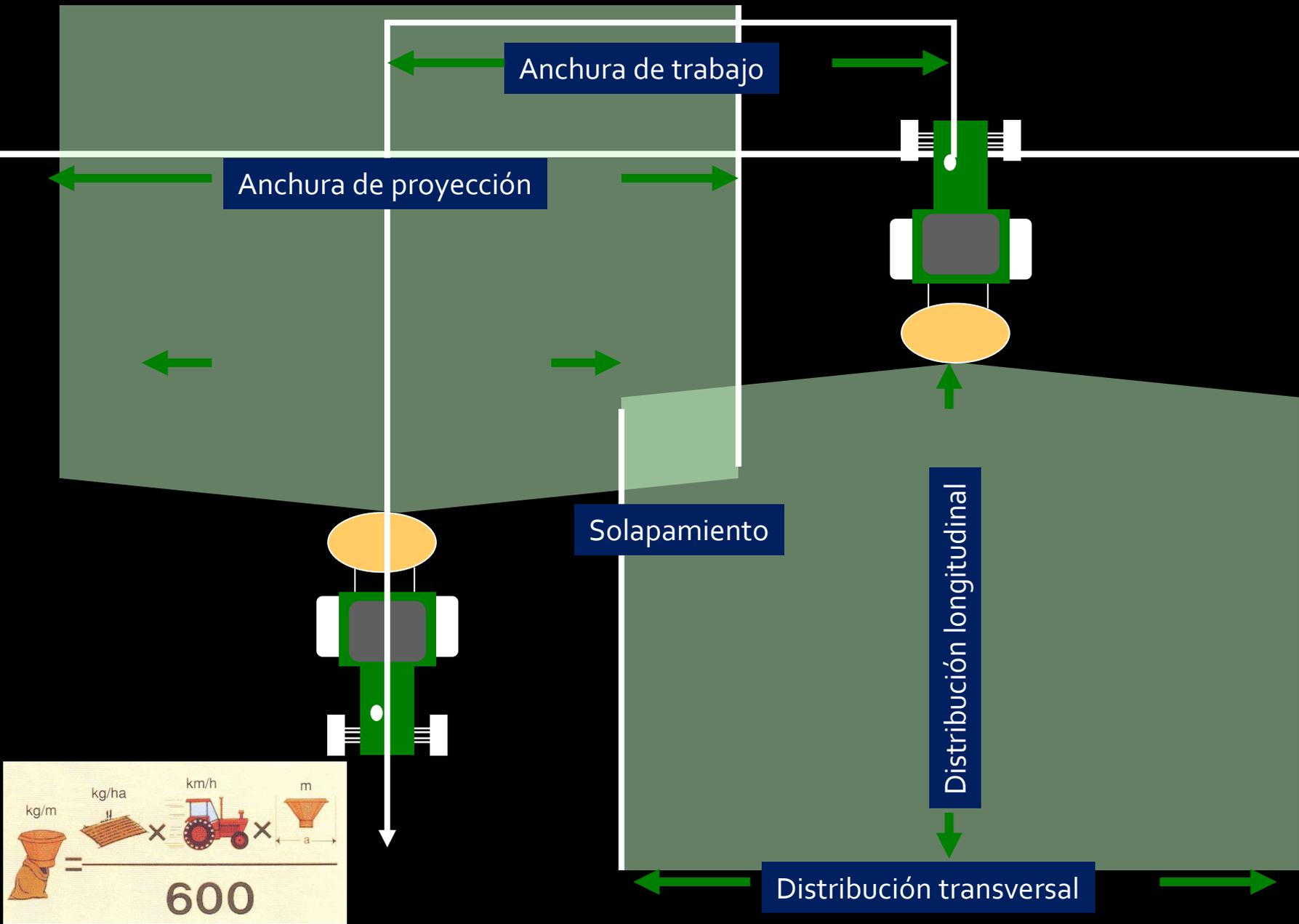
b) Pasar con el tractor perpendicularmente a las cajas.

c) Recogida del contenido de cada caja.

d) Perfil de distribución.

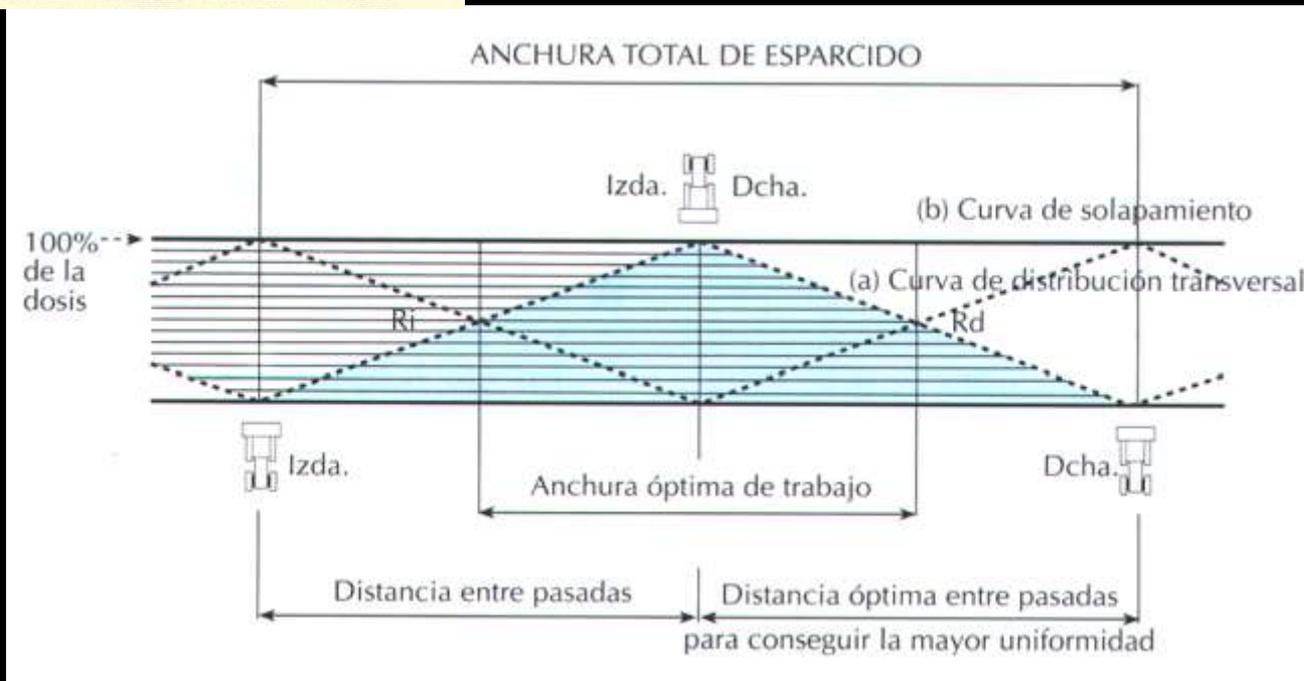
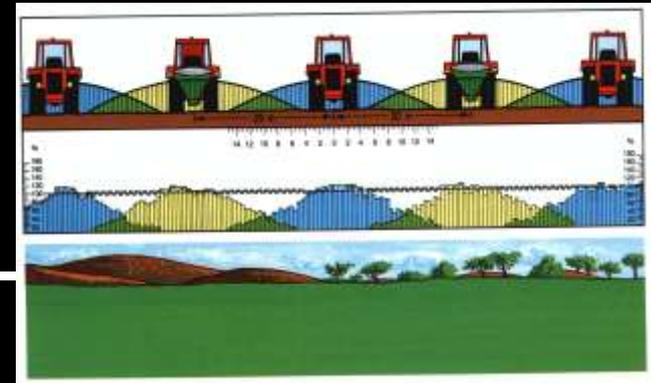
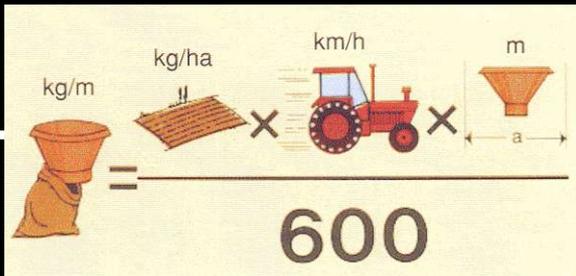
Histograma de distribución





