



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería Agronómica

Programa de cálculo para la distribución de
abonados y su aplicación en los bordes de
parcela

Alumno: María Antonia San José Pérez

Tutor: Mariano Nogales García
Cotutor: Valentín Pando Fernández

SEPTIEMBRE de 2016

Copia para el tutor/a

ÍNDICE GENERAL de la MEMORIA

1. Antecedentes y objeto del estudio	16
2. Necesidades de agentes intervinientes.....	19
2.1. Agricultor	19
2.2. Fabricante de maquinaria	19
2.3 Técnico o ingeniero.....	20
3. Problemática en el abonado.....	21
3.1. Distribuciones heterogéneas vs. homogéneas	22
3.2. Características que afectan a la uniformidad de distribución de los abonos.....	26
3.2.1. Regulación de las abonadoras	27
3.2.2. Solapamiento entre pasadas	28
3.2.3. Abonado en los bordes de parcela	30
4. La Estación de Ensayo y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia (EECAS).....	33
5. Normativa aplicable	35
6. Descripción de las máquinas abonadoras y variables de cálculo.....	37
6.1. Características de las abonadoras	37
6.2. Tipos de abonadoras.....	38
6.2.1. Abonadoras de gravedad	38
6.2.2. Centrífugas de un disco o de dos discos. Abonadoras de proyección	39
6.2.3. Neumáticas.....	42
6.2.4. Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de abonadoras.....	43

6.3. Modelo de trabajo: Perfil de abonado trapezoidal – perfil triangular.....	43
6.4. Regulación de las abonadoras según tipos de abonos	47
6.4.1. Características de los abonos	48
6.4.2. Sistema de dosificación y ajuste de caudal	51
6.5. Problemática de uso en campo.....	52
6.5.1. Los bordes de parcela: abonados desde o hacia el borde	52
6.5.2. Los bordes de parcela: solapar la pasada del borde	53
7. Descripción del proceso de cálculo	54
7.1. Dosis y caudal teórico.....	54
7.2. Anchura de distribución y tipo de abono	54
7.3. Velocidad de trabajo y régimen de la toma de fuerza	55
7.4. Abono recibido en cada zona de campo: cajas de recogida.....	55
7.5. Cálculo del diagrama de distribución transversal.....	57
7.6. Cálculo del Coeficiente de Variación	59
7.6.1. Dosis Media.....	60
7.6.2. Desviación acumulada.....	60
7.6.3. Desviación típica	61
7.7. Estimación de la anchura de trabajo. Gráfica de Coeficiente de Variación	62
8. Programa o modelo de cálculo de distribución de abonados	65
8.1. Curva de distribución.....	68
8.1.1. Ejemplos de cálculo.....	70
8.1.2. Datos iniciales y variables que intervienen	71
8.1.3. Resultados.....	72
8.2. Curva de distribución en los bordes de la parcela.....	76

9. Análisis de resultados	81
10. Conclusiones.....	101
11. Referencias.....	103
12. Anexo 1: Relación de figuras del programa de cálculo.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS de la MEMORIA

Figura 1. Errores en la distribución de abonado: bandas en cultivo	23
Figura 2. Distintas anchuras de trabajo	26
Figura 3. Distribución en el límite y solapamiento entre varias pasadas de tractor ..	28
Figura 4. Anchura de trabajo y solapamiento entre varias pasadas del tractor	29
Figura 5. En distribución triangular el solape coincide con la anchura de trabajo	30
Figura 6. En diagrama trapezoidal el solapamiento es mucho menor	30
Figura 7. Partes de las abonadoras.....	37
Figura 8. Abonadoras de proyección y componentes.....	40
Figura 9. Perfiles de abonado y modelos de trabajo	44
Figura 10. Diagrama de distribución con perfil triangular	46
Figura 11. Diagrama de distribución con perfil trapezoidal.....	46
Figura 12. Caja de tamices para determinar la granulometría del abono	47
Figura 13. Características físicas en abonos minerales granulados.....	49
Figura 14. Abonado unilateral en el borde inclinando la abonadora.....	52
Figura 15. Recipientes normalizados o cajas de recogida de abono para ensayos de distribución transversal	56
Figura 16. Relación de anchura de distribución y solapamiento.....	57
Figura 17. Relación de anchura de distribución y anchura de trabajo ideal	57
Figura 18. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de la máquina establecidas	58
Figura 19. Diagrama de distribución transversal presentados por fabricantes de abonadoras.....	59
Figura 20. Ejemplo de cálculo de la desviación acumulada [8][22], simulando las contribuciones entre las diferentes pasadas de ida y vuelta y alternando la distribución a derechas y a izquierdas.....	61

Figura 21. Gráfico de Coeficiente de Variación	62
Figura 22. Consola inicial	65
Figura 23. Consola principal.....	66
Figura 24. Distancia al eje de esparcimiento en la consola principal.....	66
Figura 25. Introducción de datos del ensayo de distribución transversal en la consola principal.....	67
Figura 26. Velocidad de desplazamiento.....	67
Figura 27. Diagrama de distribución transversal	68
Figura 28. Distribución para anchuras de trabajo de 9 metros	69
Figura 29. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil triangular	71
Figura 30. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil trapezoidal.....	72
Figura 31. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil de doble cresta.....	72
Figura 32. Datos iniciales Ejemplo 2. Perfil triangular en el borde.....	72
Figura 33. Introducción de datos Ejemplo 1	73
Figura 34. Diagrama de Distribución Transversal Ejemplo 1.....	74
Figura 35. Distribución para la anchura de trabajo de 9 m y curva acumulativa de la distribución con solapamiento.....	74
Figura 36. Gráfica de coeficiente de variación Ejemplo 1.....	75
Figura 37. Resumen de resultados Ejemplo 1.....	76
Figura 38. Introducción de datos para el bordeo del Ejemplo 2.....	77
Figura 39. Diagrama de distribución transversal para el bordeo del Ejemplo 2.....	78
Figura 40. Resultados del ensayo de distribución transversal en el borde.....	79
Figura 41. Curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 3 metros.....	82
Figura 42. Curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 15 metros.....	82

Figura 43. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 1 m	83
Figura 44. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 2 m	84
Figura 45. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 3 m	84
Figura 46. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 4 m	85
Figura 47. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 5 m	85
Figura 48. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 6 m	86
Figura 49. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 7 m	87
Figura 50. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 8 m	87
Figura 51. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 9 m	88
Figura 52. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 10 m	89
Figura 53. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 11 m	89
Figura 54. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 12 m	90
Figura 55. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 13 m	90
Figura 56. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 14 m	91
Figura 57. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 15 m	92
Figura 58. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 16 m	92

Figura 59. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 17 m.....	93
Figura 60. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 18 m.....	93
Figura 61. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 19 m.....	94
Figura 62. Pantalla principal con datos de un perfil trapezoidal.....	95
Figura 63. Pantalla principal con datos de un perfil trapezoidal.....	96
Figura 64. Perfil trapezoidal con anchura de trabajo de 15 m	96
Figura 65. Diagrama de distribución transversal de un perfil de doble cresta	97
Figura 66. Pantalla principal con datos de un perfil de doble cresta.....	98
Figura 67. Perfil trapezoidal con anchura de trabajo de 15 m	98
Figura 68. Perfil trapezoidal con anchura de trabajo de 7 m	99

ÍNDICE DE FIGURAS del ANEXO 1

Figura A1. Consola inicial	107
Figura A2. Consola principal de introducción de datos y tabla de resultados.....	108
Figura A3. Consola principal con menú de ayuda sobre distancias al eje de esparcimiento	108
Figura A4. Consola principal con menú de ayuda para introducir datos de las pesadas	109
Figura A5. Diagrama de distribución transversal de la máquina abonadora	109
Figura A6. Diagrama de distribución transversa de la máquina abonadora con menú de ayuda	110
Figura A7. Consola principal con tabla de resultados.....	110
Figura A8. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 1 metro, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	111
Figura A9. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	111
Figura A10. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	112
Figura A11. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	112
Figura A12. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	113
Figura A13. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	113
Figura A14. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	114

Figura A15. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	114
Figura A16. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	115
Figura A17. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	115
Figura A18. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	116
Figura A19. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	116
Figura A20. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	117
Figura A21. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	117
Figura A22. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	118
Figura A23. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	118
Figura A24. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	119
Figura A25. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	119
Figura A26. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 19 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta	120

Figura A27. Pantalla principal con datos y resultados de un perfil trapezoidal.....	120
Figura A28. Diagrama de distribución transversal para un perfil trapezoidal.....	121
Figura A29. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 1 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	121
Figura A30. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	122
Figura A31. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	122
Figura A32. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	123
Figura A33. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	123
Figura A34. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	124
Figura A35. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	124
Figura A36. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	125
Figura A37. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	125
Figura A38. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	126
Figura A39. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de	

abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	126
Figura A40. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	127
Figura A41. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	127
Figura A42. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	128
Figura A43. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	128
Figura A44. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	129
Figura A45. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	129
Figura A46. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	130
Figura A47. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 19 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	130
Figura A48. Pantalla principal del ensayo de distribución transversal del perfil de doble cresta.....	131
Figura A49. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta	131

- Figura A50. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 1 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 132
- Figura A51. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 132
- Figura A52. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 133
- Figura A53. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 133
- Figura A54. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 134
- Figura A55. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 134
- Figura A56. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 135
- Figura A57. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 135
- Figura A58. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 136
- Figura A59. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 136
- Figura A60. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta..... 137

Figura A61. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	137
Figura A62. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	138
Figura A63. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	138
Figura A64. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	139
Figura A65. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	139
Figura A66. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	140
Figura A67. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	140
Figura A68. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 19 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.....	141
Figura A69. Pantalla principal para introducir los datos del ensayo en el borde	141
Figura A70. Diagrama de distribución transversal para el ejemplo del bordeo.....	142
Figura A71. Pantalla de resultados del bordeo a la derecha	142

ÍNDICE DE TABLAS de la MEMORIA

Tabla 1. Resumen de maquinaria inscrita en el ROMA (años 2015 y 2016)	17
Tabla 2. Factores que afectan a la uniformidad de distribución.....	25
Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de diversos tipos de abonadoras	43
Tabla 4. Valores de uniformidad para Ensayos de laboratorio	45
Tabla 5. Propiedades físicas del material de ensayo	55

MEMORIA

MEMORIA TÉCNICA

1. Antecedentes y objeto del estudio

Se redacta la presente memoria con objeto de desarrollar un programa informático de cálculo para comprender y explicar de manera didáctica cómo deben ser las curvas de distribución de abonado de las máquinas abonadoras y su relación con la dosis de abono aplicada.

Los cálculos se harán cumpliendo con las normativas UNE-EN 13739-1:2012 “Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 1: Requisitos” [1], y UNE-EN 13739-2:2012 “Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 2: Métodos de ensayo” [2].

El programa de cálculo desarrollado, además estudiará las irregularidades en la distribución, para poder estimar la distancia óptima de trabajo de la máquina.

Aprovechando las instalaciones de la Estación de Ensayo y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia, EECAS, y su labor, conocimientos y experiencia en materia de ensayos de abonadoras, se ha considerado interesante elaborar este trabajo.

Es indispensable para ello, conocer las características que intervienen en el proceso sobre la máquina, su regulación, ajuste y control, los tipos de abonos comúnmente empleados, y la forma de uso que hará el usuario. Cuestiones de vital importancia y relacionadas entre sí que llevarán a distribuciones homogéneas y de mayor eficiencia en el uso del abonado, así como menor contaminación medioambiental, evitando el aporte de abono fuera del borde de la parcela y/o a cauces cercanos.

Se desarrolla este tema al ver que en la actualidad en materia de máquinas abonadoras se tiende a [3]:

- Elaboración de manuales por los fabricantes en los que reflejan los diagramas de distribución para distintas dosis, abonos y anchura de trabajo.
- Regulación de la máquina según la granulometría del abono.
- En definitiva, mayor complejidad en sistemas de abonados y maquinaria cada vez más compleja de manejar eficientemente, puesto que el agricultor necesita de tiempo de aprendizaje y adaptación para el uso de tales máquinas.

Estas tendencias en máquinas abonadoras, hacen necesario e imprescindible conocer el funcionamiento de las mismas para conseguir objetivos claves, como la correcta utilización y aplicación del abonado en campo en dosis y caudal de abono deseado, lo cual no es tarea fácil para el agricultor hoy en día, pues son muchas las variables a considerar.

Nos llama la atención, la falta o carencia de información en el mercado de las abonadoras en general, y no digamos en particular atendiendo a cada tipo de abonadora. En el Registro Oficial de Maquinaria Agraria, ROMA [4], encontramos datos sobre maquinaria muy generalistas, como reflejamos en la Tabla 1. No se pueden conocer con exactitud las

tendencias del parque de abonadoras ni los tipos más utilizados, por carencia de datos oficiales.

Tabla 1. Resumen de maquinaria inscrita en el ROMA (años 2015 y 2016).

Maquinaria inscrita en el ROMA			
	Periodo: Mayo - Mayo		
Tipo de Máquina	2016	2015	%
Tractores	967	793	21,94
Maquinaria automotriz	185	190	-2,63
de recolección	112	106	5,66
equipos de carga	48	54	-11,11
tractocarros	3	2	50
motocultores	16	25	-28
otras	4	3	33,33
Maquinaria arrastrada o suspendida	1600	1338	19,58
De preparación y trabajo del suelo	150	163	-7,98
Equipos de siembra y plantación	41	34	20,59
Equipos de tratamientos	911	547	66,54
Equipos para fertilización y agua	151	153	-1,31
Equipos recolección	252	256	-1,56
Otras máquinas	95	185	-48,65
Remolques	542	551	-1,63
Otras máquinas	5	11	-54,55
Total	3299	2883	14,43

Fuente: Registro Oficial de Maquinaria Agraria, ROMA [4].

En cuanto al contenido de la memoria que se presenta, lo distribuimos de la siguiente manera:

En los apartados 2 “Necesidades de agentes intervinientes”, 3 “Problemática en el abonado”, 4 “La Estación de Ensayo y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia (EECAS)”, 5 “Normativa aplicable” y 6 “Descripción de las máquinas abonadoras y variables de cálculo”, se expondrán brevemente los principales factores a considerar para entender el complejo tema que nos ocupa. Son las nociones básicas prácticas y teóricas necesarias que complementan el desarrollo del programa de cálculo y que nos ayudarán a interpretar mejor los resultados que con él se obtengan.

En el apartado 7 “Descripción del proceso de cálculo”, se explicarán las fórmulas aplicadas según las normativas UNE-EN 13739-1:2012 [1] y UNE-EN 13739-2:2012 [2], relativas a máquinas abonadoras y ensayos, y que se han tenido en cuenta para el cálculo mediante el programa.

En el apartado 8 “Programa o modelo de cálculo de distribución de abonados”, se detallarán las funcionalidades del programa desarrollado. En el apartado 9 “Análisis de resultados”, se

explicarán mediante ejemplos los cálculos obtenidos con el programa desarrollado, interpretando sus resultados.

El apartado 10 “Conclusiones”, será a modo de síntesis explicativo del conjunto de la memoria.

Para finalizar, se presenta el apartado 11 “Referencias”, con toda la bibliografía consultada, sobre la que se apoya la base teórica y práctica de la presente memoria, y que se recomienda consultar para ampliar cualquier información relativa a este trabajo.

2. Necesidades de agentes intervinientes

Los agentes interesados en el tema que ocupa el presente trabajo son:

- El **agricultor**, usuario de la máquina.
- El **fabricante de la máquina**, que debe facilitar la documentación relativa a la máquina en el manual de uso para que el agricultor sepa cómo regular la abonadora según el tipo de fertilizante, dosis empleada, velocidad, y en definitiva determinar cuál sería la anchura de trabajo óptima para obtener distribuciones homogéneas del abonado.
- El **técnico o ingeniero**, que será el encargado de asesorar, transmitir e informar, tanto a agricultores como a fabricantes, de las técnicas más adecuadas para el uso eficiente y correcto aprovechamiento de la abonadora, las metodologías de ensayos y pruebas a realizar para asegurar una correcta construcción y calibración de equipos de abonado.

2.1. Agricultor

La necesidad principal del agricultor es mejorar la distribución del abonado que realiza con su máquina sobre los cultivos pues, una mala distribución en ocasiones se refleja en las cosechas, pudiéndose observar bandas más o menos amarillentas en los cultivos, generalmente debidas al mal reparto del abono [5].

Es importante asegurar que la dosis de aplicación se haya repartido equitativamente en el conjunto de la parcela [6]. Esto implica que en cualquier punto haya la misma cantidad de abono, es decir, la misma dosis.