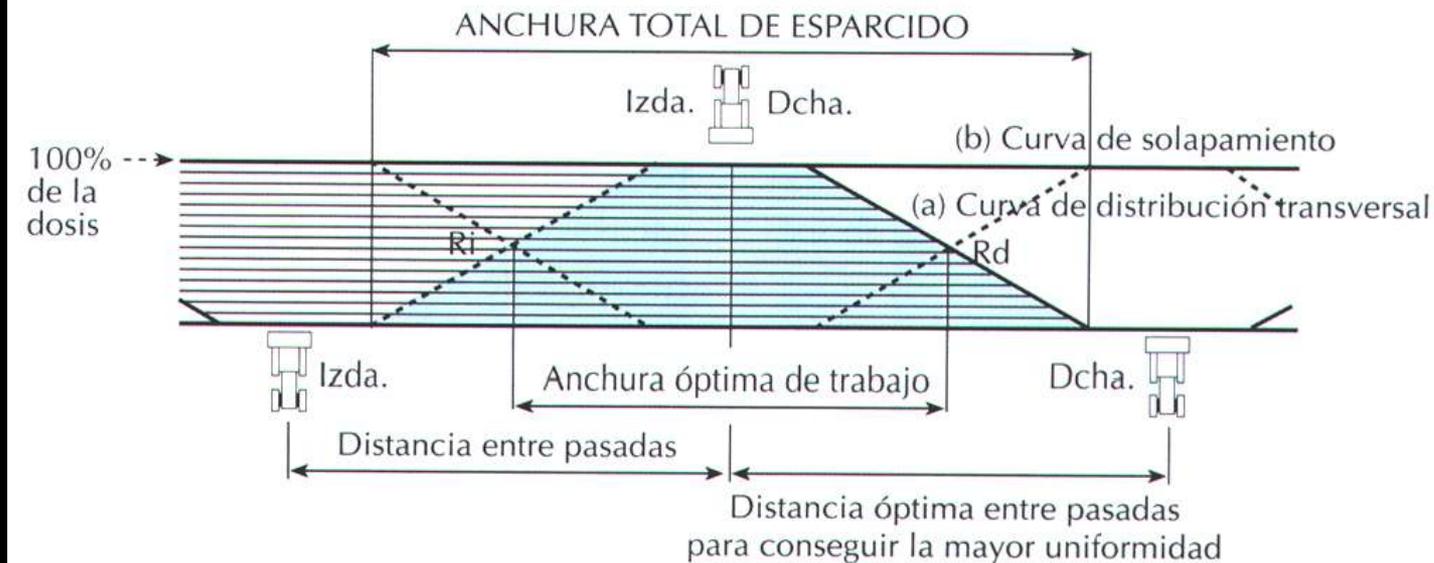
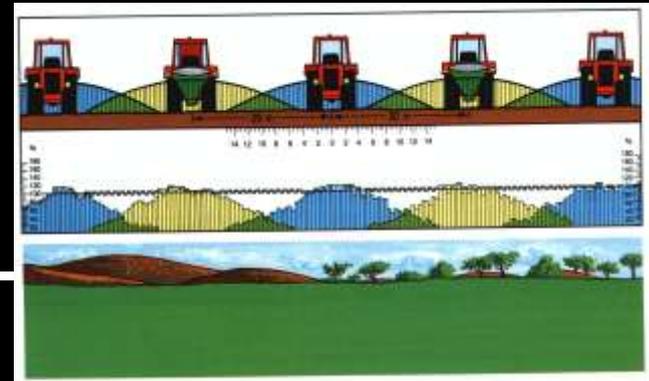
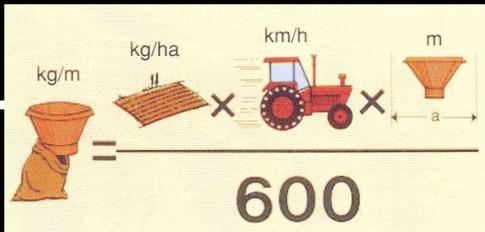
$$\begin{array}{c}
 \text{kg/m} \\
 \text{kg/ha} \\
 \text{km/h} \\
 \text{m}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 \text{Tractor} \\
 \times \\
 \text{Spreader}
 \end{array}
 =
 \frac{\text{600}}{a}$$

Perfiles de distribución



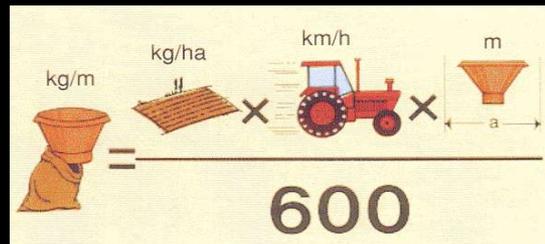
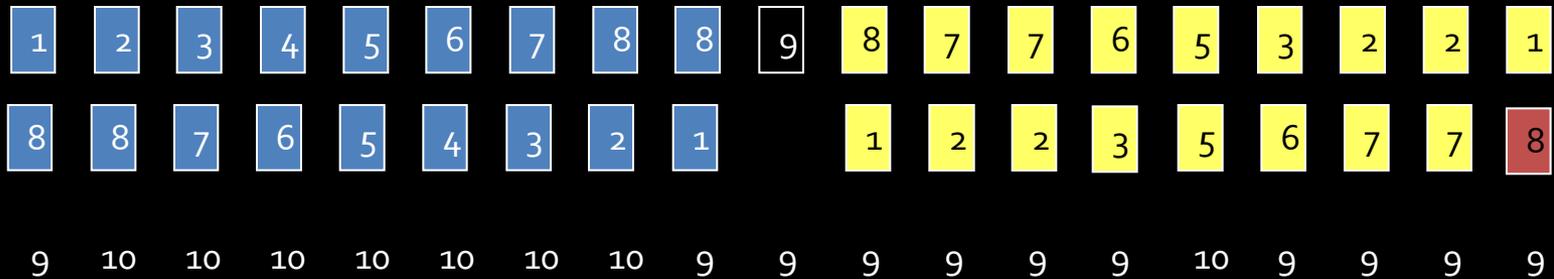
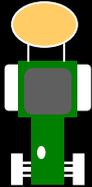
Triangular: permite pequeñas variaciones de la separación entre pasadas sin modificaciones en la uniformidad de distribución

Perfiles de distribución



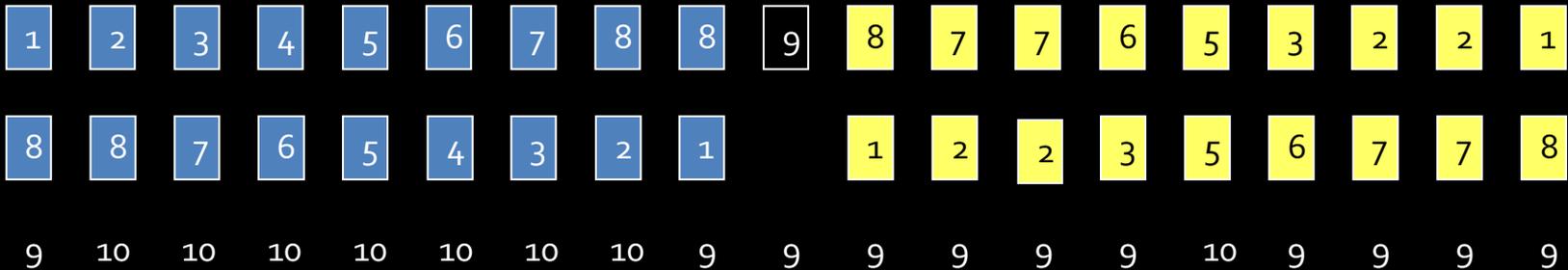
Trapezoidal: pequeñas variaciones de la separación entre pasadas modifica considerablemente la uniformidad de distribución