También existe cierta inquietud e incertidumbre ante la compra de maquinaria nueva [6], que precisa sustituir o bien por el deterioro o por mejorar sus prestaciones. Necesita tolvas de más capacidad o anchuras de trabajo mayores, y en ocasiones tienen el inconveniente de tener que decidir qué máquina comprar y aprender a regularla para conseguir aplicar la dosis deseada sobre su cultivo [5].

Buscan máquinas abonadoras que les den la máxima capacidad de trabajo, realizado con la calidad adecuada, y esto no es fácil diferenciar y conseguir.

Es necesario comparar distintas abonadoras, su anchura de trabajo y calidad de distribución, y para ello se hacen necesarios la elaboración de Ensayos de Organismos Oficiales o Entidades imparciales que hayan ensayado previamente las máquinas y les aporten cierta fiabilidad.

2.2. Fabricante de maquinaria

Los fabricantes deberían elaborar el manual de uso de la máquina, y para ello deben ensayarla. Es vital asegurar su correcto funcionamiento en las condiciones establecidas para dar a conocer la forma de regulación, ajuste y la capacidad de trabajo que tienen en cada situación para las que están construidas, de cara a facilitar la elección ante la compra y adquisición de la misma.

Si el fabricante aporta un buen manual, el agricultor regulará la abonadora con facilidad, de manera cómoda, rápida y fiable [7], facilitándole el conocimiento sobre su máquina.

Suele ser habitual que los fabricantes que presentan ensayos sobre el comportamiento de la abonadora en la distribución también cuiden otros aspectos del diseño y fabricación, lo que frecuentemente culmina en un correcto funcionamiento de la máquina [6]. Normalmente dan fiabilidad, mejoran su capacidad de dar servicio en problemas puntuales y aseguran un buen comportamiento de la abonadora en el borde tanto desde como hacia el borde.

2.3 Técnico o ingeniero

Para poder comparar entre las diferentes anchuras de trabajo de las máquinas y la regularidad en la distribución que presentan, los técnicos deben saber interpretar los informes de los ensayos y los datos del manual de uso de la máquina facilitados por el fabricante [5], a fin de poder asesorar e informar a los agricultores en la forma de uso de la máquina y su regulación o ajuste para distintos tipos de abonos empleados.

3. Problemática en el abonado

A la hora de aplicar el abono en campo se presentan inconvenientes de diversa índole. Por un lado los debidos a la naturaleza y propiedades del abono, que afectan a la uniformidad de distribución en la parcela, por otro lado los debidos a su restricciones de uso por temas medioambientales, que hace ajustar las dosis y caudal de aporte, y por último los inconvenientes económicos de no abonar lo suficiente.

- Por su naturaleza y propiedades, es importante destacar que los tipos de abonos existentes en el mercado son muy variados en cuanto a su presentación y características físicas y químicas, lo que implica que una máquina abonadora no repartirá por igual todos los tipos de abonos. Cada máquina debe regularse para trabajar con el abono específico que se va a aplicar en cada momento, como veremos en las siguientes secciones.
- Por temas medioambientales, sobre todo en abonados nitrogenados, es muy importante ajustar el aporte de abonos en el suelo para evitar pérdidas y contaminación del medio, (lixiviación, emisiones, disoluciones en cauces de agua, etc.), por lo que se recomienda hacer varias aplicaciones de menor dosis en épocas de necesidad para los cultivos.
- Por temas económicos, ha sido comúnmente aceptado entre los agricultores que “para recoger hay que tirar” o “mejor que sobre que no que falte”, lo que ha llevado a abonar en exceso y en ocasiones sin sentido práctico. Actualmente se tiende a optimizar el aporte de abono, debido al avance técnico de las máquinas y a una mayor preocupación por ajustar las dosis y las pasadas, lo que implica un aprendizaje técnico del agricultor sobre el uso de su máquina.

Aunque el nitrógeno ha sido determinante en el incremento de las producciones agrarias en los últimos cincuenta años, cuando no se utiliza de manera adecuada, puede tener efectos negativos sobre el medio ambiente.

La normativa medioambiental cada vez más, limita la aplicación de abonados en dosis altas [8], debiéndose ajustar los aportes a las necesidades del cultivo. Hay que estimar las dosis óptimas de abono a utilizar tanto en nitrogenados como en minerales u orgánicos.

Los problemas más importantes que puede generar el nitrógeno y citan diversos autores recogidos en la bibliografía [9]-[12], son:

- **Lixiviación:** debido a su movilidad, el nitrógeno nítrico puede ser arrastrado a capas profundas del suelo y pasar a las aguas subterráneas.

Factores tales como la textura del suelo, el manejo del agua de riego, la fertilización orgánica, el momento y la cantidad de fertilizante mineral que se aplique, las prácticas culturales, los tipos de cultivo, etc., influyen en que el proceso de lixiviación sea mayor o menor.

La aplicación de la dosis y forma adecuada de nitrógeno a los cultivos, en el momento en que éstos lo necesitan, minimizan las pérdidas por lavado. Sólo cuando la dosis de nitrógeno que se utiliza excede las necesidades de los cultivos, aumenta el riesgo de lavado.

- **Volatilización:** la Agencia Europea de Medioambiente estima que el 90% del amoníaco emitido a la atmósfera es de origen agrario, siendo la ganadería la responsable del 74% de estas emisiones.

Las pérdidas por volatilización son muy variables según los tipos de fertilizantes que se empleen. Los abonos amoniacales y la urea, cuyas pérdidas por volatilización pueden ser más elevadas, deben aplicarse adecuadamente para minimizarlas. Para la urea pueden seguirse los consejos que se indican en el Código de Buenas Prácticas Agrarias para la Urea [13].

La volatilización se ve favorecida en suelos con pH elevado, alta temperatura, fuerte velocidad del viento, etc. Por el contrario, disminuye en suelos con gran capacidad de infiltración, alto contenido en arcilla y carbono orgánico, aplicando riegos ligeros tras el abonado, incorporando el fertilizante al suelo, etc.

- **Emisiones de óxidos de nitrógeno:** se estima que los fertilizantes son responsables del 17% de las emisiones de N_2O antropogénico. La desnitrificación y la nitrificación, en menor medida, provocan las emisiones de N_2O , y la desnitrificación se ve favorecida por la cantidad de nitrógeno presente en el suelo, el carbono orgánico y las condiciones anaeróbicas.

El agricultor, puede influir en la reducción de las emisiones, con un buen manejo de las labores y procurando mantener una buena estructura y un contenido adecuado en materia orgánica.

- **Fertilización nitrogenada:** pueden seguirse una serie de pautas y recomendaciones de utilización para los fertilizantes nitrogenados, en los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias para el Nitrógeno [14], en base a la gran experiencia acumulada por los fabricantes de fertilizantes europeos en cumplimiento de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 91/676/EEC, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura [15].

Por el conjunto de estos factores, consideramos importante analizar y comprender en detalle, la correcta distribución del abono, y muy fundamentalmente en los bordes de la parcela.

3.1. Distribuciones heterogéneas vs. homogéneas

El que la distribución del abono sea homogénea o no depende en gran medida del tipo de abono, si es sólido, líquido o gaseoso.

En sólidos influyen sus características físicas y químicas, pero también influye la máquina empleada en la distribución [12].

Se contemplan fundamentalmente dos tipos de uniformidad en la distribución, la longitudinal en sentido del avance del tractor, y la distribución transversal o perpendicular al sentido de avance [6].

Si la distribución transversal no es uniforme, pueden darse bandas con más o menos cantidad de abono, aunque es la acumulación de errores en ambas distribuciones la que proporciona el valor del error al hacer la distribución. Estos errores, como se aprecia en la

Figura 1, son visibles en campo. Mientras que en la fotografía de la derecha la distribución puede ser más homogénea, en las otras dos fotografías se pueden apreciar las bandas amarillentas en el cultivo, lo que indica una distribución más heterogénea del fertilizante.

En cuanto a la uniformidad de distribución transversal, tenemos que decir que es, en principio, la menos dependiente de las condiciones externas, y por tanto, la más fácil de garantizar. Ésta depende principalmente de las características físicas del abono que afectan a la capacidad de salida del mismo desde el fondo de la tolva (fluidez y densidad aparente) y del sistema de regulación de la dosis.

Respecto a este último, la diferencia entre un sistema de regulación por gravedad y un sistema de regulación forzada o volumétrico, es que, mientras que en los últimos el caudal de abono que se extrae de la máquina se modifica en función de la velocidad de avance, en un equipo con sistema de regulación por gravedad, el flujo de abono que alimenta los elementos distribuidores se mantiene constante, lo que obliga a fijar una velocidad de avance para garantizar la uniformidad.

Figura 1. Errores en la distribución de abonado: bandas en cultivos.



Fuente: J. M. Nogales, R. Araújo. Distribuição uniforme de adubo utilizando distribuidores centrífugos, 2014 [16].

Los errores en la distribución transversal fundamentalmente se evitan manteniendo constante la velocidad de avance, la anchura de trabajo y teniendo una granulometría uniforme del abonado entre otros [12].

En capítulos posteriores, explicaremos la importancia de la regulación de la máquina, la influencia de la anchura de trabajo y el solapamiento entre pasadas y las propiedades físicas del fertilizante que se utiliza.

Por el contrario, la uniformidad de distribución longitudinal es más difícil de conseguir y depende de muchos más factores que la anterior.

Uno de los factores que más afecta a la distribución longitudinal, en sentido de avance del tractor, normalmente suele ser la irregularidad del terreno y los desniveles producidos por los surcos de labor.

Cuando avanza el tractor durante el abonado, suele hacerlo en sentido del surco o a contra surco y como la parcela no es un terreno llano, el tractor oscilará verticalmente dando pequeños saltos que inevitablemente influirán en la distribución longitudinal del fertilizante.

Como la distribución longitudinal depende de factores propios y específicos del terreno, intrínsecos a cada parcela, condiciones del medio y labor, normalmente los ensayos de laboratorio se centran en distribuciones transversales, que se harán sobre terreno llano.

Por tanto, de aquí en adelante, cuando hablemos de ensayos de distribución y uniformidad en la distribución de abonado, nos estaremos refiriendo a distribuciones transversales, perpendiculares al sentido de avance del tractor.

En general se puede decir que los factores determinantes para conseguir distribuciones homogéneas en toda la parcela son los siguientes:

- La anchura de trabajo e influencia entre los solapes de pasadas contiguas.
- La regulación de la abonadora y su sistema de distribución.
- Las características físicas, tipos y propiedades del abono.

Destacar que los dos últimos (regulación de la abonadora y características del abono), determinan a igualdad de condiciones, la forma del diagrama de distribución de la abonadora.

Incidimos en que los fabricantes deben definir y asegurar mediante ensayos que se mantiene el diagrama de distribución de su máquina para las condiciones determinadas (tipo y características de abono y sistema de regulación) para que el agricultor leyendo el manual de la abonadora desarrollado por el fabricante, pueda obtener la misma distribución en campo.

Este diagrama de distribución de la abonadora es la representación gráfica de la cantidad de abono distribuida a lo largo de una línea perpendicular al avance de la máquina.

Para obtener distribuciones homogéneas, lo ideal es conseguir diagramas de distribución simétricos de perfiles de distribución triangular o trapezoidal, así eligiendo una anchura de trabajo adecuada al mismo permitirán obtener una buena uniformidad en toda la parcela, como más a delante explicaremos.

En la Tabla 2, se presentan los principales factores y aspectos a tener en cuenta para evitar distribuciones heterogéneas en la parcela. Técnicamente se detallarán estos aspectos en el apartado 6 “Descripción de máquinas abonadoras y variables de cálculo”, donde explicaremos la tipología del abono comúnmente empleado y la regulación y tipos de abonadoras.

Tabla 2. Factores que afectan a la uniformidad de distribución.

Sentido	Factores	Aspectos
Uniformidad de Distribución Longitudinal (En sentido del avance del tractor)	Características del abono	Fluidez Densidad aparente
	Sistema de regulación de la dosis	Por gravedad Por extracción forzada Volumétrica
	Factores ambientales y externos	Irregularidad del terreno Surcos de labor Velocidad del viento Tipo de terreno
Uniformidad de Distribución Transversal (En sentido perpendicular al avance del tractor)	Características del abono	Granulometría Densidad real Resistencia aerodinámica
	Características del sistema de distribución	Disco centrífugo Pendular Neumático
	Regulación de la máquina	Dosis Anchura de trabajo Altura e inclinación
	Factores ambientales	Irregularidad del terreno Velocidad del viento

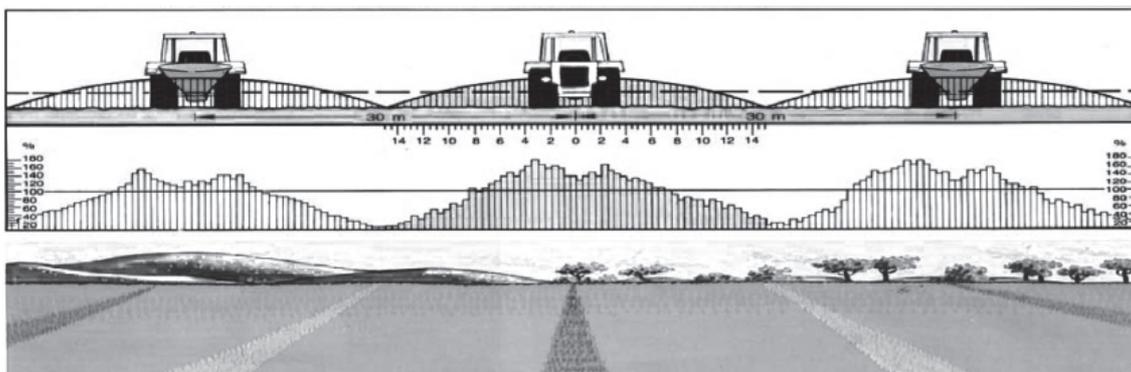
Fuente: E. Gil, La uniformidad en la distribución del abono, 2000 [17].

En definitiva, podemos simplificar los problemas de distribución del abono a la elección de una correcta anchura de trabajo.

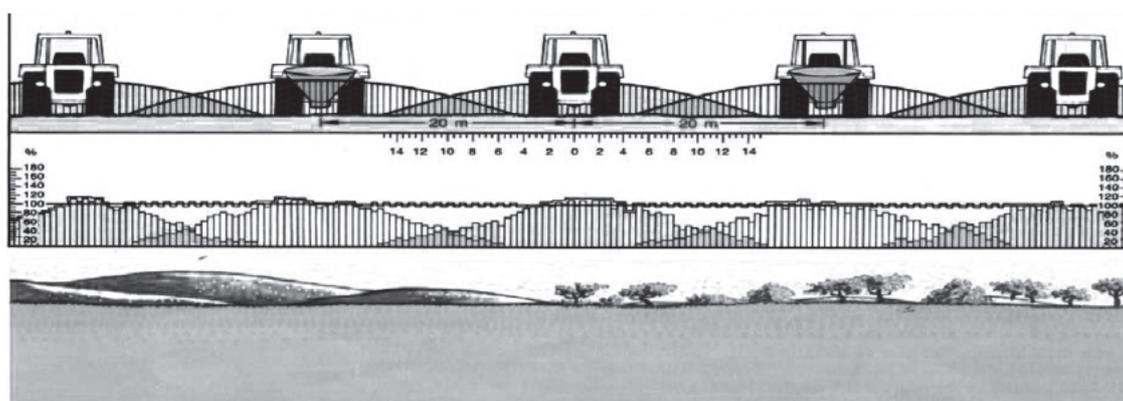
Como se muestra en la Figura 2, la anchura de trabajo debe ser aquella que asegure un correcto solapamiento entre pasadas, no pudiendo ser igual a la anchura de distribución de la máquina porque se dejarían zonas con menor dosis de abono [12].

Figura 2. Distintas anchuras de trabajo.

(a). Anchura de trabajo igual a anchura de espaciamiento: mala distribución.



(b). Anchura de trabajo bien elegida: buena distribución.



Fuente: AIMCRA, Evaluación de abonadoras, 2009 [11].

3.2. Características que afectan a la uniformidad de distribución de los abonos

Según el tipo de abonadora, se puede distribuir el abono de diferente manera:

- 1º. Caída libre desde la tolva al suelo.
 - Buena uniformidad pero reducidas anchuras de trabajo.
- 2º. Proyección del abono por fuerza centrífuga.
 - Grandes anchuras de trabajo.
 - Uniformidad dependiente del tipo de abono y de la regulación de la máquina.
- 3º. Transporte por corriente de aire para liberar el abono cerca del suelo.

Para conseguir uniformidad en la distribución, hay tener en cuenta la regulación en dosis y caudal, así como la anchura de trabajo que se elija según el perfil de abonado y el solapamiento entre pasadas.

Cada abonadora tiene su propio diagrama de distribución transversal, entendiéndose como tal la representación gráfica de la cantidad de abono distribuida a lo largo de una línea perpendicular al avance de la máquina, como hemos mencionado anteriormente.