Calculo del abono recibido en cada zona del campo



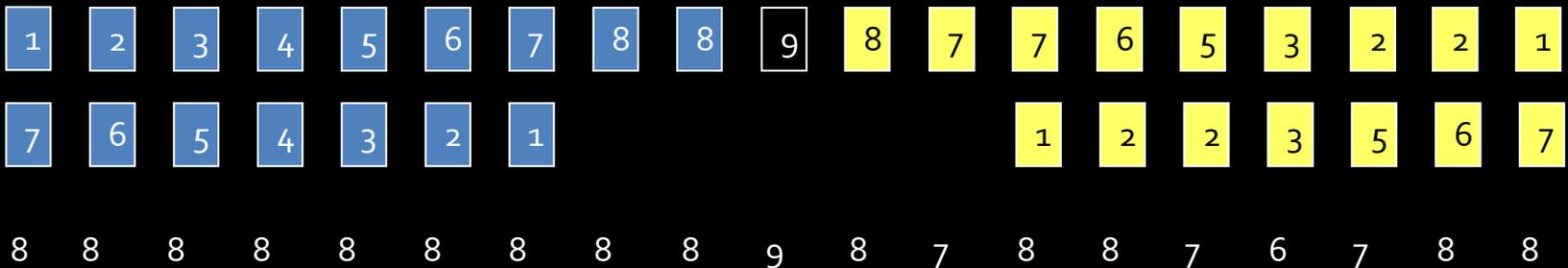
Con diferente solapamiento

A) Anchura de trabajo: 10 m



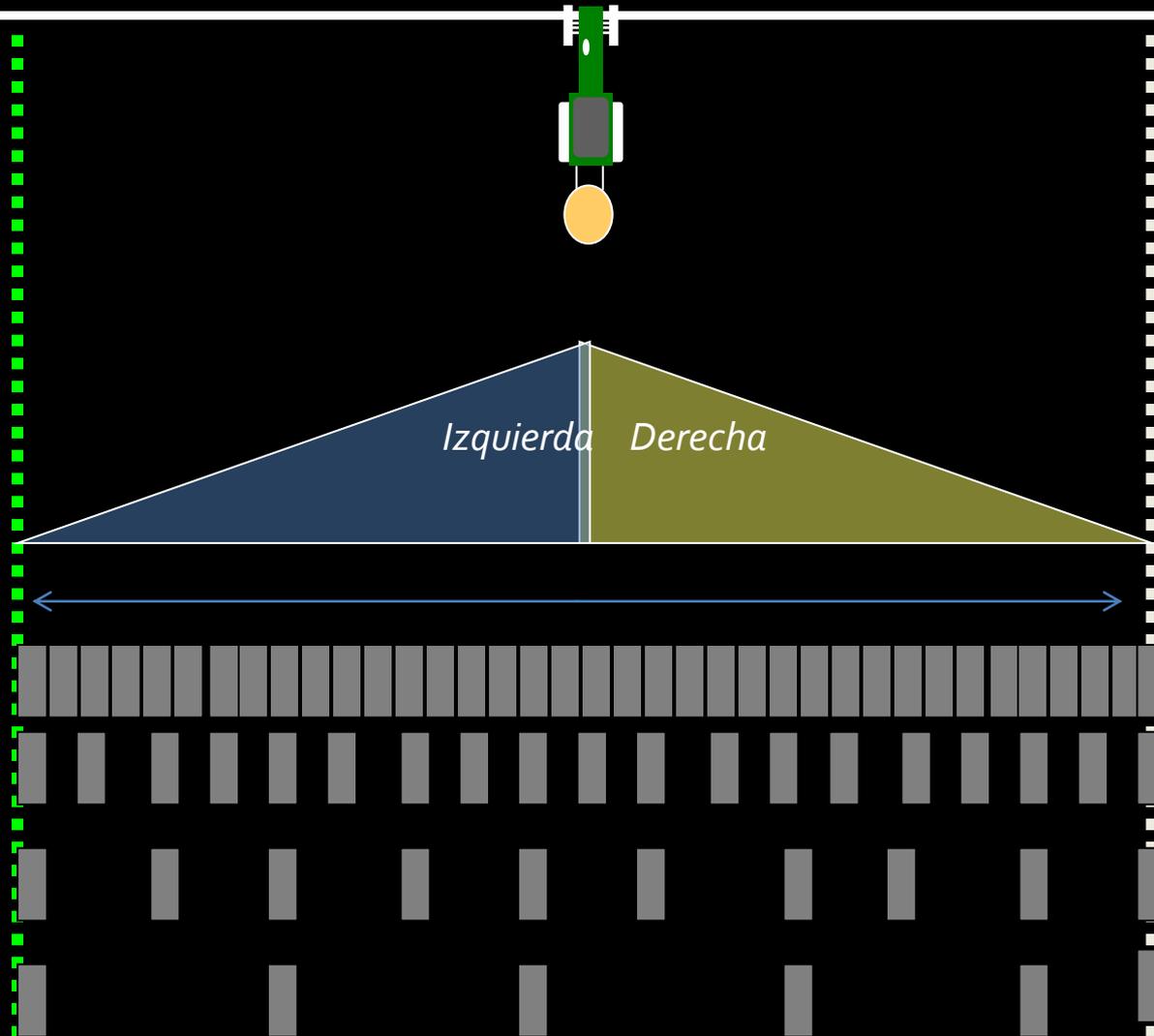
CV: 5,38%

A) Anchura de trabajo: 12 m

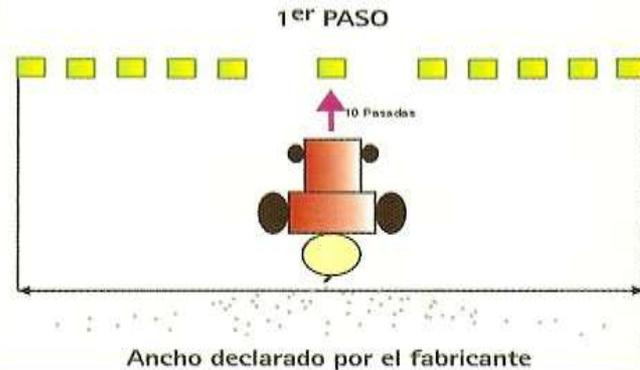


CV: 8,09%

Cuántas cajas receptoras se deben colocar?



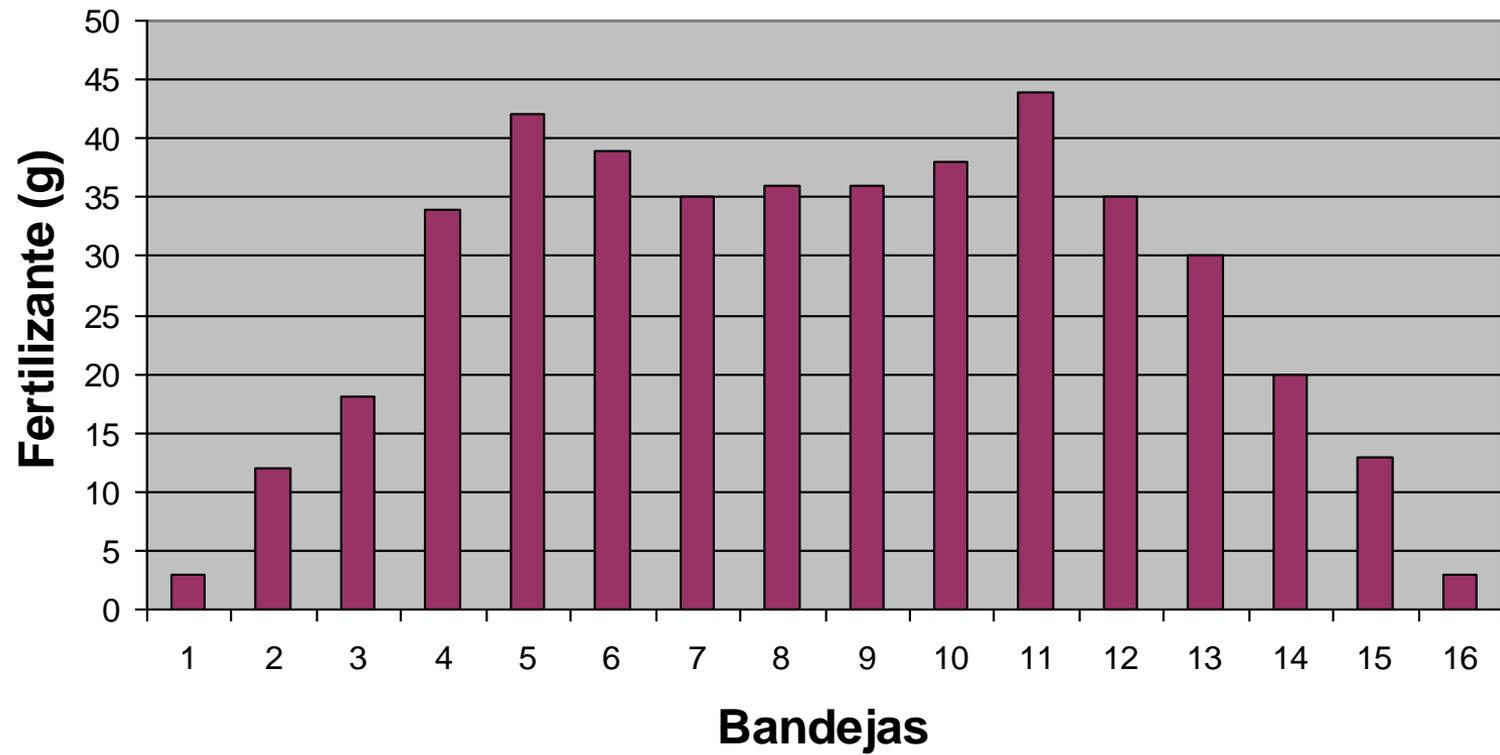
Determinación del patrón de distribución



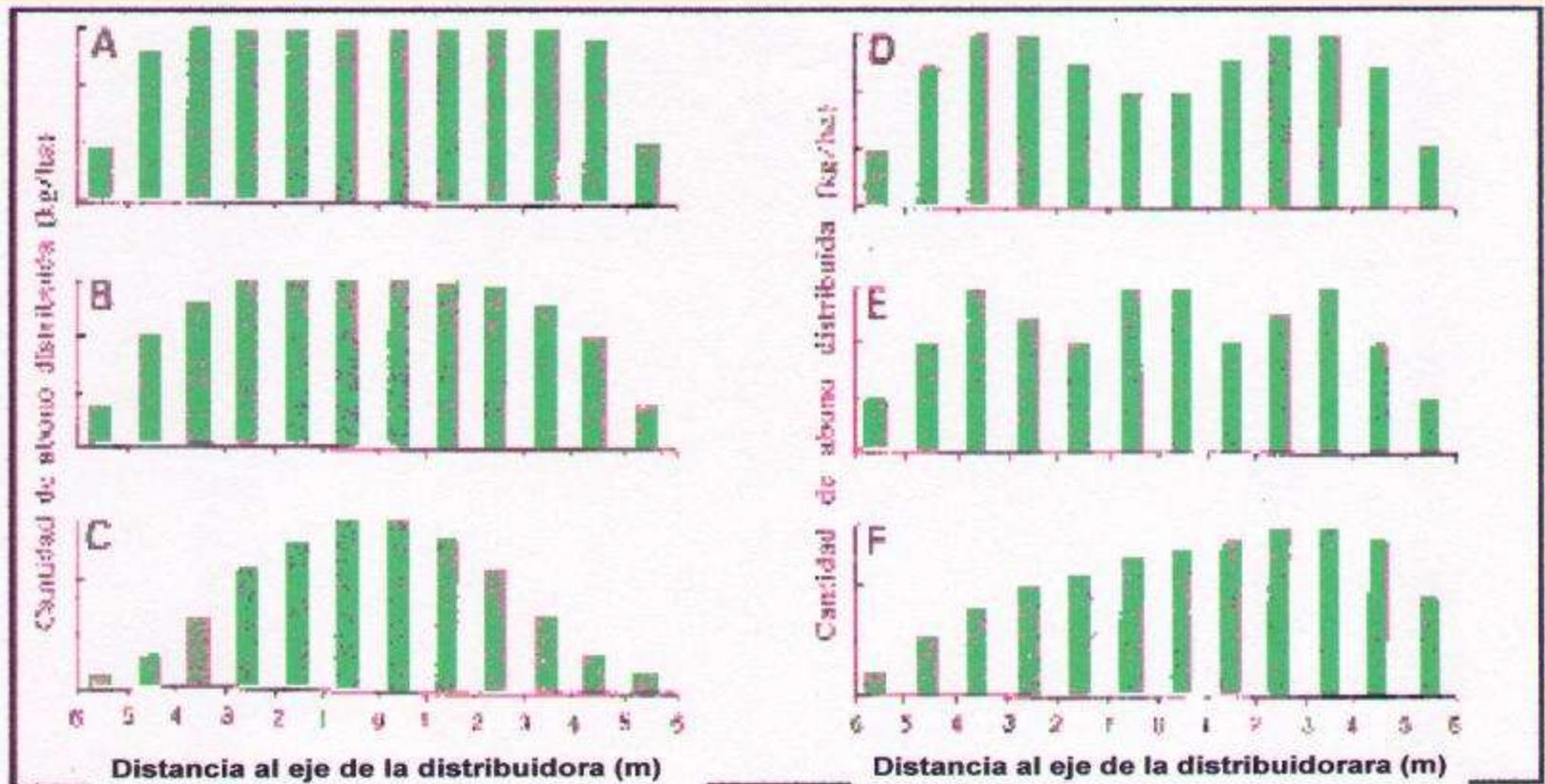
Recoger y pesar



Distribución una pasada



Perfiles de distribución



OPTIMA DISTRIBUCION

MALA UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION

Diagramas de distribución de fertilizadoras centrífugas

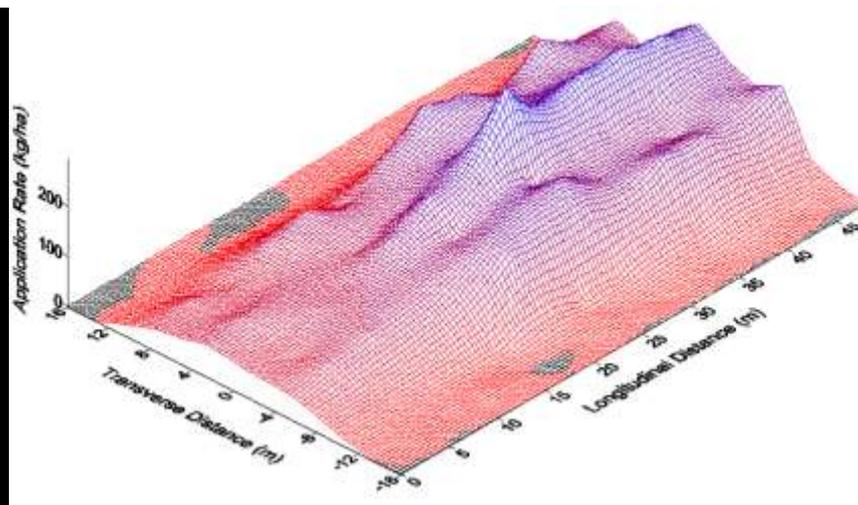
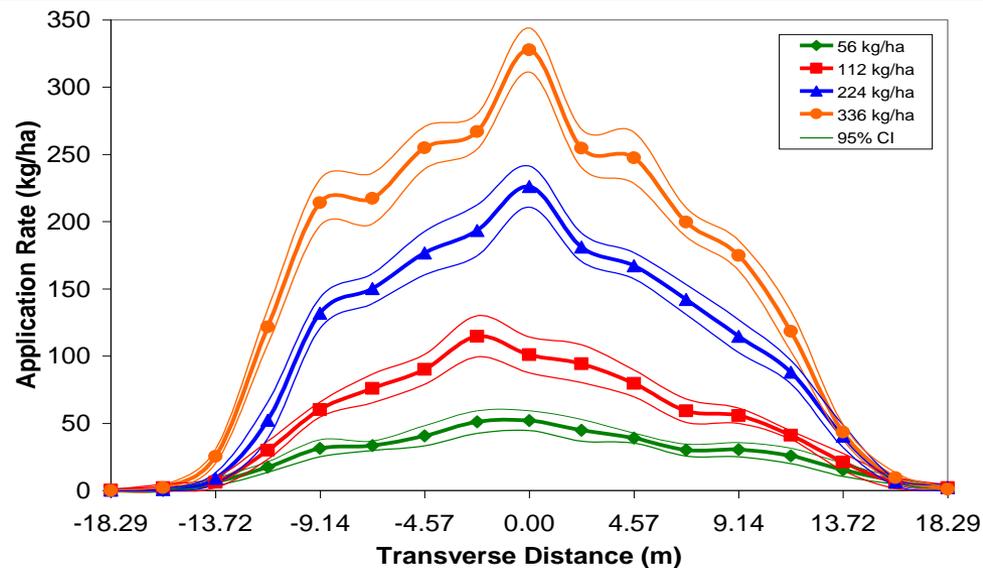
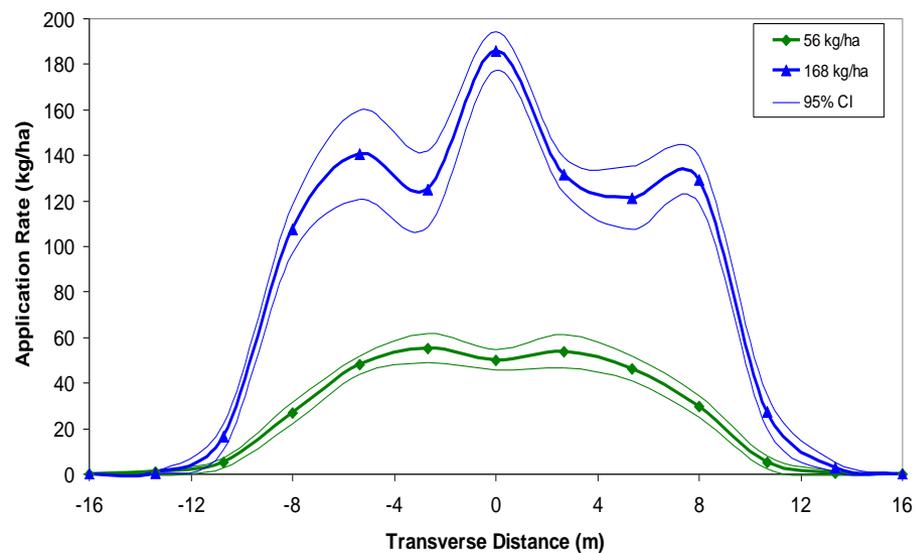
Ajustes para corregir el patrón de distribución en "M"

- Ubicar el punto de entrega de material más cerca del borde exterior del plato giratorio
- Mover las paletas del dosificador en dirección opuesta al sentido de rotación
- Incrementar el régimen de giro del plato giratorio

Ajustes para corregir el patrón de distribución en "W"

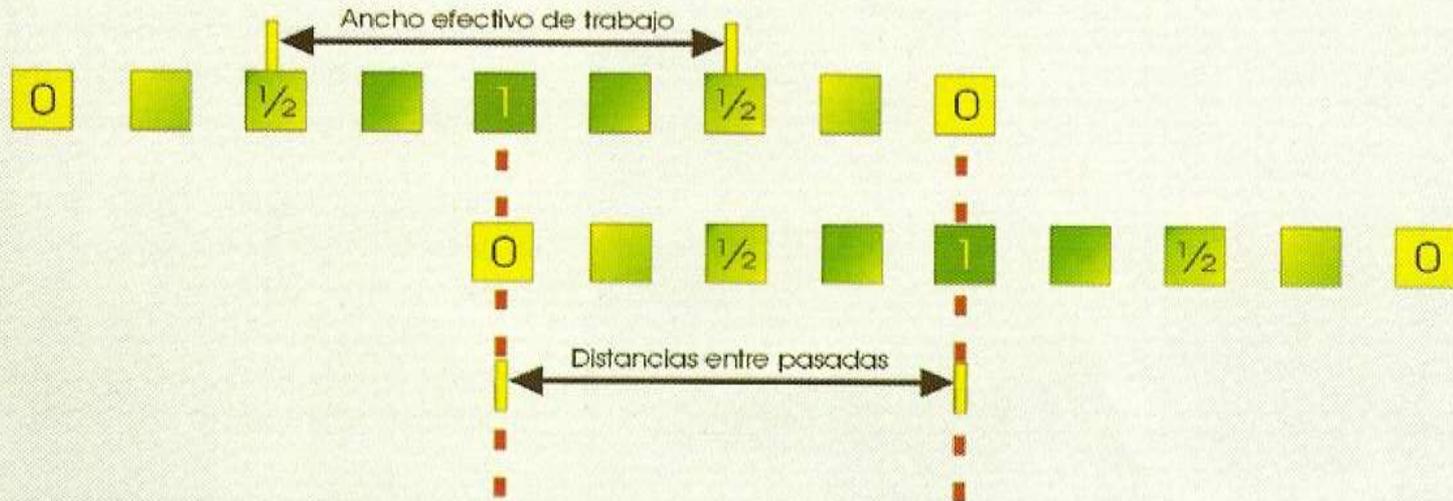
- Mover el punto de descarga del fertilizante más cerca del centro del plato giratorio
- Mover las paletas del plato giratorio en la dirección de rotación
- Disminuir la velocidad de rotación del distribuidor