Lo ideal es que este diagrama sea de tipo triangular o de tipo trapezoidal, dependiendo del tipo de abonadora, aunque en la práctica se obtienen perfiles de distribución intermedios.

Es importante destacar que, un diagrama de distribución simétrico y una anchura de trabajo adecuada al mismo permitirán, junto con la utilización de un abono de granulometría más o menos homogénea, la obtención de una curva de distribución acumulada equilibrada, una vez realizado el solapamiento correspondiente [12].

De todo ello, se deduce que obtener con la máquina abonadora diagramas de distribución simétricos para una adecuada anchura de trabajo y las características físicas y granulometría del abono, serán los factores determinantes en la uniformidad del abonado. Para ello, hay que regular la abonadora en dosis y caudal adecuado, como explicamos a continuación.

3.2.1. Regulación de las abonadoras

Numerosos expertos nos señalan que la correcta regulación, conocimiento y uso de la abonadora aumentan la eficacia del abonado para aplicar una dosis precisa [18][19], de forma que las abonadoras deben regularse en función del tipo de abono a distribuir y su granulometría.

Hay varios factores que afectan a la distribución del abono y que deben controlarse, pero sobre todo hay que tener en cuenta las condiciones de trabajo que indica el fabricante de la abonadora en el manual del usuario. Cada máquina como mejor funciona es de acuerdo a sus propias recomendaciones.

Para regular la abonadora, básicamente se deben tener en cuenta:

- 1º. **Revoluciones de la toma de fuerza.** La mayoría de los fabricantes de abonadoras, después de diversos ensayos y pruebas, recomiendan que se trabaje a 540 rpm, pues es a estas revoluciones a las que se alcanzan las mayores anchuras de trabajo sin forzar la máquina. Menos rpm implica que el abono llega a menos distancia y la distribución es peor.
- 2º. **Altura de la máquina.** A mayores alturas sobre el suelo se consiguen mayores anchuras de trabajo.
- 3º. **Paletas en los discos,** controlar el desgaste, la posición, que estén en perfecto estado, dado que un mal estado implica una irregular distribución.
- 4º. **Puntos de salida del abono** de la tolva, escalas, índices, aperturas y cierres. Fundamental para la buena aplicación ya que un mal cierre o apertura de las salidas, por ejemplo, hace que no sirva para nada todo lo demás.

La calibración de una abonadora debe conseguir que la dosis de abonado sea la deseada, pero además, sobre todo cuando se utilizan abonadoras de proyección, se debe garantizar la distribución uniforme tanto en sentido longitudinal, como transversal. Esto es que la cantidad de abono aportado en cada punto de la parcela debe ser similar.

La elección de la anchura de trabajo adecuada para cada equipo se convierte en el punto clave para el éxito de la operación [17]. Los distribuidores de abono de tipo centrífugo son de anchura de trabajo fija y además carecen de sistemas que permitan el marcaje y la

fijación de la anchura de trabajo, por lo que ésta se debe elegir para conseguir una aplicación uniforme.

En general los libros de instrucciones de abonadoras, presentan tablas de recomendación de anchuras de trabajo óptimas según las características y tipos de abonos.

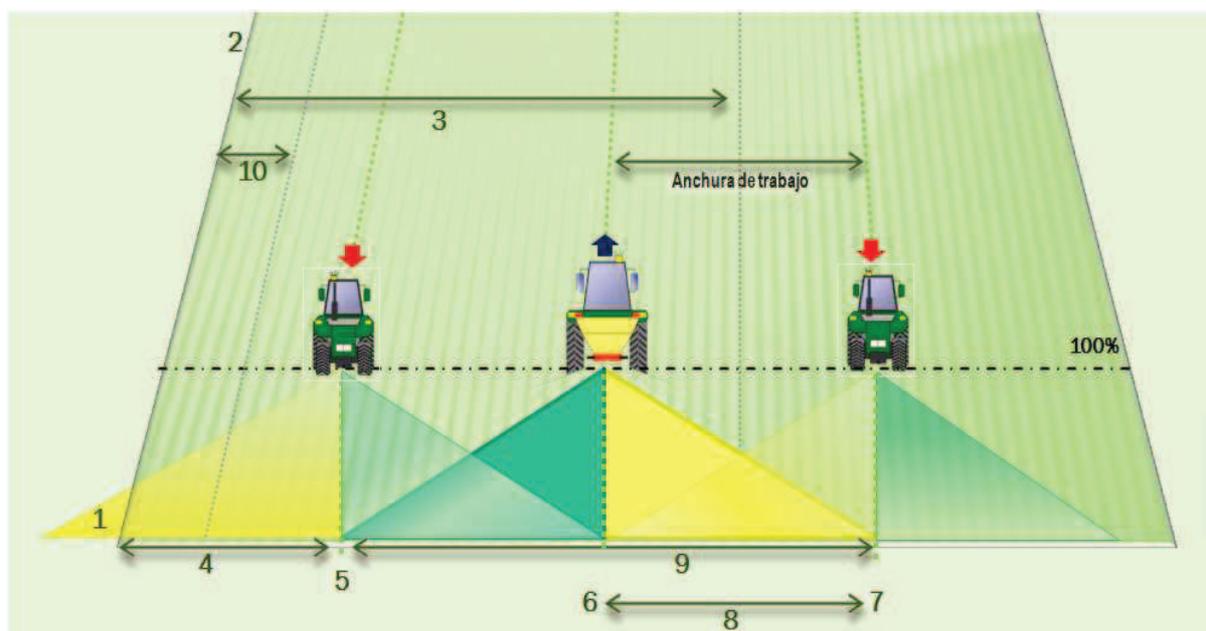
Para determinar la anchura óptima se simulan pasadas a diferentes anchuras de trabajo para obtener el coeficiente de variación de la curva acumulada, partiendo de la distribución unitaria determinada experimentalmente.

3.2.2. Solapamiento entre pasadas

El abono que esparce la máquina sobre el cultivo en una pasada de tractor, presenta distribuciones irregulares, ya que la máquina suele tirar más abono en el medio que en los extremos, dando lo que comúnmente se denomina perfil de abonado. Según sea este perfil, es necesario calcular el solape entre pasadas consecutivas para aportar dosis homogéneas en la parcela.

Según la norma UNE-EN 13739-2:2012 [2], representamos en la Figura 3 el solapamiento entre las distintas pasadas de las máquinas y su importancia en la dosis total de aplicación para que el reparto sea homogéneo.

Figura 3. Distribución en el límite y solapamiento entre varias pasadas de tractor.



Fuente: Elaboración propia en base a la Norma UNE-EN 13739-2:2012 [2].

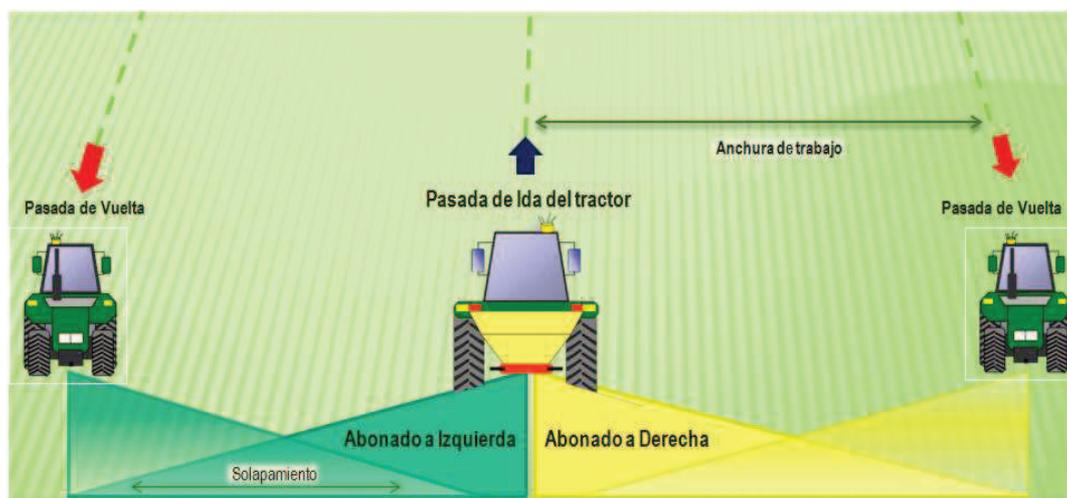
Podemos entender que el solapamiento entre distintas pasadas debe ser tal, que la dosis aportada en cada pasada sea la mitad de lo que tira la máquina en el medio de la pasada, para que la distribución sea más o menos homogénea. El problema se va a presentar en el borde de la parcela donde podemos tener una franja que reciba menos dosis de abonado.

En la Figura 3 se muestran los siguientes conceptos que se definen en la norma como:

1. **Límite de distribución.** Línea medida desde el límite más allá del cual no se encuentra fertilizante de forma continua.
2. **Límite.** Línea que rodea el área donde se va a aplicar el fertilizante.
3. **Anchura de transición.** Distancia comprendida desde el límite hasta el centro entre la primera y segunda línea de pasada.
4. **Distancia al límite.** Distancia seleccionada desde el límite hasta la línea de pasada del borde.
5. **Línea de pasada del borde.**
6. **Primera línea de pasada** para distribución en el terreno y sucesivas.
7. **Sucesivas líneas de pasada** para distribución en el terreno.
8. **Anchura de trabajo.** Distancia comprendida entre dos líneas de pasada de la máquina adyacentes.
9. **Anchura de distribución.** Distancia comprendida entre el extremo derecho y el extremo izquierdo de un modelo de distribución simple.
10. **Anchura del borde.** Primeros cinco metros del área en el que se aplica el fertilizante contados desde el límite.

El solape entre pasadas está muy ligado al tipo de distribución que haga la máquina. En la Figura 4, desarrollada para nuestro programa de cálculo, mostramos el solapamiento en perfiles triangulares.

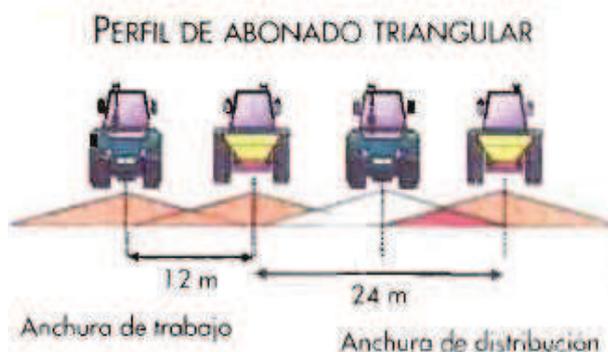
Figura 4. Anchura de trabajo y solapamiento entre varias pasadas del tractor.



Fuente: Elaboración propia.

En los diagramas de distribución triangular la característica principal de las distribuciones es que cuando se superponen varias pasadas consecutivas, todos los puntos de la parcela reciben abono de ambas pasadas, existiendo solapamiento completo al 100%. Así la distancia entre pasadas es la mitad de la anchura de distribución [17][20].

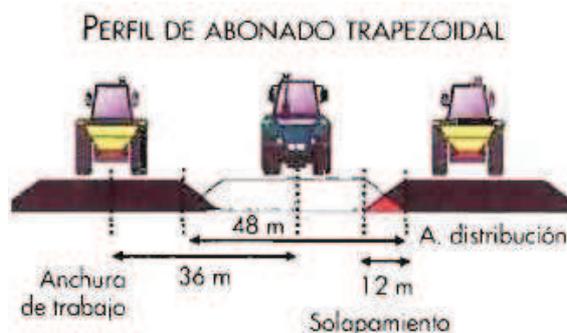
Figura 5. En distribución triangular el solape coincide con la anchura de trabajo.



Fuente: E. Gil, La uniformidad en la distribución del abono, 2000 [17].

En diagramas trapezoidales, el solapamiento es menor que en triangulares, por lo que es posible trabajar a distancias mayores, aunque la posibilidad de error aumenta en este perfil.

Figura 6. En diagrama trapezoidal el solapamiento es mucho menor.



Fuente: E. Gil, La uniformidad en la distribución del abono, 2000 [17].

Comparando las Figuras 5 y 6, vemos cómo aumenta la anchura de trabajo para perfiles trapezoidales, manteniendo la distancia de solapamiento entre pasadas.

3.2.3. Abonado en los bordes de parcela

Como hemos visto anteriormente, en los bordes de las parcelas es difícil hacer una correcta aplicación del abonado. Las máquinas, o no aportan lo suficiente en los bordes, o para aplicar la dosis necesaria para el cultivo el agricultor tiene que aplicar abono fuera de la parcela, lo que no interesa económicamente, pero sobre todo medioambientalmente.

En cualquiera de los tipos de agricultura actuales, la distribución del abono implica interés económico y aumento o disminución de la producción, pero el factor más olvidado por el agricultor es la contaminación ambiental. Por la normativa europea en esta materia, se deben evitar proyecciones de abono sobre corrientes de agua y posibles cauces, o vigilar que no se aporte fuera de la parcela una cantidad límite de abono, pero eso no es fácil de aceptar en realidad en el campo.

Hasta el día de hoy las deficientes distribuciones en los bordes, que no se completan manualmente en muchos casos, se han procurado subsanar proyectando abono fuera de la parcela.

Son numerosos los expertos que constatan este tema [18][21]. Para que el abono distribuido sea suficiente en los bordes de la parcela sin mecanismos ni labores específicas a mayores, hay que aproximarse más al borde y en efecto tirar abono fuera. Generalmente, para un agricultor compensa más tirar abono fuera de la parcela a pesar de la pérdida económica que perder producción por un abonado deficiente [18][21].

En parcelas muy irregulares y cultivos de elevadas producciones y rentabilidad, como los de regadío, el correcto abonado en los bordes tiene alta repercusión en las producciones. Las abonadoras pendulares, controlan bien el comportamiento de la distribución próxima al borde, mejor que las abonadoras de proyección de un solo disco [21], pero se tiende al uso de abonadoras de proyección de doble disco, pensando que al cerrar uno de ellos, el del lado del borde, se va a asegurar la correcta distribución y no es así como más adelante veremos.

Se deduce que la cantidad de abono proyectada en forma triangular, en el borde tiene una mayor anchura con dosis insuficientes que en distribuciones trapezoidales.

En cuanto a tipos de abonadoras [18][21][22], sabemos que las abonadoras pendulares frecuentemente generan distribuciones con forma trapezoidal por su método de aplicación, y permiten aproximarse mejor al borde, realizando distribuciones menos irregulares en menor superficie. Mientras que las abonadoras centrífugas de un solo disco, se han regulado y regulan de forma que originan una distribución asimétrica de menor anchura útil de trabajo en relación al eje central de desplazamientos del tractor, por el lado que habitualmente se hace la orilla y así se controla mejor la distancia entre la trayectoria de avance y el límite de la parcela, e incluso con parcelas mal configuradas. Es habitual trabajar entonces con abonadora en redondo, facilitándose el trabajo de ida y vuelta y evitar irregularidades importantes [21].

Con abonadoras de doble disco se mejoran las prestaciones en el borde. Es muy común cerrar el disco del lado del borde para no aplicar abono fuera, hecho que técnicamente por sí solo no asegura una correcta aplicación en el borde.

Los dispositivos empleados en el bordeo según la forma de bordear [21], pueden ser:

1. Hacia el borde: Aquellos que se utilizan para bordear desde la proximidad al límite de la parcela. Con ellos se pretende, desplazar la abonadora y mantener la distancia predeterminada al límite, condicionar la trayectoria del abono y obtener una buena regularidad en la distribución, y en definitiva, conseguir la dosis deseada hasta el borde.

La equidistancia entre el borde y el eje de desplazamiento a mantener suele estar en función de la anchura de la sembradora, pulverizador o el total de la anchura útil de trabajo de la abonadora, y lo frecuente, utilizar la mitad, aunque se puede utilizar cualquier anchura.

Estos dispositivos tienen buen comportamiento cuando se tiene bien referenciado por donde se lleva la abonadora para mantener la distancia al borde. Los límites de las parcelas serán homogéneos y rectos de buenas dimensiones.

Suelen emplearse paletas, modificación del punto de alimentación del abono sobre el disco, inclinación transversal de la máquina y distribuidores de trayectoria forzada.

2. Desde el borde: Los que distribuyen bordeando desde el límite de la parcela o muy próximo al borde (de 2 a 5 metros). Son de uso muy generalizado en abonadoras de dos discos, se adaptan mejor a las irregularidades de los bordes y se emplean con anchuras de trabajo grandes.

Se basan en la anulación de la alimentación y proyección de abono de una de los dos discos en el que colocan pantallas, distribuidores de proyección forzada o plotter.

Hay usuarios de abonadoras que aún teniendo mecanismo de bordeo, no los usan por considerarlos poco operativos, ya que en parcelas reducidas se tienen que bajar del tractor muchas veces para acoplar y desacoplar el dispositivo. En la actualidad estos dispositivos tienden a manejarse desde la cabina del conductor para mejorar su facilidad de manejo.