Qué pasa con la agricultura de precisión (dosis variable de insumos) con máquinas centrífugas?



Ancho de trabajo

Para un perfil triangular



Planilla de datos

Lado Izquierdo				Lado Derecho			
Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados	Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados
8	36			9	36		
7	35			10	38		
6	39			11	44		
5	42			12	35		
4	34			13	30		
3	18			14	20		
2	12			15	13		
1	3			16	3		
Media= 27,4 g							

Valores de tolerancias máximas y mínimas para determinar el solapado:

Tolerancia 30%

$$\text{valor medio} - 30\% = 19,18 \text{ g}$$

Lado Izquierdo				Lado Derecho			
Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados	Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados
8	36			9	36		
7	35			10	38		
6	39			11	44		
5	42			12	35		
4	34			13	30		
3	18	X		14	20	X	
2	12	X		15	13	X	
1	3	X		16	3	X	
Media= 27,4 g							
% de Solapamiento= 18,75							

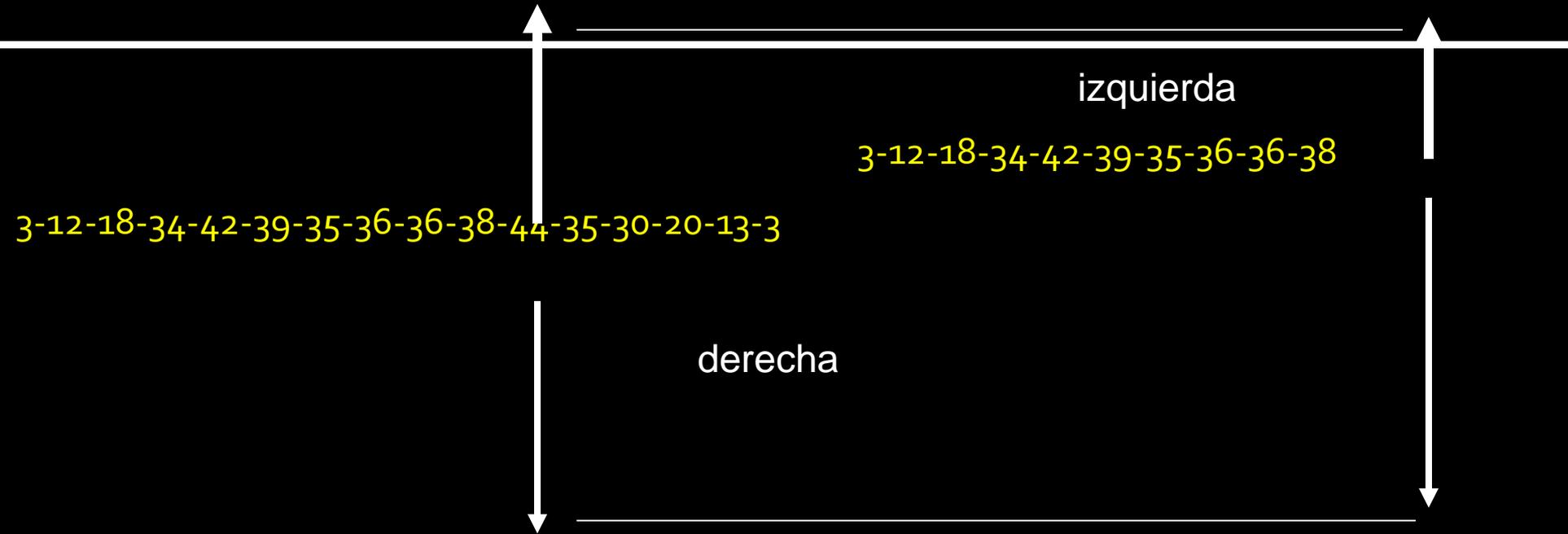
Ancho de trabajo:

13 cajas x (0,55)= 7,15 m

Lado Izquierdo				Lado Derecho			
Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados	Caja n°	Peso (g)	Solap. (%)	Valores Acumulados
8	36		36	9	36		36
7	35		35	10	38		38
6	39		39	11	44		44
5	42		42	12	35		35
4	34		34	13	30		30
3	18	X		14	20	X	23
2	12	X		15	13	X	25
1	3	X		16	3	X	21
Media= 27,4 g							
% de Solapamiento= 18,75							

Nota: se superpone lado izquierdo con derecho

Ancho de trabajo efectivo



13 bandejas

$$13 \times (0,55) = 7,15 \text{ m}$$

Determinación de la calidad de aplicación

Mediante el C.V. de la población de datos

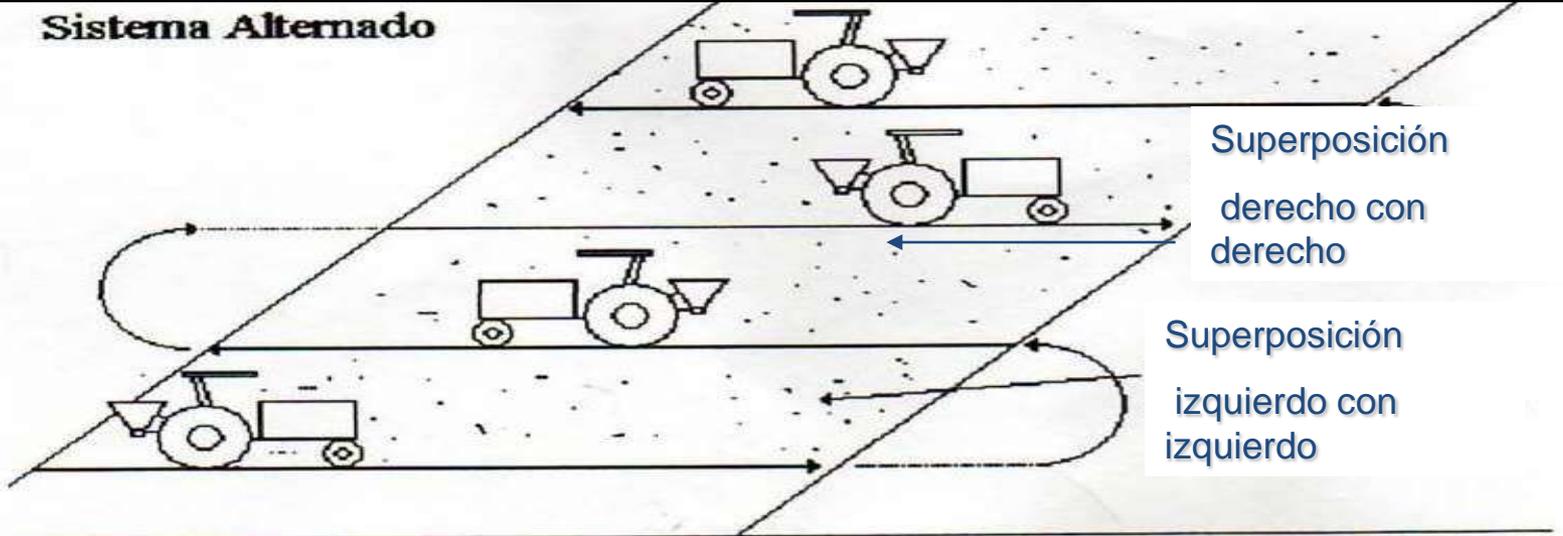
$$CV = \frac{\text{Desv. Est (S)}}{\bar{X}} \times 100$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

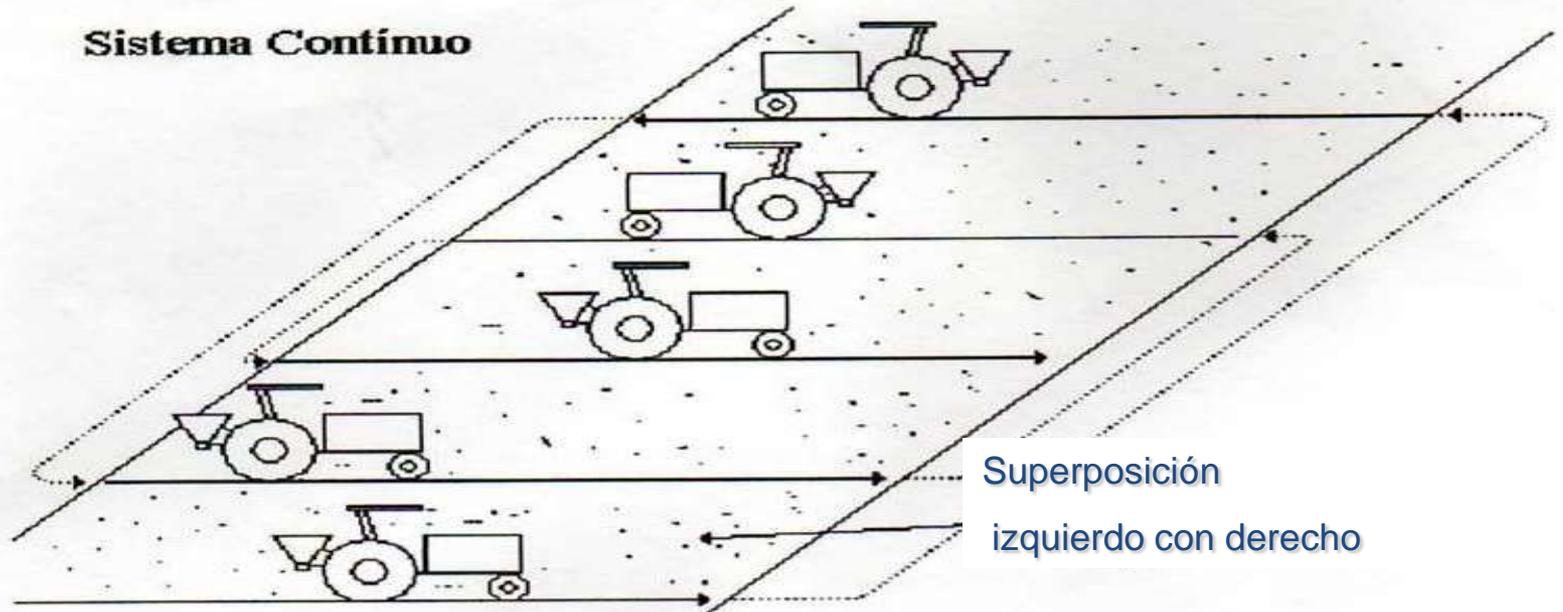
Ensayos en laboratorio	Interpretación	Pruebas de campo
$0 < CV < 10\%$	Bueno – Muy bueno	$0 < CV < 15\%$
$10 < CV < 15\%$	Aceptable	$15 < CV < 25\%$
$> 15\%$	Malo – A desechar	$> 25\%$