En cualquier caso los dispositivos de bordeo deben garantizar la dosis deseada por hectárea en la proximidad del borde. Para comprobar que el dispositivo de bordear tiene el comportamiento esperado, se deben obtener las gráficas de distribución, que suelen ser aportadas por el fabricante.

Es importante destacar que el abonado en el ancho de la vía en las máquinas de doble disco, al cerrar uno, suele ser insuficiente. Al bajar la cantidad de abono aportado en el centro, estas máquinas de doble disco, deberán disponer también de estos dispositivos de bordeo.

4. La Estación de Ensayo y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia (EECAS)

Buscando potenciar una aplicación más eficiente de los fertilizantes sólidos, y con objeto de estudiar, analizar y solucionar la problemática hasta ahora planteada en la presente memoria, se creó en el año 1991, la Estación de Ensayo y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia, EECAS.

Es única en España y actualmente está consolidada su actividad, ayudando en la mejora tecnológica de las abonadoras fabricadas en España en los últimos años. Además presenta demostrada necesidad para el sector, y es una herramienta docente y de investigación bastante potente.

Situada en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid), trata de adquirir y transmitir el conocimiento científico y técnico tanto a los estudiantes, como a los profesionales del sector, colaborando estrechamente con empresas fabricantes de maquinaria y de fertilizantes.

Actualmente trabajan en Convenio de Colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2011-2013 y 2008-2010), realizando ensayos de distintos modelos de abonadoras con diferentes marcas de fertilizantes, y cuyos resultados se pueden encontrar publicados en la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente sobre ensayos de abonadoras [23].

Estos convenios surgieron por los siguientes motivos:

- Interés común por la mejora de la calidad de los equipos utilizados en el sector agrario.
- Contribuir al ahorro y racionalidad de uso de los medios de producción agrícolas.
- Contribuir a la mejora de las rentas de los agricultores que optimizan el uso de las máquinas.
- Contribuir a la reducción de contaminación de aguas y emisiones de CO₂.
- Cumplir con el Plan de medidas urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia.

En la EECAS, actualmente dirigida por los expertos en mecanización y maquinaria agrícola y forestal J. M. Nogales y R. Araújo, además realizan ensayos con abonadoras de proyección para indicar tanto al agricultor como a fabricantes de maquinaria cómo distribuyen sus abonadoras, y en su caso, verificar o corregir problemas de comportamiento de la máquina en la distribución.

Destacar que el conocimiento obtenido de los ensayos de las máquinas, sirve para:

- Definir las características de las abonadoras de proyección y evaluar su comportamiento en la distribución de los abonos granulados más empleados en nuestro país, así como de nuevos fertilizantes que aparecen en el mercado.

- Transmitir y preparar a los Ingenieros y Técnicos de la Escuela de Ingenierías Agrarias de Palencia, como futuros profesionales en materia de optimización y uso eficiente de las máquinas, en un tema trascendental para mejorar los rendimientos de los cultivos como es el abonado.

Sin duda, es de gran interés conocer cómo se realizan los ensayos así como la metodología de cálculo, pues nos prepara para introducirnos en el futuro de la agricultura: la agricultura de precisión.

- Por la parte de los agricultores, es habitual, que no conozcan la correcta forma de regular su máquina, o bien porque ésta es nueva, o porque no están familiarizados con los nuevos productos fertilizantes que emplean, y a veces suelen achacar los problemas al fabricante. En la EECAS, se trata de informar al agricultor, asesorarle e indicarle la anchura óptima de trabajo de la máquina y su regulación óptima.

No debemos olvidar que según la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 91/676/EEC, se recomienda procurar que las máquinas distribuidoras y enterradoras de abonos estén bien reguladas y hayan sido sometidas a un control previo a su comercialización en un centro especializado, a fin de asegurar unas prestaciones mínimas de uniformidad de la aplicación de fertilizantes [15].

Los ensayos además, son indispensables para:

- Garantizar que las abonadoras distribuyan correctamente, al menos para los abonos y dosis a utilizar, datos que debe aportar el fabricante, aunque en la práctica no siempre es así.

Algunos fabricantes ya muestran el resumen de las prestaciones de su abonadora mediante el adhesivo que colocan en la propia abonadora pero suele pasar que estos adhesivos se borran debido al uso y desgaste de la máquina.

- Para seleccionar aquellos equipos que son susceptibles de acogerse a una subvención en los programas oficiales de ayuda a la mecanización, las administraciones tienen en cuenta los resultados de dichos ensayos.

5. Normativa aplicable

Se ha desarrollado el presente trabajo técnico siguiendo principalmente la normativa sobre maquinaria agrícola y ensayos de abonadoras, dividida en dos documentos:

- UNE-EN 13739-1:2012 “Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 1: Requisitos” [1].
- UNE-EN 13739-2:2012 “Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 2: Métodos de ensayo” [2].

Esta norma es la versión oficial de la Norma Europea EN 13739-12011, y anula y sustituye a la Norma UNE-EN 13739-1:2003, siendo elaborada por el comité técnico AEN/CTN 68 “Tractores y maquinaria agrícola y forestal”, cuya secretaría desempeña ANSEMAT (Asociación Nacional de Maquinaria Agropecuaria, Forestal y de Espacios Verdes).

Los objetivos fundamentalmente son:

- 1º. Especificar los requisitos aplicables a los distribuidores de fertilizantes cuando se utilizan según el manual de instrucciones, tal que:
 - Se impida cualquier distribución involuntaria de fertilizantes.
 - Se consiga una distribución uniforme del fertilizante con la dosis de aplicación deseada.
- 2º. Establecer los requisitos para la protección medioambiental relativos al diseño y construcción de distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos, suspendidos, remolcados y autopropulsados.
- 3º. También especifica el contenido mínimo del manual de instrucciones de las máquinas.

No aplica a máquinas como:

- Sembradoras abonadoras combinadas.
- Equipos para la distribución de pesticidas granulados.
- Distribuidores en línea de fertilizantes sólidos, regulados en las normas UNE-EN 13740-1:2004 “Maquinaria agrícola. Distribuidores en líneas de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 1: Requisitos”, y UNE-EN 13740-2:2004 “Maquinaria agrícola. Distribuidores en líneas de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 2: Métodos de ensayo”.

En materia de abonos [11], los productos utilizados deben cumplir con dos requisitos fundamentales:

- Eficacia agronómica.
- Ausencia de efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

Se encuentran regulados en general en dos normativas, a nivel Europeo y a nivel Nacional.

- 1º. Reglamento CE 2003/2003, de 13 de octubre de 2003, del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea relativo a los abonos [24].

Esta disposición comunitaria refunde, simplifica y actualiza toda la normativa existente en la Unión Europea sobre los fertilizantes minerales de uso más generalizado en la agricultura, fijando una serie de normas sobre su composición química, identificación, etiquetado, envasado, medidas de control, etc., junto con una serie de anexos sobre características de los abonos CE, márgenes de tolerancia, métodos de análisis, especificaciones sobre el nitrato amónico por su riesgo de explosión y acreditación de laboratorios.

- 2º.** Abonos no incluidos en el Reglamento CE 2003/2003 [24], pero contemplados en el nuevo Real Decreto 824/2005, de 8 de julio de 2005, sobre productos fertilizantes [25].

Esta serie de productos fertilizantes son: abonos orgánicos y organo-minerales, determinados abonos minerales, abonos especiales, enmiendas calizas y enmiendas orgánicas.

Es por tanto fundamental que la reglamentación sobre los productos utilizados para mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas, llegue precisa y eficazmente al conocimiento de los usuarios de estos productos y de todos los operadores implicados en el ámbito de su fabricación y aplicación agronómica.

6. Descripción de las máquinas abonadoras y variables de cálculo

Como hemos indicado en apartados anteriores, los fertilizantes se presentan en forma sólida, líquida o gaseosa, y cada una de estas formas exige equipos específicos para poder distribuirlos.

En este apartado, describimos brevemente los tipos de máquinas abonadoras y sus características, así como las variables que intervienen en el proceso de abonado, que fundamentalmente son: el perfil de abonado, la regulación de la máquina según la naturaleza y tipología del abono, y la problemática de uso en campo al llegar a los bordes de la parcela.

6.1. Características de las abonadoras

A modo general describimos algunas características de los componentes de las abonadoras y que son mencionadas por diversos autores. J. M. Nogales y R. Araújo nos aclaran cuáles son las partes más relevantes en las abonadoras [26].

Figura 7. Partes de las abonadoras.



Fuente: J. M. Nogales, R. Araújo. Distribuição uniforme de adubo utilizando distribuidores centrífugos, 2014 [16].

- **Bastidor**, sobre él, se montan los componentes de la abonadora y posibilita el acoplamiento al tractor. Es importante que no interfiera en la trayectoria de los granos al ser proyectados y que sean de materiales anti corrosivos y fáciles de limpiar para no acumular abono.

- **Grupo de distribución**, son los sistemas de transmisión, discos o platos, paletas y agitadores. También son los sistemas de apertura de caudales, la guía de caudales hacia el plato, deflectores para cambiar la trayectoria de los granos a la salida de los platos o similares. El conjunto de elementos distribuidores es la parte principal de la abonadora y muy específica para cada tipo de abono según su comportamiento al ser proyectado.
- **La tolva**, donde se aloja el fertilizante, puede ser de uno o dos senos, y se eligen en función de su capacidad de almacenado del abono.

6.2. Tipos de abonadoras

Para la distribución de fertilizantes sólidos existe una amplia oferta de maquinas de diversas prestaciones. Cada tipo de abonadora y sus prestaciones, varían en función de las características físicas que presente el fertilizante, fundamentalmente su granulometría y densidad. En este apartado presentamos una breve clasificación de tipos de abonadoras comentando sus prestaciones más interesantes.

Las abonadoras, en base al principio por el que se desplaza el fertilizante hasta llegar al suelo [27], se clasifican generalmente en: abonadoras de gravedad, de proyección o centrífugas y neumáticas.

6.2.1. Abonadoras de gravedad

Son máquinas cuya anchura de trabajo ha estado limitada por la de transporte, se fundamentan en la caída del abono por gravedad al suelo. El abono se extrae del fondo de la tolva mediante un dosificador y se deja caer.

Se clasifican en función del dosificador que lleven incorporado, pudiendo ser abonadoras de gravedad de:

- Tornillo sinfín.
- Rodillo.
- Rejilla.
- Cadenas.
- Platos.
- Fondo móvil.

Todas ellas son muy polivalentes, se utilizan para abonos tanto granulados como pulverulentos, pero las dos últimas mantienen sus prestaciones y están bien valoradas con fertilizantes de alto grado de humedad.

Sus características más destacables:

- La aplicación del fertilizante es proporcional al movimiento de la abonadora.
- Utilizada con abonos granulados, perlados, cristalizados y especialmente pulverulentos (no se distribuyen uniformemente con otro tipo de abonadoras).
- Inconveniente: la anchura de trabajo está muy limitada.

- La más utilizada es la de tornillo sinfín con tolva central y anchura de trabajo de hasta 12 metros.

6.2.2. Centrífugas de un disco o de dos discos. Abonadoras de proyección

Las abonadoras centrífugas se fundamentan en la propulsión del fertilizante mediante un disco o tolva, también pueden ser péndulos, que al generar fuerza centrífuga hacen que los gránulos de fertilizante sean lanzados a grandes distancias.

Se clasifican según el grupo distribuidor que lleven:

- Abonadoras de discos.
- Abonadoras pendulares.

Sus características más destacadas son:

- Abonadoras centrífugas de un disco:
 - El disco presenta paletas, 2, 4 o más, con forma variable.
 - Se pueden incorporar deflectores para controlar la dirección en la que se lanza el abono, lo que modifica su distribución para ajustarse al terreno.
 - En su distribución influye el punto de caída del abono sobre el plato, cuanto más a tras caigan los granos sobre el plato, a más distancia se lanza.
 - Se debe prestar atención a la regulación del caudal y a la velocidad de giro del plato.
 - Suelen dar distribuciones triangulares.
- Abonadoras centrífugas de dos discos:
 - Presentan dos discos en un mismo plano que giran en sentido contrario.
 - Presentan distribuciones trapezoidales.
 - Dan buenos resultados de uniformidad en los bordes.
 - Trabajan con anchuras de trabajo mayores.
 - Los discos tienen varios puntos para regular la caída del abono, dando en posiciones más alejadas mayores distancias de distribución.
- Abonadoras pendulares:
 - Esparcen el abono mediante un tubo con movimiento pendular.
 - La uniformidad en la distribución depende de la adherencia de la partícula y la salida del deflector, que debe ser resistente a golpes.
 - Suelen dar anchuras de trabajo de 10 metros.
 - La regulación de la dosis de aplicación en función del caudal y la velocidad de avance del tractor.
 - No empleadas en pulverulentos, les desplazan a distancias cortas.

Las abonadoras de proyección o centrífugas de uno o de dos discos son como se muestra en la Figura 8, donde vemos el sistema de regulación del punto de caída del abono, y los sistemas de distribución.

Figura 8. Abonadoras de proyección y componentes.



Fuente: J. M. Nogales, R. Araújo. Distribuição uniforme de adubo utilizando distribuidores centrífugos, 2014 [16].

A continuación mencionamos algunas recomendaciones en su utilización:

- Al presentar gran anchura de trabajo normalmente de entre 12 y 24 metros, y excepcionalmente entre 36 y 44 metros, y ser muy exigentes en humedad, dureza, densidad y en particular, con la granulometría del abono, deben regularse para cada situación con cada tipo de abono.
- El abono debe carecer de polvo, los gránulos más pulverulentos suelen quedar próximos a las ruedas porque no se pueden impulsar.
- Evitar los gránulos de excesivo tamaño para obtener distribuciones más homogéneas.
- No van bien con gránulos muy homogéneos. Los diámetros de los gránulos deben ser variados, comprendidos entre 2 y 4,0 milímetros, para que al producirse interacciones entre ellos den distribuciones más uniformes.
- Es necesario conocer su comportamiento en función de propiedades físicas específicas de cada abono, así como las opciones de caudales empleados, para poder trabajar a distintas anchuras y dosis por hectárea.

En general, los conceptos técnicos que determinan la capacidad de trabajo de las abonadoras de proyección son los siguientes:

- **Diagrama de distribución transversal**

Los diagramas de distribución indican lo que aporta la abonadora a la derecha y a la izquierda de su eje central, determinándose mediante ensayos en condiciones controladas.

Para obtener distribuciones aceptables en lo posible, hay que conseguir diagramas con formas triangulares o trapezoidales.

Los diagramas son simétricos si la representación de lo proyectado a la izquierda y a la derecha del eje es similar, es decir coincide, y son asimétricos en caso contrario.

▪ **Anchura total de distribución**

Es la suma de la distancia desde el eje de paso, a izquierdas y derechas de la abonadora, hasta los receptores o recipientes de recogida en que aparecen los últimos o el último gránulo proyectado.

▪ **Anchura útil o distancia entre pasadas**

Elegir la anchura de trabajo es lo que realmente interesa en campo, y lo más difícil de conseguir optimizar.

Para determinarla hay que realizar ensayos de distribución en condiciones controladas y simular para cada anchura de trabajo la contribución de los aportes de las pasadas contiguas tanto de ida como de vuelta del tractor.

Haciendo un ensayo con un diagrama triangular ideal, vemos que los receptores centrales próximos al eje de paso del tractor recogen la máxima cantidad de abono "x gramos"; por el contrario, la cantidad de abono recogida decrece en los receptores más alejados del eje del tractor, hasta llegar a un receptor en el que el peso recogido será la mitad "x/2 gramos".

Se cumple que la suma de distancias desde el eje de paso al receptor de la izquierda con "x/2 gramos" de peso, más la distancia desde el mismo eje al receptor de la derecha también con "x/2", sería la distancia entre pasadas o anchura útil, tanto para diagramas simétricos como asimétricos.

Por lo tanto, se consiguen distribuciones uniformes en todos los puntos de la anchura de trabajo cuando: a partir del punto en el que aparece la mitad del peso en la ida, se añade y recubre con el abono de la otra pasada en la vuelta. La dosis deseada "x gramos" será la suma de ambas pasadas en el conjunto de la parcela [9].

▪ **Coefficiente de variación (CV)**

Parámetro que sirve para evaluar la uniformidad de la distribución para:

- una anchura de trabajo establecida.
- un tipo de abono determinado.
- una dosis de abonos prefijada.

Es importante señalar que una misma abonadora con abonos diferentes, puede tener distintos CV para una misma anchura de trabajo.

También, el coeficiente de variación puede ser distinto al variar la cantidad de abono aportada por unidad de superficie, aunque se aplique el mismo tipo de abono y a la misma anchura de trabajo.

En cada situación (tipo de abono, anchura de trabajo y dosis), cuanto menor es su coeficiente de variación más alta es la uniformidad de la distribución.

Así, se establece que con abonos nitrogenados el CV debe ser inferior al 10% en ensayos de laboratorio y al 15% en ensayos de campo, mientras que para abonos de fondo se admiten CV hasta el 20% [1][2].

▪ **Dispositivos de bordeo**

Estos dispositivos permiten trabajar el borde de la parcela proyectando el fertilizante, o bien desde el borde o límite de la parcela, o hacia el borde.

Desde el borde o próxima a este se desplaza la abonadora y normalmente se cierra el disco de distribución del lado del borde intentando aplicar el fertilizante dentro de la parcela. Juegan con la inclinación de la pendiente, ajuste del punto de caída del abono sobre el disco, pantallas, distribuidores de proyección forzada o plotters [21].

Hacia el borde, se regula la abonadora para obtener una distribución asimétrica y de menor anchura de trabajo hacia el lado del borde, intentando ajustar la dosis y el caudal a lo deseado. Las abonadoras de doble disco suelen ajustarse mejor que las de un disco porque las primeras dan distribuciones trapezoidales. Las abonadoras pendulares presentan buen comportamiento en la distribución pero a menores distancias de trabajo [21].

Para tener garantías de que lo proyectado por la abonadora fuera de la parcela es admisible, se debe verificar si la máquina cumple con la norma española y europea sobre máquinas distribuidoras centrífugas y por gravedad de fertilizantes sólidos [1][2].

En lo referente a la distribución en los bordes o límites de la parcela no se debe proyectar fuera de la misma más del tres por mil.

Los dispositivos de bordeo ayudan a cumplir dicha normativa pero debe comprobarse su fiabilidad mediante ensayos de distribución específicos para el bordeo, un tema todavía pendiente en la mayoría de los casos, pues el agricultor no siempre dispone de tiempo para tales comprobaciones.

6.2.3. Neumáticas

- El abono extraído de la tolva por cada uno de los rodillos del dosificador es canalizado individualmente hacia una tubería por la que se desplaza, impulsado por la corriente de aire generada por un ventilador.
- La salida termina en un difusor que opcionalmente se puede colocar de forma que el fertilizante sea proyectado hacia arriba, hacia abajo o lateralmente.

- La separación entre difusores, aunque siempre es la misma en cada equipo, está comprendida entre 0,25 y 1,00 metros.
- Las tuberías de conducción del fertilizante se posicionan en rampas plegables similares a las de los pulverizadores y permiten anchuras de trabajo de 12 y 24 metros, e incluso superiores.
- Las distribuciones suelen adoptar formas trapezoidales, manteniendo distribuciones muy uniformes.
- En general estos tipos de abonadoras, realizan distribuciones homogéneas independientemente de las propiedades físicas del abono y las dosis empleadas.

6.2.4. Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de abonadoras

Mediante la Tabla 3, se presentan las principales ventajas e inconvenientes de las principales abonadoras. En el mercado existen más tipos de abonadoras, pero se consideran únicamente las más difundidas y utilizadas actualmente en nuestro país.

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de diversos tipos de abonadoras.

Abonadoras	Abono	Distribución	Capacidad de trabajo	Coste de operación	Observaciones
Centrífugas y pendulares	Preferentemente granulado	Poco uniforme	Alta	Bajo	Imprescindible solapamiento
De gravedad, rodillos	Granulado o cristalizado	Uniforme	Alta	Elevado	Escaso número de máquinas
Neumáticas	Granulado, cristalizado o microgránulo	Muy uniforme	Media	Medio	Apropiadas para dosis bajas

Fuente: L. Márquez, Máquinas para la distribución del abono mineral, 1994 [8].

Resaltar que las abonadoras centrífugas o de proyección, aunque son bastante extendidas y están bien consideradas por los agricultores, presentan distribuciones poco uniformes, con necesidad de solapamiento entre pasadas y por tanto un correcto conocimiento de la anchura de trabajo. Lo cual el agricultor normalmente suele hacer por estimación en base a su experiencia y no a datos técnicos adecuados. Esta baja distribución suele ser por la diferencia de granulado del abonado, ya que a mayor tamaño de gránulo mayor alcance y por tanto mejor distribución y viceversa. No son aconsejables con abonos en polvo o poco uniformes [8].

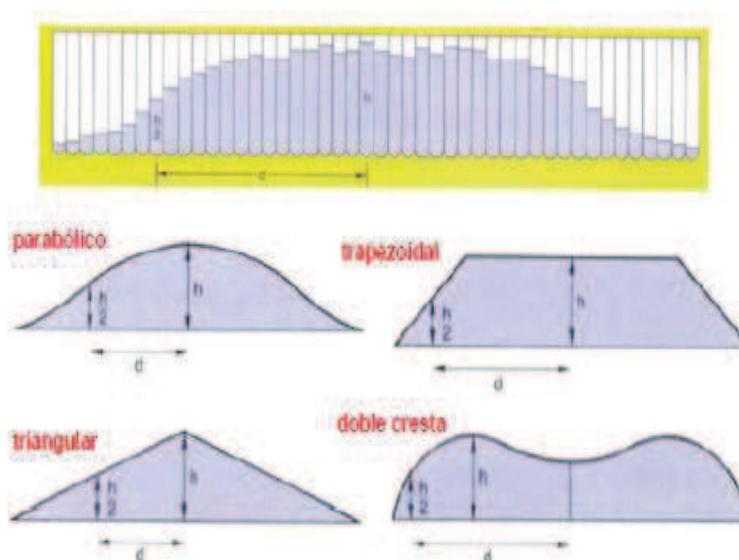
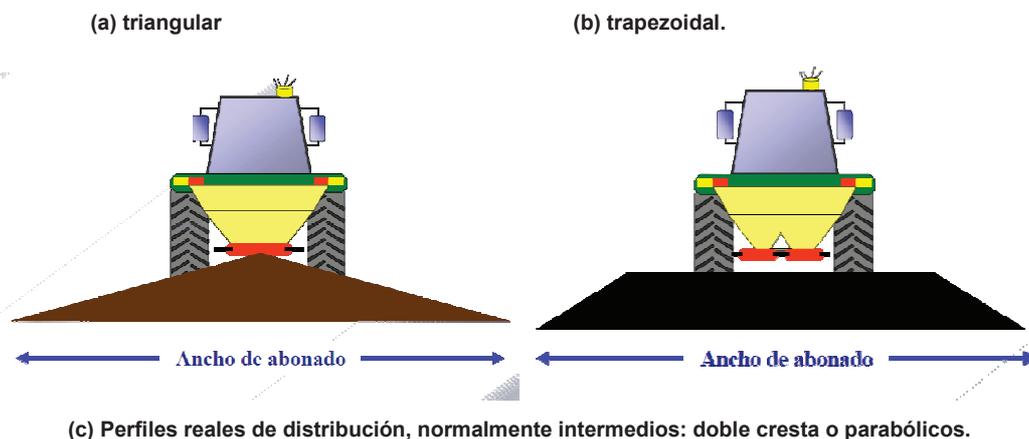
6.3. Modelo de trabajo: Perfil de abonado trapezoidal – perfil triangular

Cabe recordar que las anchuras de trabajo útil son las anchuras entre las distintas pasadas del tractor y que la anchura máxima del abono proyectado es definida por el sumatorio de

distancias a derecha e izquierda del eje de paso del equipo de proyección hasta los últimos granos proyectados transversalmente. Esto último, se denomina anchura de distribución transversal de la máquina y es lo que dará el perfil de abonado.

Como se muestra en la Figura 9 (a) y (b), los perfiles de abonado ideales son el triangular y trapecoidal y son el objetivo que se debe conseguir al regular la abonadora.

Figura 9. Perfiles de abonado y modelos de trabajo.



Fuente: L. Márquez, La tecnología en las abonadoras de proyección, 2011 [22].

Los fabricantes de abonadoras deben construir sus máquinas para conseguir en campo estos perfiles de abonado y facilitar al usuario la información necesaria sobre cómo debe regular la máquina con los distintos tipos de abonos para conseguir estos perfiles. Por ello, es fundamental que desarrollen ensayos de distribución y elaboren buenos manuales de uso.

Los agricultores deben cerciorarse al comprar una máquina que se pueden obtener estos perfiles en campo y descartar comprar máquinas de fabricantes que no faciliten esta información.

Una buena máquina abonadora debe tender a dar perfiles de abonado trapezoidales o triangulares, ya que volvemos a mencionar que con estos perfiles se pueden conseguir distribuciones más homogéneas siempre y cuando se elija una adecuada anchura de trabajo, como hemos explicado en el apartado 3.1 “Distribuciones heterogéneas vs homogéneas”.

Hay que saber que aunque lo ideal sería obtener perfiles triangulares o trapezoidales, en realidad rara vez se consiguen perfiles tan exactos en campo.

Como vemos en la Figura 9 (c), los perfiles reales que se suelen obtener varían ligeramente.

Normalmente se obtienen perfiles parabólicos más o menos simétricos, o perfiles de doble cresta, siendo lo importante en estos perfiles intermedios asegurar al máximo la uniformidad en la distribución.

En cualquier caso, se deben evitar perfiles con irregularidades importantes o saltos que den lugar a discontinuidades exageradas en sus curvas de distribución.

Tampoco son aconsejables las máquinas que dan perfiles asimétricos, ya que cuando se presentan distribuciones asimétricas a un lado del eje del tractor, es más difícil conseguir a posteriori una correcta uniformidad en la distribución.

Para medir la uniformidad en la distribución se utilizan fórmulas matemáticas como explicaremos más adelante, en el apartado 7 “Descripción del proceso de cálculo”, y cuyo resultado se representa mediante el coeficiente de variación o CV, tal y como se explicó anteriormente.

Según las normativas UNE-EN 13739-1:2012 [1] y UNE-EN 13739-2:2012 [2], se considera un comportamiento adecuado de la abonadora cuando el CV de la uniformidad es inferior al 15%. Para los ensayos en laboratorio se establecen los siguientes valores de uniformidad, tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de uniformidad para Ensayos de laboratorio.

Uniformidad muy buena	Uniformidad aceptable	Uniformidad inaceptable
CV = 0 - 10%	CV = 10 - 15%	CV ≥ 15%

Fuente: AIMCRA, Evaluación de abonadoras, 2009 [11].

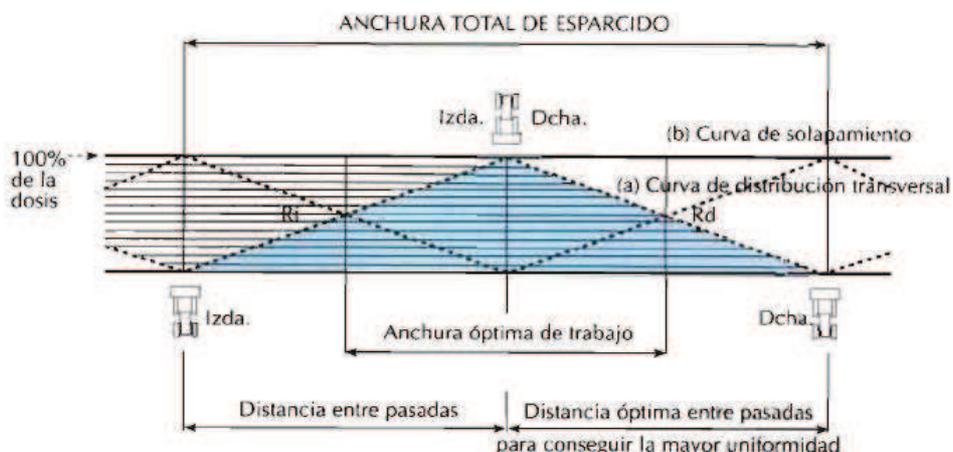
Como hemos mencionado anteriormente, el manual de cada abonadora debe recoger cómo reproducir en campo el comportamiento en el laboratorio, mediante una regulación del equipo sencilla y rápida y siempre teniendo en cuenta las propiedades físicas de los fertilizantes de uso más frecuente.

Suponiendo que se obtienen perfiles de abonado ideales, para mejorar la uniformidad en la distribución hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Con un diagrama de distribución triangular la mejor uniformidad de la distribución se consigue cuando cada una de las pasadas contiguas se realiza en los límites del alcance del abono de la pasada anterior. En la Figura 10, se refleja que la distancia

entre pasadas del tractor debe ser la mitad de la anchura de distribución conseguida con estos perfiles, lo que asegurará aplicar una dosis más homogénea en la parcela.

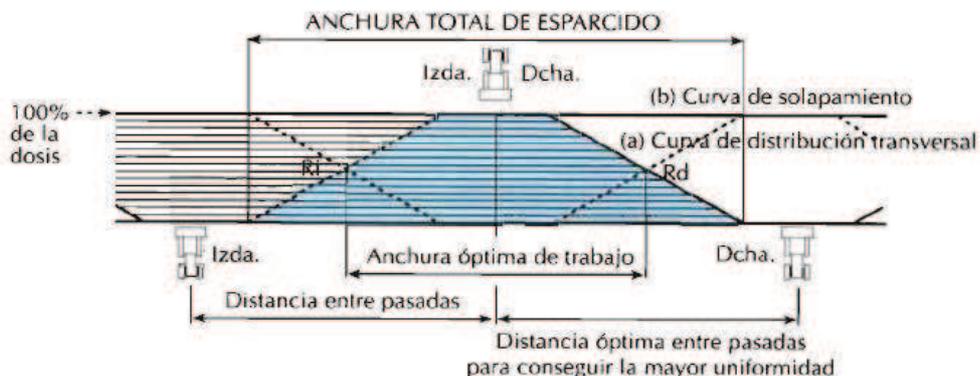
Figura 10. Diagrama de distribución con perfil triangular.



Fuente: L. Márquez, El abono y las abonadoras, 1998 [12].

- En el caso de la distribución trapezoidal la distancia entre pasadas puede ser mayor, como podemos apreciar en la Figura 11, pero tanto en un caso como en el otro, es necesario que el recubrimiento se realice de manera que en la línea media trazada entre dos pasadas contiguas, se recoja la mitad de la cantidad de abono que en el centro de la pasada (eje por el que circula el tractor) procedente de cada uno de los lados. Así se consigue una distribución uniforme, pero teniendo en cuenta que cualquier variación de la anchura de trabajo afectaría al solapamiento, y con ello a la uniformidad de distribución del fertilizante.

Figura 11. Diagrama de distribución con perfil trapezoidal.



Fuente: L. Márquez, El abono y las abonadoras, 1998 [12].

- Cuando el diagrama de distribución que ofrece la abonadora es de tipo triangular, pequeños errores en el solapamiento tienen escasa influencia sobre la uniformidad de distribución [12].

- Por el contrario, en las distribuciones trapezoidales, los pequeños errores en la distancia entre pasadas pueden afectar considerablemente a la uniformidad de distribución.

Para los ensayos de laboratorio, tanto los realizados por fabricantes, como los realizados en la EECAS en Palencia, se utilizan instalaciones fijas que permiten una gran precisión en las determinaciones.

Para obtener los perfiles de distribución de la máquina primero se recoge el fertilizante esparcido en cajas o recipientes de dimensiones normalizadas. Estos recipientes que cubren toda la anchura de esparcimiento de la máquina, posteriormente son pesados.

A partir de las cantidades de abono recogidas en cada caja se puede calcular tanto el perfil de distribución de la máquina, como la uniformidad de distribución con diferentes grados de solapamiento. Esto último es lo que se conoce como Coeficiente de Variación (CV) y se calcula para cada una de las anchuras efectivas de trabajo recomendadas.

Como explicaremos posteriormente en el apartado 7.5 “Cálculo del coeficiente de variación”, el CV es la relación, calculada en porcentaje, entre la desviación típica (calculada por diferencia entre las cantidades de abono recogidas en cada caja con respecto a la media de todas ellas) y el valor medio absoluto de la cantidad recogida en cada caja.

6.4. Regulación de las abonadoras según tipos de abonos

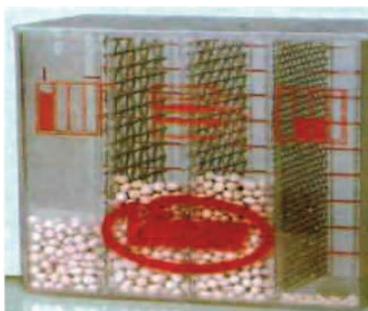
Normalmente la abonadora debe suministrarse con un manual de regulación fiable, en el que estén recogidos los abonos de uso frecuente y las recomendaciones a la hora de realizar una correcta regulación para realizar una adecuada distribución con cada abono.

Ante la diferente tipología de los abonos, cambios en la forma de presentación o diversidad de características físicas de cada tipo de abono, es necesario regular la máquina adecuándola a cada caso específico.