Formas de trabajo

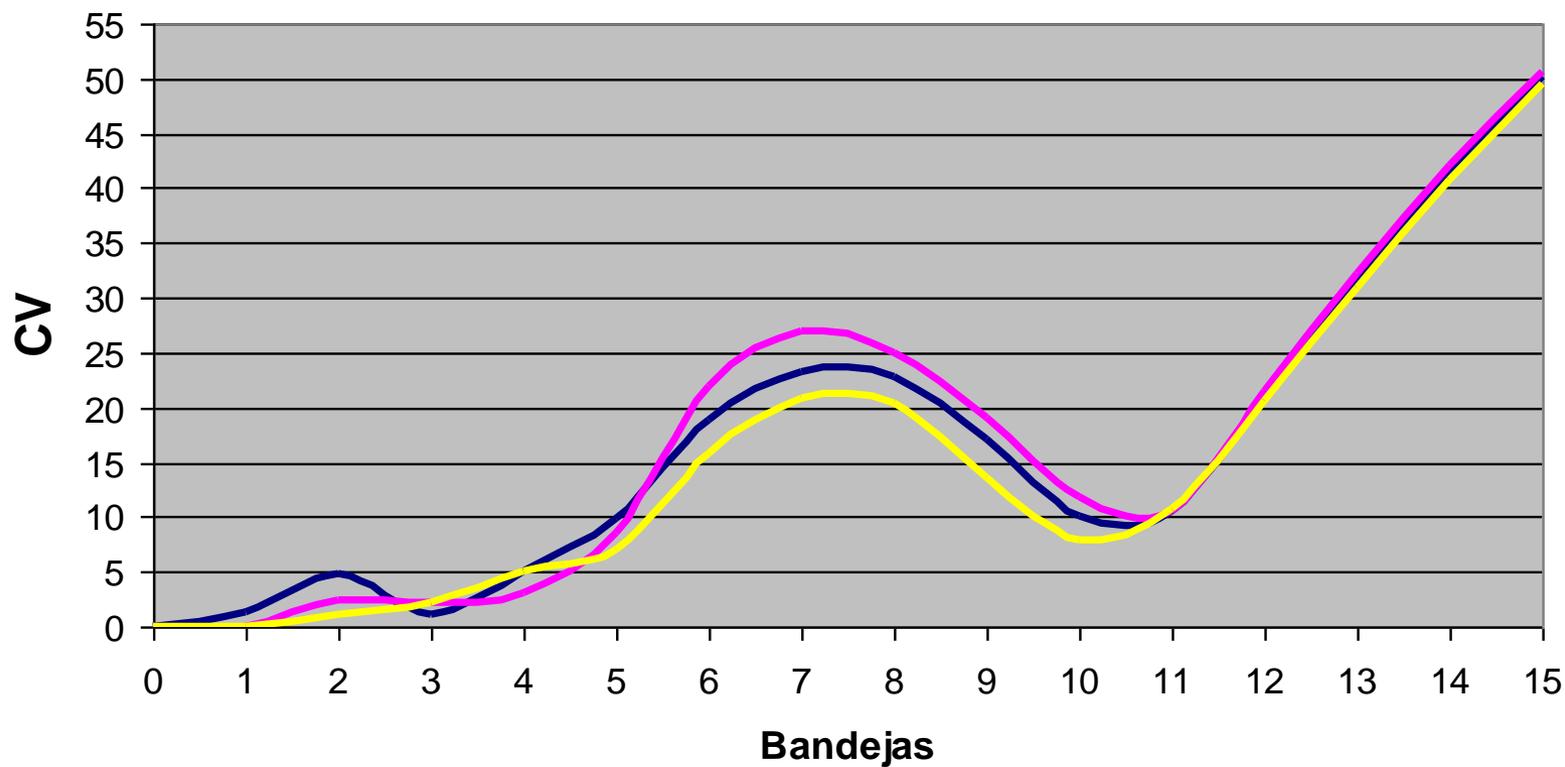
Sistema Alternado



Sistema Continuo

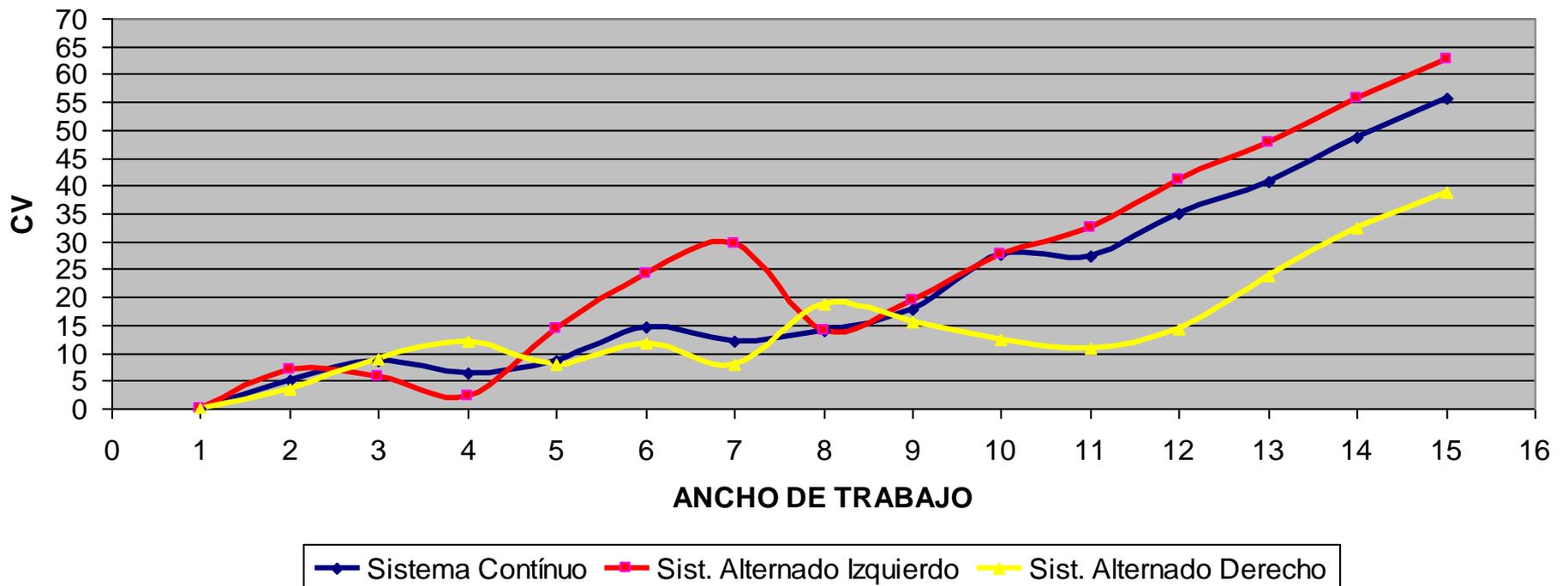


Determinación del ancho efectivo



— Sistema Continuo — Sist. Alternado Izquierdo — Sist. Alternado Derecho

DETERMINACIÓN DEL ANCHO EFECTIVO DE TRABAJO



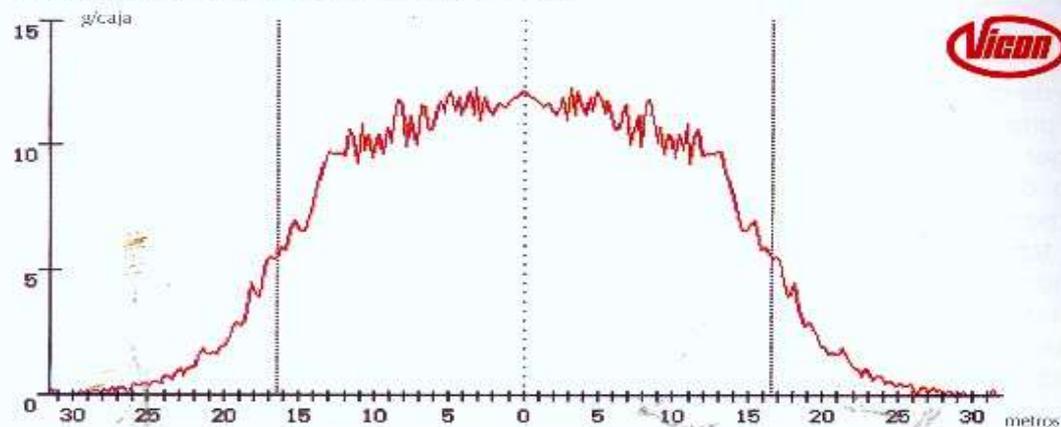
ENSAYO VIII

A) ABONADORA: RSM + EDW825
FERTILIZANTE: Fertilizante N 27%
REGULACIÓN: 540 rev/min - 6.5 km/h - disco rev/min - 75 cm E

Condiciones del ensayo:

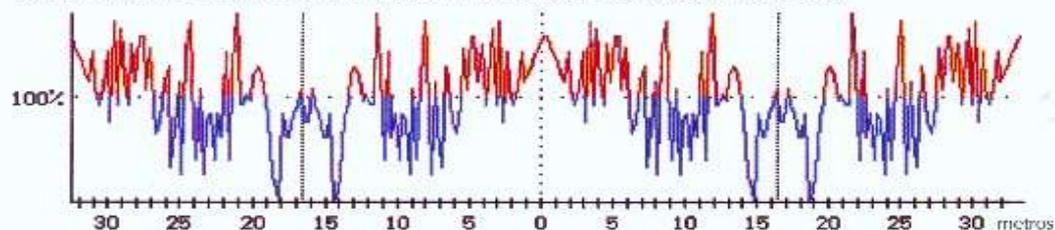
Temperatura: 25°C
Humedad relativa: 67%

B) DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL (1 PASADA)



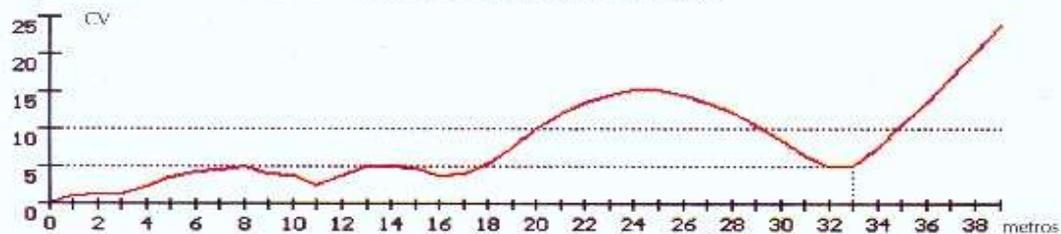
SIMETRÍA DE LA DISTRIBUCIÓN: derecha 50.0% - izquierda 50.0%
DOSIS: 452.9 kg/ha (para 33 m de anchura de trabajo)

C) DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN CON SOLAPAMIENTO (33m DE ANCHURA DE TRABAJO)



DESVIACIONES RESPECTO A LA MEDIA: trabajo redondo 12.1%
ida y vuelta 12.1%

D) COEFICIENTE DE VARIACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ANCHURA DE TRABAJO



ANCHURA DE TRABAJO DE REFERENCIA: 33 m
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: en redondo 5.0% - ida y vuelta 5.0%

Fertilización líquida

Algunas ventajas:

- ❖ Dosificación precisa, uniformidad
- ❖ Capacidad de trabajo
- ❖ Independencia de la humedad
- ❖ Compatibilidad de agroquímicos
- ❖ Eficiencia en aplicaciones superficiales, baja volatilización
- ❖ Menores costos operativos, fácil almacenamiento

Algunas desventajas:

- ❖ Corrosión
- ❖ Concentración de producto
- ❖ Logística de distribución del producto

Ubicación del fertilizante líquido

- Superficial
 - Chorreado en la línea
 - Cobertura total en presiembra
 - Chorreado en pos emergencia
- Incorporado
 - Presiembra
 - A la siembra
 - Con fertilizadoras adaptadas

Aplicación en cobertura total y por chorreo



Fertilización líquida a la siembra

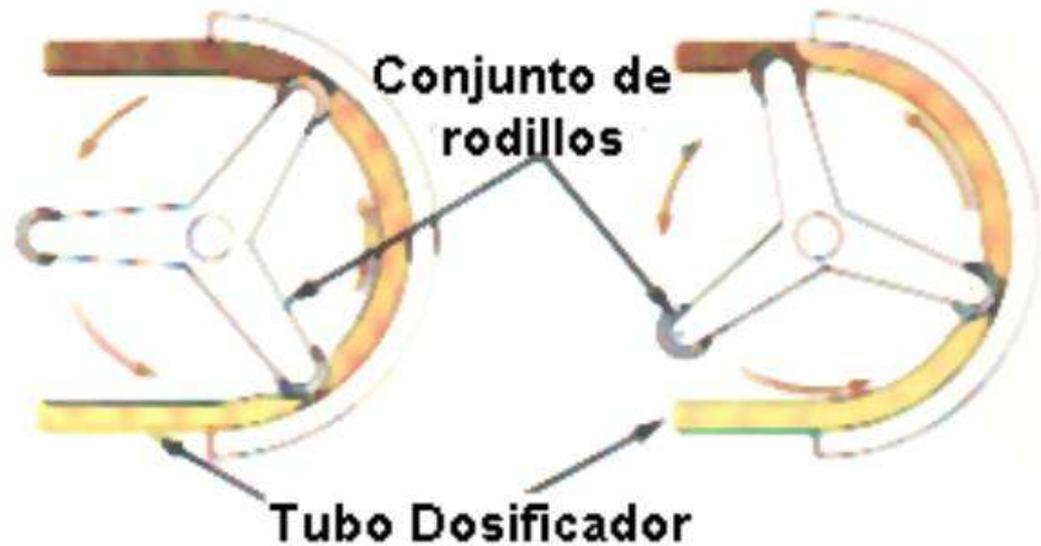
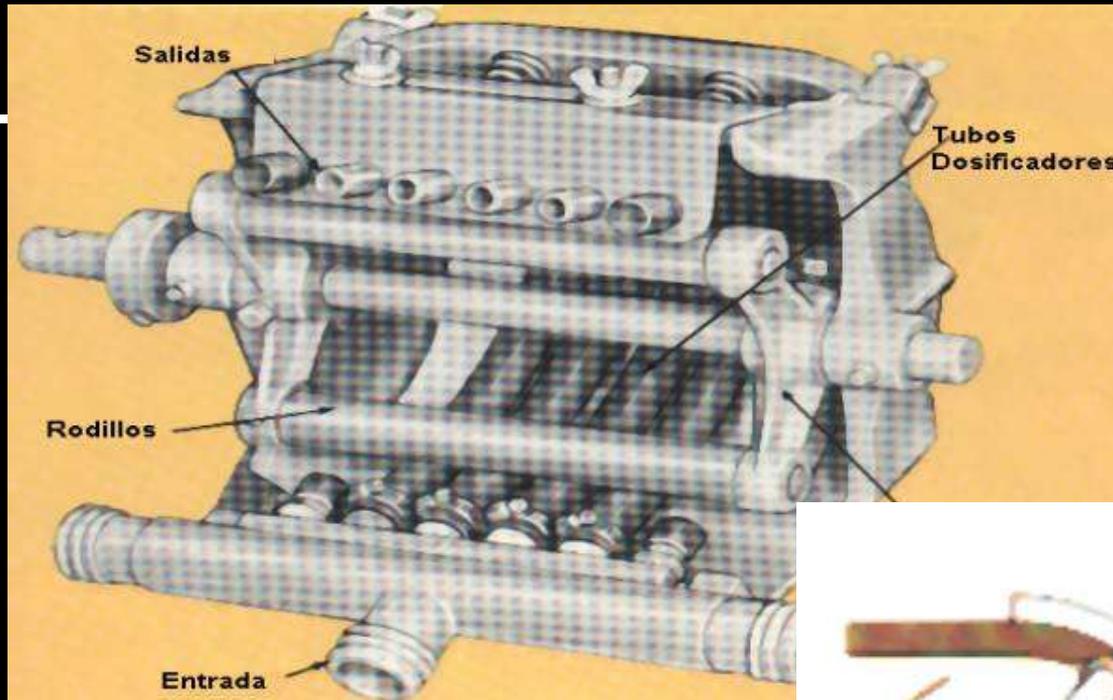




Aplicación de líquidos con fertilizadoras



Fertilizante líquido: bombas peristálticas



Aplicación de amoníaco anhidro