El fabricante de abonadoras debe actualizar su manual en función de las necesidades de los productos a distribuir, pues es muy importante disponer de esta información para ajustar la máquina.

Como se muestra en la Figura 12, la abonadora, además del manual, debe ir acompañada de una caja de tamices para determinar e identificar la granulometría de los fertilizantes.

Figura 12. Caja de tamices para determinar la granulometría del abono.



Fuente: L. Márquez, El abono y las abonadoras, 1998 [12].

Como hemos explicado con anterioridad, la máquina se ajusta según la granulometría del abono, los tipos de abono y sus características.

6.4.1. Características de los abonos

En España los fertilizantes en forma sólida son los más implantados, aunque siempre se han referenciado las muchas ventajas de las distribuciones en forma líquida, en particular para explotaciones bien dimensionadas o para aquellas que dispongan, con facilidad, de empresas de servicios que hagan la aplicación.

Aunque hemos indicado diferentes equipos de distribución de fertilizantes o abonos, nuestro objetivo es centrarnos en los equipos de distribución de abonos granulados sólidos, y en particular hablaremos de las abonadoras de proyección de uno o dos discos.

Éstas, hoy por hoy, se han consolidado como las máquinas que distribuyen la mayoría de los fertilizantes minerales en España. Además, son polivalentes para distribuir algunos fertilizantes orgánicos debidamente acondicionados.

Los fertilizantes minerales que pueden comercializarse en España son, exclusivamente, los que se indican en el Reglamento (CE) 2003/2003 relativo a los abonos [24], y en el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes [25], y en sus posteriores modificaciones y adaptaciones al progreso técnico.

No es objetivo de este trabajo describir todos y cada uno de los fertilizantes incluidos en las legislaciones comunitaria y española, pero repasamos en general los fertilizantes minerales sólidos más utilizados y sus características de interés agronómico. No vamos a comentar los fertilizantes líquidos que se aplican en fertirrigación, ni tampoco de los gaseosos, pues no son objeto del trabajo que nos ocupa, así que en adelante nos centramos en los fertilizantes minerales sólidos.

Características físicas de fertilizantes minerales sólidos

- **Dureza.** Es la resistencia a la rotura, a la abrasión y al impacto. La dureza evita que los granos de fertilizante se fracturen durante los procesos de manipulación, almacenamiento y distribución. La resistencia a la abrasión evita la formación de polvo.
- **Fluidez.** Mide la aglomeración. Un ligero proceso de acondicionamiento debe permitir la restauración de la fluidez tras el almacenaje.

Para prevenir la aglomeración o el apelmazamiento, se debe reducir el grado de humedad residual, añadir aditivos antiapelmazantes y enfriar el producto antes de almacenarlo o ensacarlo para evitar reacciones químicas indeseables.

- **Granulometría.** Los gránulos de fertilizantes deben de ser esféricos y con granulometría homogénea. Estos dos factores afectan de manera capital a su correcta distribución mecánica.
- **Humedad.** Este factor influye de manera decisiva en el apelmazamiento y en la compatibilidad para las mezclas.

- **Densidad.** Es importante en el almacenamiento y en lo que respecta a la segregación.

Las características físicas del abono condicionan el comportamiento de las abonadoras de proyección en lo que se refiera a la uniformidad de distribución y éstas varían en el tiempo [22].

El fertilizante con menor densidad aparente es proyectado a menos distancia que el de mayor densidad; para un mismo diámetro, las partículas más densas son las que tienen mayor alcance.

Asimismo, la variación de la densidad aparente del abono influye en la cantidad (peso) que sale de la tolva, por lo que habrá que hacer los cambios oportunos para asegurar la dosis establecida (kg/ha).

La densidad aparente suele ser bastante estable en los diferentes tipos de abonos; así, en los nitrogenados (nitríco-amoniacaes) está comprendida entre 0,85 y 0,95 kg/m³, y en los de tipo compuesto (NP, PK y NPK) entre 0,90 y 1,20 kg/m³.

La variabilidad es mucho mayor en lo que se refiere a la granulometría del abono, lo que tiene un efecto muy significativo en la distribución de proyección.

A medida que el diámetro del gránulo del fertilizante aumenta, el alcance también aumenta, considerando abonos de similares densidades aparentes y manteniendo la regulación de la abonadora de proyección.

Figura 13. Características físicas en abonos minerales granulados.



Fuente: L. Márquez, La tecnología en las abonadoras de proyección, 2011 [22].

Es frecuente que los fabricantes de abonadoras suministren con la máquina una caja con 3 o 4 tamices, para determinar rápidamente la granulometría del abono.

La determinación de la granulometría de la muestra de abono sirve para realizar un primer ajuste de la máquina en cuanto a la uniformidad y anchura de esparcido, pero recomendamos hacer una comprobación en campo para verificar la calidad del ajuste inicial.

Características químicas

Las características químicas de los fertilizantes minerales están definidas por los nutrientes que contienen, su concentración en el fertilizante, y la forma química en la que este nutriente está presente en cada producto.

Según la formulación química el fertilizante puede ser más o menos asimilable para el cultivo, influyendo también la época de aplicación del fertilizante al suelo.

Se suelen hacer aplicaciones y abonados tanto de fondo, como de cobertera, con el cultivo ya crecido en épocas de máximas necesidades para el cultivo, lo que implica que las dosis y/o las formulaciones químicas de los abonos sean distintas.

De este modo, tanto la concentración de nutrientes, como la formulación en la que se presentan, definirán la dosis de fertilizante necesaria, la época de aplicación y la forma en que deben ser incorporados al suelo.

Según la legislación comunitaria, la indicación de los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio se expresarán del modo siguiente:

- Nitrógeno únicamente en forma de elemento (N).
- Fósforo (P), en forma de óxido (P_2O_5) o simultáneamente como elemento (P).
La equivalencia entre ambas formas es: fósforo (P)= $P_2O_5 \times 0,436$.
- Potasio (K), en forma de óxido (K_2O) o simultáneamente también como elemento (K).

La equivalencia entre ambas formas es: potasio (K)= $K_2O \times 0,830$.

En base a su formulación se emplean diversos tipos de fertilizantes, con distintas presentaciones, siendo las más utilizadas las que comentamos a continuación.

Tipos de fertilizantes

Tradicionalmente los fertilizantes minerales se pueden presentar en forma sólida o líquida, clasificándose en los siguientes grandes grupos:

- Nitrogenados simples.
- Fosfatados simples.
- Potásicos simples.
- Abonos compuestos (complejos y de mezcla).
- Abonos con nutrientes secundarios.
- Abonos con micronutrientes.

Como es natural, cada tipo de abono, ya sea sólido, líquido o gaseoso, debe distribuirse con máquinas diferentes adecuadas a cada estado y formulación.

Centrándonos únicamente en los abonos más difundidos, los abonos minerales sólidos, los podemos encontrar en diferente presentación:

- Granular, todos los compuestos.
- Granular perlada, urea.
- Cristalizada o prensada, abonos potásicos.
- Pulverulenta, abonos simples.

A veces también se utilizan mezclas de las presentaciones anteriores, por lo que todas estas diferencias dan lugar a que las máquinas no tengan o consigan el mismo comportamiento con cada tipo de abono.

Habrán distribuidores que apliquen bien algunos tipos de abonos dando distribuciones uniformes mientras que con otros no se obtendrán buenas distribuciones.

6.4.2. Sistema de dosificación y ajuste de caudal

Una abonadora regulada correctamente debe conseguir dos factores:

- Distribuir la dosis deseada por hectárea.
- Que la dosis aplicada sea uniforme en toda la parcela.

A continuación explicaremos la regulación de las abonadoras de proyección, con mayores exigencias en regulación y más utilizadas que las abonadoras de gravedad y neumáticas.

- En el campo, lo más rápido y efectivo es disponer de un manual fiable en el que esté recogido el abono que vamos a distribuir y sus características granulométricas.

El fabricante deberá velar por mantener las prestaciones de todas sus abonadoras y realizar ensayos con los diferentes fertilizantes más usados.

- Para regular la dosis de las abonadoras de proyección se utiliza la fórmula (1), [1].

$$Dosis \left[\frac{kg}{ha} \right] = \frac{Caudal \left[\frac{kg}{min} \right] \cdot 600}{Anchura \text{ trabajo} [m] \cdot Velocidad_{aplicación} \left[\frac{km}{h} \right]} \quad (1)$$

Con ella podemos determinar el caudal necesario para fluir de la tolva al grupo de distribución.

- La velocidad de desplazamiento se determina por la fórmula (2), [20].

$$Velocidad \left[km/h \right] = \frac{distancia \text{ referencia} [m] \cdot 3,6}{tiempo \text{ en recorrer distancia referencia} [s]} \quad (2)$$

- Lo difícil es encontrar la anchura de trabajo óptima para obtener buenas distribuciones.
- Lo normal es regular la abonadora con las recomendaciones del fabricante.

Puede suceder que en el manual de uso y regulación de la abonadora:

1º. Hay un abono con propiedades granulométricas similares al que se aporta.

Para hacer una clasificación de los granos se debe disponer de una caja con tamices que permitirá determinar su porcentaje volumétrico.

2º. No está el abono a distribuir en el manual.

Se pueden seguir recomendaciones de regulación de abonos del manual similares al que se desea distribuir. Pero no será garantía de una buena uniformidad en la distribución.

6.5. Problemática de uso en campo

Una vez descrito el comportamiento de la máquina, y su regulación adecuada al abono que se quiere distribuir, es importante entender la técnica o labor que se realiza en campo.

Normalmente las abonadoras en el campo se deben regular de dos maneras. Una para realizar las pasadas en el centro de la parcela, que como hemos comentado deben solaparse a una cierta distancia. Otra regulación diferente para el borde o límite de la parcela.

6.5.1. Los bordes de parcela: abonados desde o hacia el borde

Hay dos formas de realizar el abonado en la proximidad del borde o límite de la parcela.

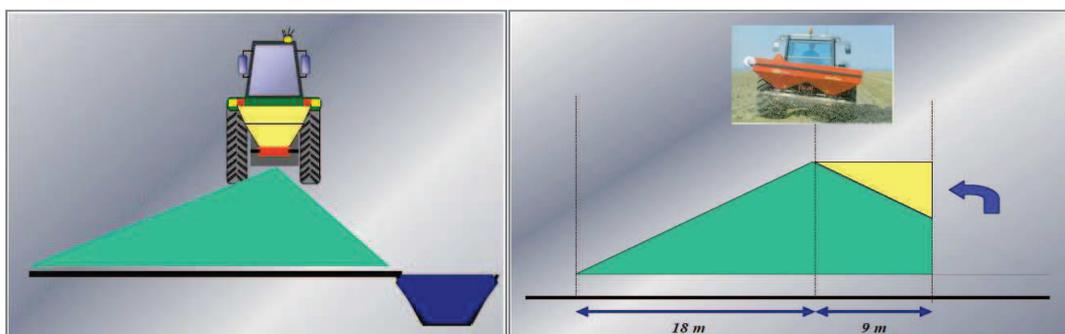
1. Projectando hacia el borde.
2. Projectando muy próximo al borde o desde el borde.

Normalmente se mide la distancia desde el eje de paso de la abonadora al borde o límite de la parcela.

Como hemos visto en apartados anteriores, los perfiles de distribución de las máquinas suelen ser de forma triangular ó trapezoidal, aplicando menos dosis de fertilizante en los extremos de distribución.

Para obtener una buena uniformidad en la parcela y en los bordes, se emplean dispositivos de borde que acorten la distancia de distribución en el lado del borde intentando incrementar la dosis aplicada en este extremo.

Figura 14. Abonado unilateral en el borde inclinando la abonadora.



Fuente: L. Márquez, La tecnología en las abonadoras de proyección, 2011 [22] y [8].

Es importante recordar que del lado del borde no se añade más fertilizante que el que se aporte con la pasada del borde, motivo por el cual los dispositivos de bordeo deben incrementar las dosis de aplicación desde el eje del tractor hacia el lado del borde. Por lo cual se buscan obtener perfiles de tipo trapezoidal en el lado del borde o triangulares como el que se muestra en la Figura 14.

Algunos agricultores manteniendo un perfil de distribución triangular como el de la Figura 14, juegan con la inclinación de la abonadora para conseguir un aumento de la dosis en el lado del borde. El triángulo amarillo que se muestra en la parte derecha de la figura sería la dosis a corregir en los 9 metros de distancia al borde de la parcela.

Por otro lado, siguiendo el criterio de la norma UNE-EN 13739-1:2012 [1] de protección medioambiental, la abonadora no debe proyectar fuera del límite de la parcela más del 3 por 1000 en relación a la dosis que se está distribuyendo.

Por tanto, el agricultor deberá solicitar al fabricante de la máquina las gráficas de distribución en el bordeo y verificar que en la proximidad del borde la abonadora mantiene la dosis deseada y a la vez, conocer los porcentajes de dosis que la máquina aplica hacia el borde.

Sabiendo como la máquina trabaja hacia el borde, se puede elegir a qué distancia del límite debe de realizar la pasada del borde.

6.5.2. Los bordes de parcela: solapar la pasada del borde

Otro punto problemático en campo, es la zona intermedia entre la pasada del borde y la primera pasada de la parcela.

Mientras que la pasada del borde es unidireccional hacia el lado del borde, no hay pasada contigua en el lado del borde, hacia el centro de la parcela debe solaparse con la primera pasada de la parcela.

Al utilizar dispositivos de bordeo, la forma de distribución de la máquina en el borde suele cambiar ligeramente también hacia el lado opuesto al borde, por lo que al agricultor se le plantean dos problemas:

- 1º. A qué distancia del borde o desde el borde debe pasar con el tractor para conseguir aplicar una dosis aceptable en el borde.
- 2º. A qué distancia realiza la pasada del borde con respecto a la primera pasada de la parcela para mantener la uniformidad de aplicación.

Estas cuestiones no son fáciles de solucionar y normalmente decide el agricultor en base a sus conocimientos y experiencia la opción más adecuada.

7. Descripción del proceso de cálculo

El proceso de cálculo se ha desarrollado siguiendo y cumpliendo las normativas UNE-EN 13739-1:2012 [1] y UNE-EN 13739-2:2012 [2].

Se han realizado los cálculos para ensayos de distribución transversal recomendados para abonos o fertilizantes sólidos, según define dicha normativa.

Tal y como hemos explicado en apartados anteriores de esta memoria, en los ensayos de distribución transversal se recoge el fertilizante esparcido por la abonadora y que ha sido distribuido al pasar esta por una fila de recipientes colectores dispuestos transversalmente al avance del tractor.

Es importante además, que los recipientes mantengan una desviación lineal paralela al eje de simetría del distribuidor, o lo que es lo mismo, que el avance del tractor durante el ensayo, se mantenga perpendicular a la línea de recipientes.

7.1. Dosis y caudal teórico

Se entiende por caudal la cantidad de fertilizante sólido que sale de los sistemas de alimentación en kg/min.

La fórmula (3) que se utiliza para relacionar el caudal y la dosis de aplicación será, [1]:

$$\text{Caudal} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{min}} \right] = \frac{\text{Dosis aplicación} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right] \cdot \text{Velocidad desplazamiento} \left[\frac{\text{Km}}{\text{h}} \right] \cdot \text{Anchura trabajo} [\text{m}]}{600} \quad (3)$$

La dosis de aplicación, será la cantidad de fertilizante que la máquina abonadora distribuye a una velocidad de desplazamiento indicada y anchura de trabajo establecida.

En los ensayos de abonado la dosis aplicada, será la cantidad de abono que se recoge en las cajas, pudiendo deducir el caudal de abonado mediante la fórmula (3).

7.2. Anchura de distribución y tipo de abono

Los tipos de abonos o materiales de ensayo que se utilicen, tal y como indica la norma, deben estar en los grupos siguientes:

1. Fertilizante granular con densidad aparente mayor de 0,9 kg/dm³.
2. Fertilizante granular con densidad aparente menor o igual a 0,9 kg/dm³.
3. Fertilizante comprimido con densidad aparente mayor de 0,9 kg/dm³.
4. Fertilizante comprimido con densidad aparente menor o igual a 0,9 kg/dm³.

Se recomienda en los ensayos rellenar la Tabla 5, con las propiedades del fertilizante a utilizar.

Tabla 5. Propiedades físicas del material de ensayo.

Características físicas	Tipos de fertilizante mineral				
	Granulado		Prilado		Compacto
	> 0,9 kg/dm ³	≤ 0,9 kg/dm ³	> 0,9 kg/dm ³	≤ 0,9 kg/dm ³	
Fabricante y tipo	a b c		a b c		
Granulometría (mm) D 50 tal y como se especifica en la Norma EN 1235:1995					
Densidad aparente sin compactar (kg/dm ³) según la Norma EN 1236					
Capacidad de flujo (calculada por el método de determinación del caudal descrito en la Norma EN 13299) (kg/min)					
Dureza del grano					

Fuente: Norma UNE-EN 13739-2:2012 [2].

7.3. Velocidad de trabajo y régimen de la toma de fuerza

Según la norma, serán constantes tanto la velocidad de trabajo como las revoluciones de la máquina. La velocidad de trabajo debe estar comprendida entre $4 \pm 0,4$ km/h, realizándose dos pasadas por cada medición, y las revoluciones de la máquina de 540 rpm.

Se debe regular el caudal de la máquina de forma que corresponda con el caudal obtenido cuando la velocidad de avance es de 10 km/h.

La norma contempla adoptar velocidades de avance de $8 \pm 0,4$ de $10 \pm 0,5$ o de $12 \pm 0,6$ km/h, siendo el número de pasadas respectivamente 4, 5 o 6, con regulación del caudal en función de la velocidad de avance.

7.4. Abono recibido en cada zona de campo: cajas de recogida

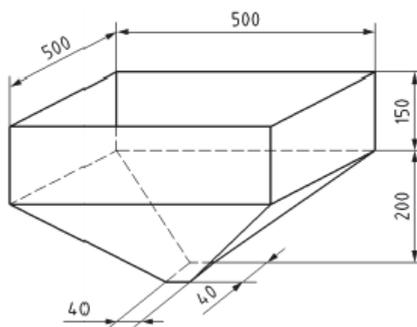
Previo a los cálculos, se debe realizar la toma de muestras correctamente para los ensayos de distribución transversal.

Es importante señalar que los ensayos de laboratorio, tanto los realizados por fabricantes, como los realizados en la EECAS en Palencia, se utilizan instalaciones fijas que permiten una gran precisión en las determinaciones y que parten de condiciones ideales de medida.

Para ello, en la EECAS se dispone una línea transversal de recipientes de 500 x 500 mm con un sistema de malla y un foso delantero y trasero para evitar la entrada o salida de abono en los receptores.

Estos recipientes están regulados según indica la normativa tal y como se muestran en la Figura 15.

Figura 15. Recipientes normalizados o cajas de recogida de abono para ensayos de distribución transversal.



Fuente: Norma UNE-EN 13739-2:2012 [2].

La recogida de las muestras se realiza al pasar el tractor por la línea de cajas o recipientes, que recogerán la dosis aportada por la máquina. Estas cajas tienen un sistema de pesado automático de precisión, que indica la cantidad de abono recogido en cada caja.

Las pesadas obtenidas de cada recipiente, sin olvidar que están distribuidos cada 0,5 metros, se representan posteriormente en un diagrama de barras indicándonos la forma de distribución que tiene la máquina abonadora.

Con este diagrama de barras, podemos determinar el perfil de distribución específico de la máquina abonadora, en las condiciones establecidas en el ensayo.

Recordar que se deben determinar previamente al ensayo:

- 1º. El tipo de abono a emplear.
- 2º. La regulación de la abonadora (ajustes del plato y paletas, punto de caída del abono al plato, caudal de salida).
- 3º. La velocidad de desplazamiento de la máquina y su régimen de la toma de fuerza.

Suponiendo que la forma de distribuir el abono por la máquina es constante, se simulan varias pasadas a una anchura de trabajo fija para calcular la distribución transversal acumulada.

En campo se pueden desarrollar los mismos ensayos, empleando recipientes de recogida de manera similar, pero se debe tener en cuenta que debido a las irregularidades del terreno, la toma de muestras o pesadas recogidas en cada caja será algo diferente.

El tractor al avanzar a contra surco o a favor del surco o simplemente por cambios de pendiente que hagan oscilar verticalmente a la máquina abonadora, hará que la distribución del abonado varíe ligeramente cometiendo errores en las medidas recogidas.

Por ello y con objeto de poder reproducir y comparar ensayos en condiciones similares, se recomienda realizar tales ensayos de distribución transversal en instalaciones apropiadas al efecto.

7.5. Cálculo del diagrama de distribución transversal

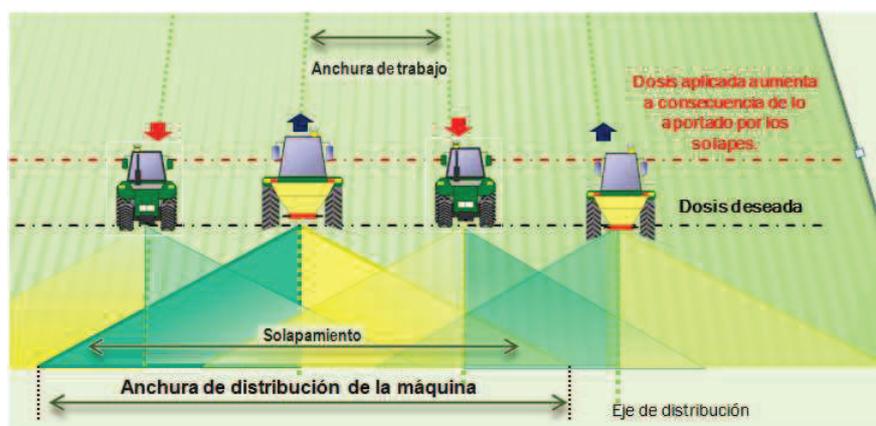
Para entender este diagrama hay que diferenciar entre anchura de distribución de la máquina y anchura de trabajo, que como hemos explicado anteriormente serán:

- Anchura de distribución: la distancia máxima a la que esparce la máquina el abono.
- Anchura de trabajo: distancia entre cada pasada del tractor.

Muy importante recordar que según la anchura de trabajo cambiará el solapamiento entre varias pasadas consecutivas, tanto de ida como de vuelta, y hay que tenerlos en cuenta en el aporte total de abono.

Como reflejamos en la Figura 16, a menor anchura de trabajo más se solapan las pasadas contiguas.

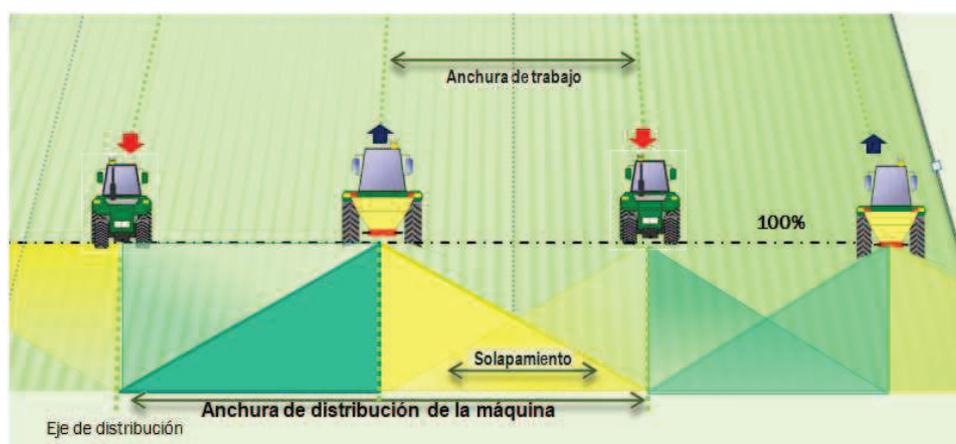
Figura 16. Relación de anchura de distribución y solapamiento.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17, mostramos la relación de anchura de distribución y anchura de trabajo ideal así como el solapamiento entre pasadas contiguas que se debe buscar para obtener buenos rendimientos de la máquina.

Figura 17. Relación de anchura de distribución y anchura de trabajo ideal.



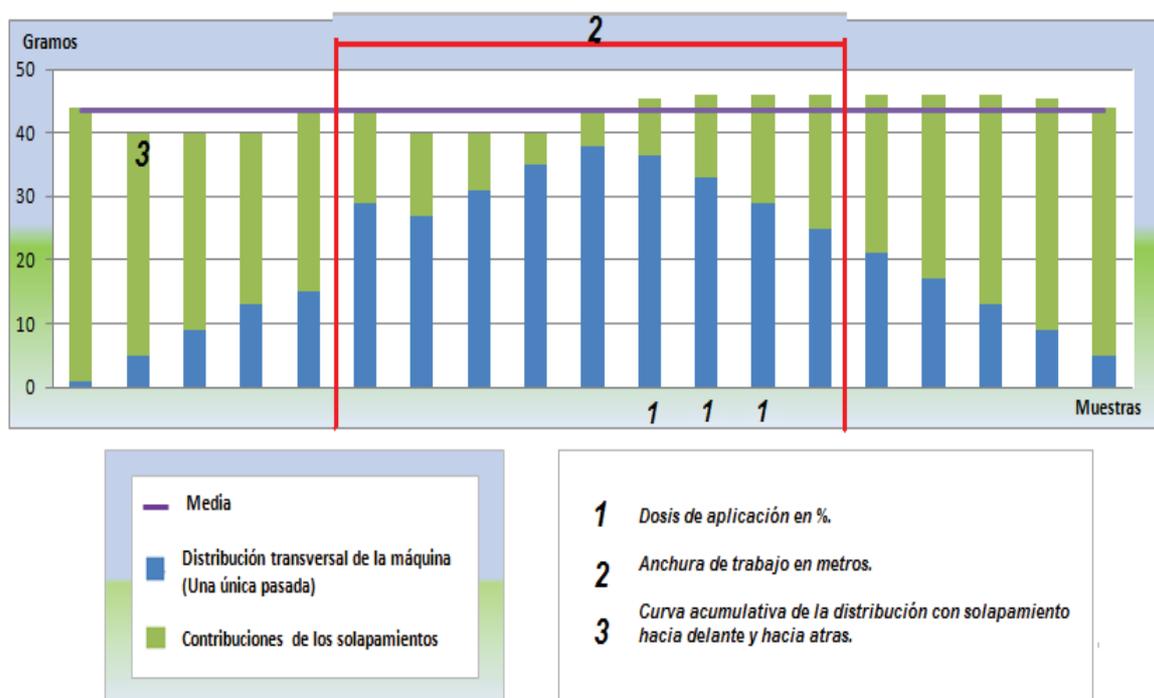
Fuente: Elaboración propia.

Como hemos expuesto en apartados anteriores, cuando el perfil de abonado es de tipo triangular, hay que conseguir que la anchura de trabajo sea la mitad de la anchura de distribución de la abonadora para aplicar una dosis de abonado uniforme en toda la parcela.

Cuando el perfil de distribución de la máquina abonadora es trapezoidal, se puede trabajar a anchuras mayores pero se debe buscar que la mitad de la dosis aplicada en los extremos de distribución durante la pasada de ida se cubra con la pasada vuelta del tractor.

Por todo ello, se hace imprescindible conocer el diagrama de distribución transversal de la máquina abonadora.

Figura 18. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de la máquina establecidas.



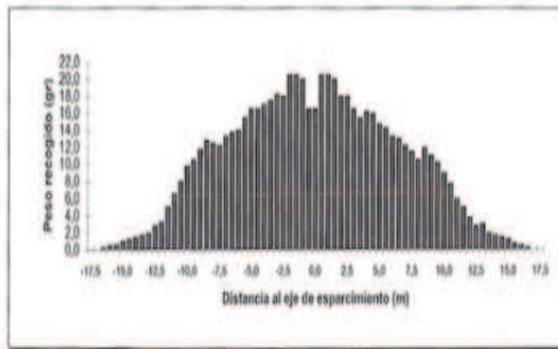
Fuente: Elaboración propia siguiendo la Norma UNE-EN 13739-2:2012 [2].

El diagrama de distribución transversal, como se muestra en la Figura 18, es el diagrama resultante de cada anchura de trabajo. En él se tienen en cuenta todos los aportes de todas las pasadas que se solapan en la anchura de trabajo establecida.

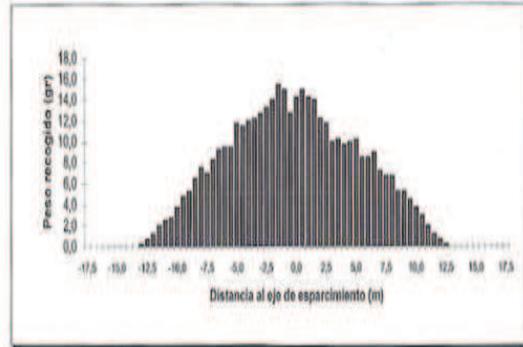
En la Figura 19, presentamos diversos ejemplos de presentación de diagramas de distribución transversal.

Figura 19. Diagrama de distribución transversal presentados por fabricantes de abonadoras.

(a) abonadoras de 2 discos.



(b) abonadoras de 1 disco.

Fuente: Abonadoras Aguirre, disponible en: <http://aguirreagricola.com/abonadoras/abonadora-arrastrada/>

Pero vamos a explicar el proceso de cálculo por partes:

- 1º. Representamos la anchura de distribución de la máquina en un diagrama de barras mostrando los gramos de abono recogido en el eje vertical, y la distancia o anchuras de distribución en el eje horizontal. Para ello suponemos que no hay solapamiento entre pasadas con lo que la anchura de distribución será la mitad que la de trabajo aproximadamente.
- 2º. Teniendo la cantidad de abono en gramos que hay en cada caja, y las cajas diferenciadas de derecha a izquierda, empezamos a considerar el solapamiento entre las pasadas de vuelta añadiendo la cantidad de abono correspondiente a la pasada de ida, y así sucesivamente para cada anchura de trabajo, intercalando las idas con las vueltas, es decir las pesadas de derechas y las de izquierda puesto que se van alternando según el sentido que lleve el tractor.
- 3º. El diagrama de distribución será la suma de los aportes totales de cada pasada, calculado para la anchura de trabajo específica.
- 4º. Para cada anchura de trabajo se calcularán la dosis aplicada media, la desviación acumulada considerando los solapamientos de las pasadas que interfieren, la desviación típica y el Coeficiente de Variación o CV, tal y como detallamos en los apartados sucesivos.
- 5º. Se representa el CV en función de la anchura de trabajo en la gráfica de Coeficiente de Variación como veremos en el apartado 7.7 “Estimación de la anchura de trabajo. Gráfica de Coeficiente de Variación”.

7.6. Cálculo del Coeficiente de Variación

Es el grado de irregularidad en la distribución y viene determinado según la norma UNE-EN 13739-2:2012 [2], por la fórmula (4), [2].

$$CV [\%] = \frac{s [g]}{\bar{x} [g]} \cdot 100 \quad (4)$$

siendo:

- **S** es la desviación típica media, dada por la fórmula (6).
- \bar{x} es la media de las pesadas recogidas, calculada por la fórmula (5).

7.6.1. Dosis Media

La dosis media calculada para el conjunto de las pesadas de las cajas de recogida de abono, se calcula empleando la fórmula (5), según la norma [2].

$$\bar{x} [g] = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i [g] \quad (5)$$

siendo:

- x_i es la cantidad de abono en gramos recogida en cada recipiente después del solapamiento hacia delante y hacia atrás.
- **n** es el número de recipientes colocados en la anchura de trabajo.

7.6.2. Desviación acumulada

Esta desviación [8], [22], representa el grado de alejamiento de cada medida con respecto a la media calculada para el conjunto de las pesadas, y nos indica la cantidad de abono que se aporta de más o de menos con respecto a la media en cada recipiente de medida, simulando las contribuciones de los solapamientos entre diferentes pasadas. Destacar que esta desviación se calcula para cada anchura de trabajo, como explicaremos a continuación.

$$Desviación\ acumulada\ con\ solapamientos = \sum_{i=1}^n |x_i [g] - \bar{x} [g]| \quad (6)$$

siendo:

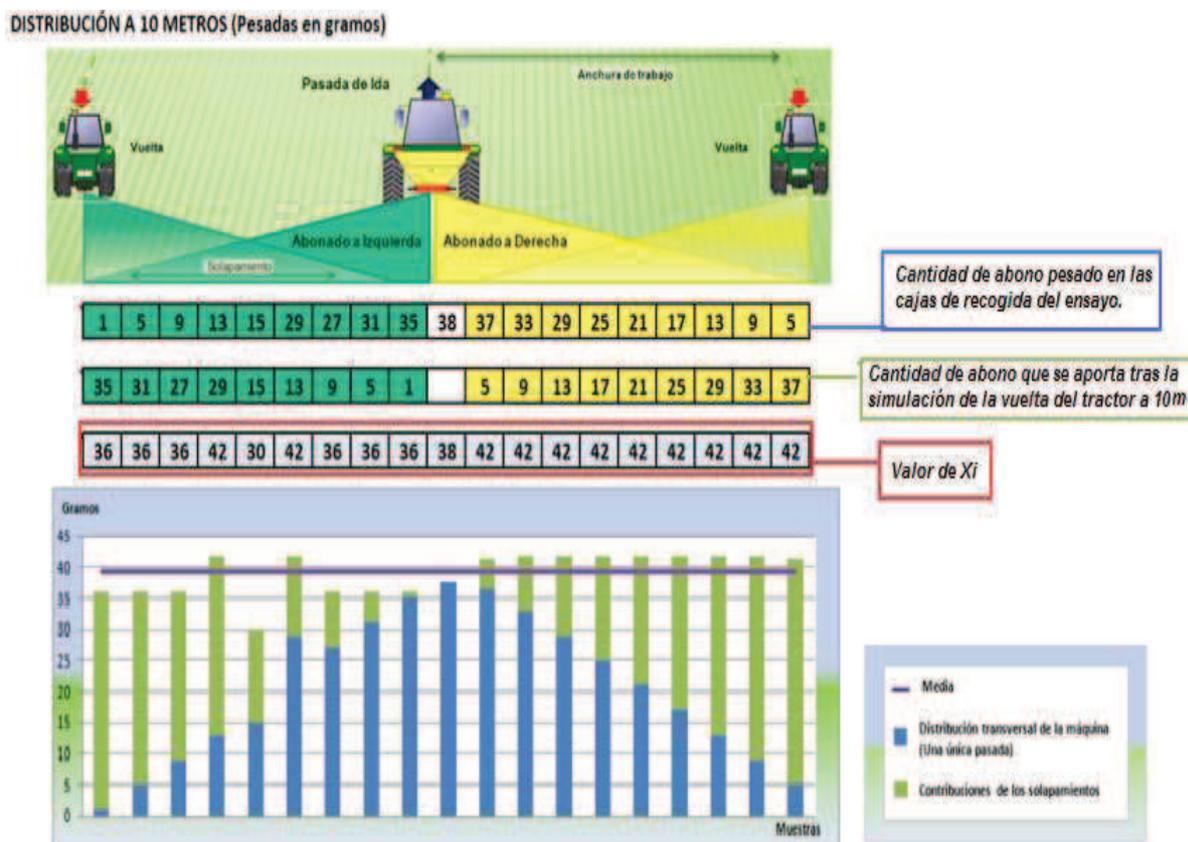
- **n** es el número de recipientes colocados en la anchura de trabajo.
- x_i es la cantidad recogida en cada recipiente después del solapamiento hacia delante y hacia atrás.
 - Si no hay solapamiento entre las pasadas contiguas del tractor, x_i será la cantidad de fertilizante recogido en cada recipiente.
 - Si a la anchura de trabajo considerada hay solapamiento entre pasadas, se considera x_i , como la suma de todas las contribuciones de los solapamientos que se produzcan a la anchura de trabajo considerada.
- \bar{x} es la media de las pesadas recogidas, calculada por la fórmula (5).

Para calcular, lo que denominamos desviación acumulada [8], [22], en el caso de que exista solapamiento entre las diferentes pasadas, es necesario considerar que la abonadora mantiene su perfil de distribución en todas las pasadas tanto de ida como de vuelta.

Para entender la metodología de cálculo exponemos el ejemplo que mostramos en la Figura 20.

Con los datos obtenidos de la distribución de la abonadora de las pesadas recogidas en el ensayo de distribución transversal, tal y como se muestra en la Figura 20, para anchura de trabajo de 10 metros, obtenemos que la desviación acumulada es de 59,37 gramos. Este resultado es obtenido empleando la fórmula (6) con xi igual a la suma de los aportes de los distintos solapes y la cantidad de abono recogida en cada recipiente.

Figura 20. Ejemplo de cálculo de la desviación acumulada [8][22], simulando las contribuciones entre las diferentes pasadas de ida y vuelta y alternando la distribución a derechas y a izquierdas.



Fuente: Elaboración propia.

Además, vemos como se deben alternar los aportes de abono a derechas e izquierdas de la máquina al solaparse pasadas de ida con las vueltas. Xi en todos los casos será la suma de todos los aportes, y el cálculo realizado por el programa automáticamente para cada anchura de trabajo, se debe hacer manualmente para cada anchura de trabajo.

7.6.3. Desviación típica

Se obtiene mediante la fórmula (7), tal y como indica la norma [2].

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i [g] - \bar{x} [g])^2} \tag{7}$$

siendo:

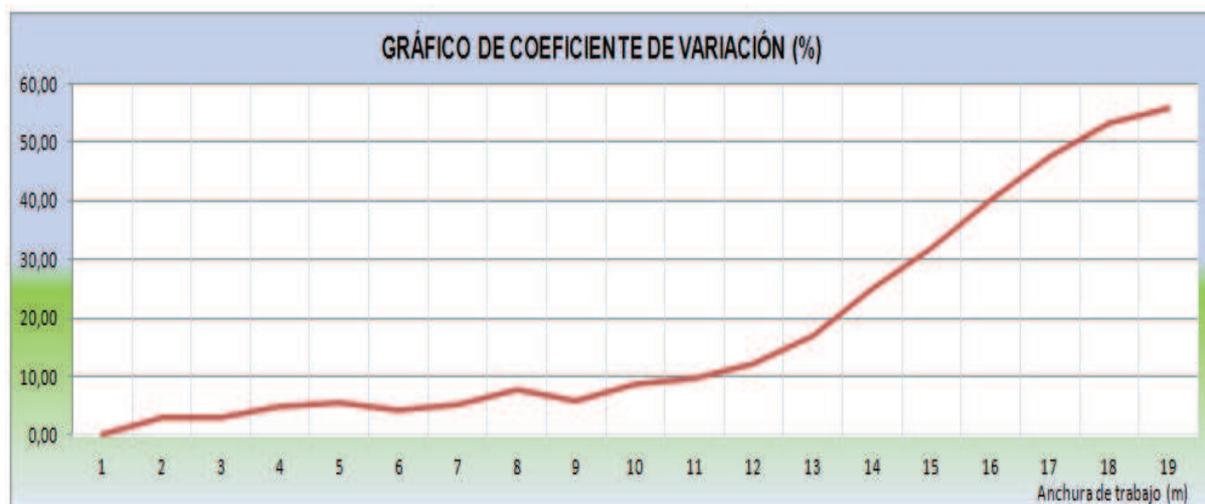
- **n** es el número de recipientes colocados en la anchura de trabajo.

- x_i es la cantidad de abono recogida en cada recipiente en gramos después del solapamiento hacia delante y hacia atrás.
- \bar{x} es la media de las pesadas recogidas, calculada por la fórmula (5).

7.7. Estimación de la anchura de trabajo. Gráfica de Coeficiente de Variación

Una vez calculado el CV en % para cada anchura de trabajo, se representa gráficamente como vemos en la Figura 21.

Figura 21. Gráfico de Coeficiente de Variación.



Fuente: Elaboración propia.

Las anchuras de trabajo óptimas serán las que proporcionen un compromiso adecuado con un CV menor, sin excedernos en el número de pasadas del tractor.

Al agricultor no le interesará tomar anchuras de trabajo reducidas, por comodidad a la hora de realizar los giros con el tractor o por el coste de insumos y/o tiempo que conlleva.

Normalmente se tenderá a elegir una anchura de trabajo lo más amplia posible, pero buscando una distribución homogénea del abonado. Esto se consigue eligiendo el CV mínimo o mínimo relativo a partir de una determinada anchura de trabajo.

Fijándonos en la Figura 21, según el gráfico de CV que se muestra en el ejemplo, con la máquina ensayada podríamos tomar las anchuras de trabajo de 3 a 19 metros. En apartados posteriores explicaremos cuál sería la anchura de trabajo más adecuada y por qué, pero a simple vista se puede intuir que trabajar a 9 metros sería una buena elección.

7.6. Cálculo en los bordes de la parcela

Para los bordes de parcela, se deberán hacer ensayos específicos con los dispositivos de bordeado incorporados en la abonadora.

Para obtener los datos de las pesadas, se procede igual que para el cálculo de diagramas de distribución transversal, solo que en borde no se tendrá en cuenta el solapamiento entre pasadas.

Se calcula la desviación positiva máxima en la distribución transversal en la anchura de borde, teniendo en cuenta únicamente las medidas desde el eje central del tractor hacia el borde, y se compara con la dosis de aplicación media obtenida anteriormente según la fórmula (5). Como es obvio, comentar que el material de ensayo deberá ser el mismo.

El coeficiente para la anchura de transición CT (%) se calcula según la fórmula (8), propuesta por la norma [2].

$$CT [\%] = \frac{S_T [g]}{\bar{x} [g]} \cdot 100 \quad (8)$$

siendo:

- S_T es la desviación típica en la anchura de transición.
- \bar{x} es la dosis media calculada en la fórmula (5).

La desviación típica en la anchura de transición se calcula por la fórmula (9), de acuerdo a la norma [2].

$$S_T [g] = \sqrt{\frac{1}{n_T - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_T} (x_{iT} [g] - \bar{x} [g])^2} \quad (9)$$

siendo:

- n_T es el número total de recipientes en la anchura de transición.
- x_{iT} es la cantidad de abono pesada en cada recipiente de la anchura de transición en gramos.
- \bar{x} es la dosis media calculada en la fórmula (5).

La cantidad de abono que se aporta fuera de la parcela, viene indicado por el valor Y, y se calcula, en caso de utilizar recipientes de 0,50 metros x 0,50 metros, según la fórmula simplificada (10), [2].

$$Y [g] = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^N x_{bi} [g]}{\bar{x} [g]} \quad (10)$$

siendo:

- x_{bi} es la cantidad de abono recogida en cada recipiente en la parte exterior al límite en gramos.
- N es el número de recipientes entre el límite y el primer recipiente vacío.
- \bar{x} es la dosis media calculada en la fórmula (5).

Esta fórmula simplificada se obtiene de la fórmula general desarrollada en la normativa [2] siendo la fórmula (11) de uso general en el resto de situaciones.

$$Y [g] = \frac{\sum_{i=1}^N x_{bi} [g] \cdot l \cdot 1000}{\bar{x} [g] \cdot a} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{bi} [g] \cdot 200 \cdot 1000}{\bar{x} [g] \cdot 40\,000} \quad (11)$$

siendo:

- x_{bi} es la cantidad de abono recogida en cada recipiente en la parte exterior al límite en gramos.
- N es el número de recipientes entre el límite y el primer recipiente vacío.
- \bar{x} es la dosis media calculada en la fórmula (5).
- l es el número de recipientes a colocar a lo largo de 100 metros en el límite. Por ejemplo tomamos el valor de 200.
- a es el número de recipientes a colocar en una hectárea de terreno. Por ejemplo tomamos el valor de 40 000.

El valor Z , es la distancia desde el límite hasta el límite de distribución en metros, y se calcula, para recipientes de 0,5 metros x 0,5 metros, como refleja la fórmula (12), [2].

$$Z [m] = N \cdot 0,5 \quad (12)$$

siendo:

- N es el número de recipientes entre el límite y el primer recipiente vacío.

8. Programa o modelo de cálculo de distribución de abonados

En este apartado, vamos a explicar las funcionalidades del programa desarrollado para el cálculo de la distribución de abonados, cumpliendo con las fórmulas propuestas en las normas UNE-EN 13739-1:2012 [1] y UNE-EN 13739-2:2012 [2], según lo dispuesto en el apartado anterior.

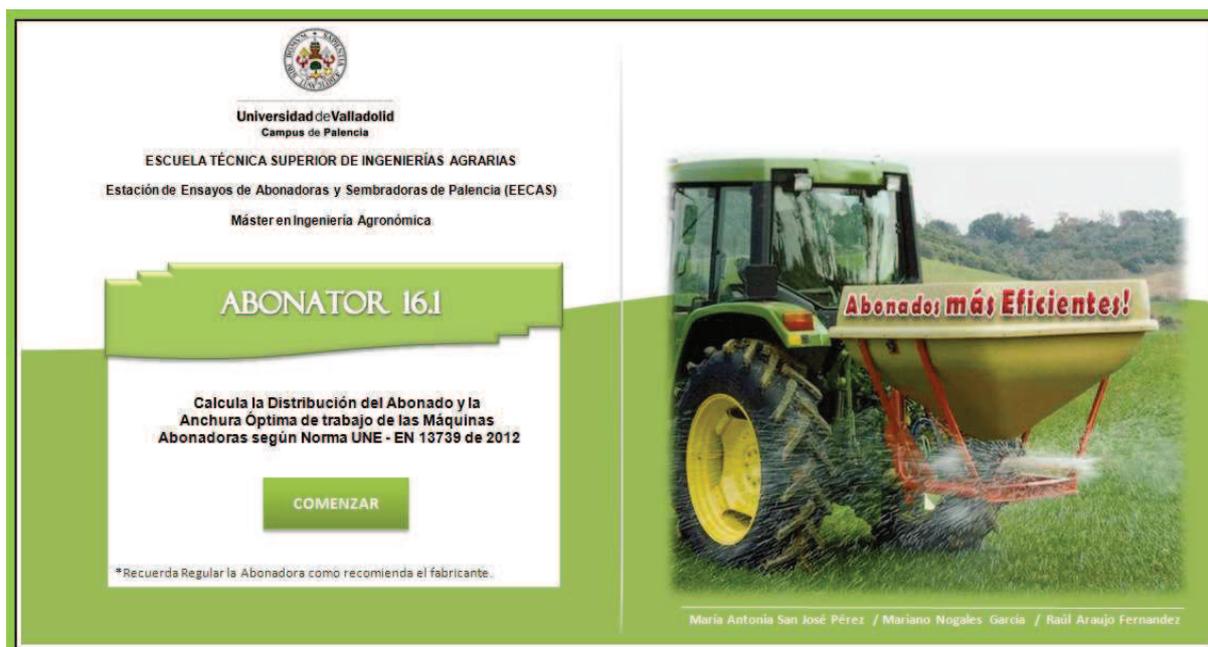
El objetivo del programa es, como hemos indicado al comienzo de la memoria, poder obtener los diagramas de distribución de abonado de manera gráfica y sencilla, para poder hacer interpretaciones de los resultados obtenidos y facilitar la elección de la anchura óptima de trabajo.

Previo al cálculo, mencionar que debemos disponer de las cantidades de abono pesadas obtenidas mediante ensayo de la máquina abonadora en cuestión.

Para comenzar, como vemos en la Figura 22, hemos dispuesto una consola inicial, con el nombre de programa y los cálculos que se pueden realizar con él acorde con la normativa correspondiente. Recomendamos además que se regule la abonadora siguiendo las instrucciones del fabricante.

También indicamos la normativa que regula el desarrollo del programa así como las personas que han intervenido en su ejecución.

Figura 22. Consola inicial.

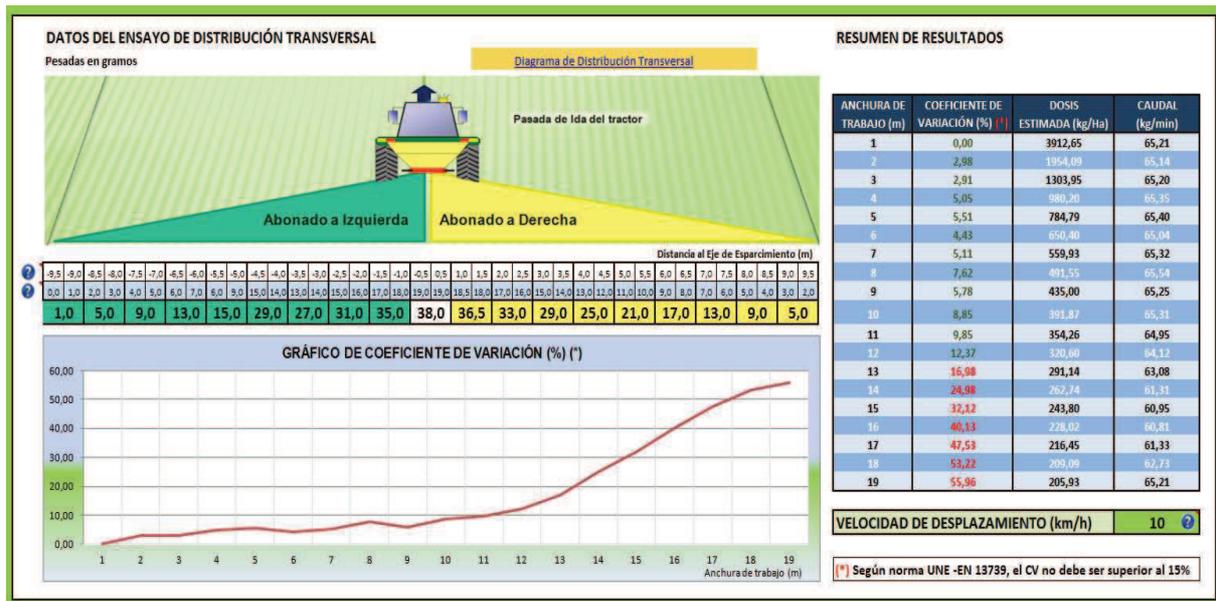


Fuente: Elaboración propia.

Para cambiar de pantalla y poder introducir los datos hemos dispuesto el botón “comenzar”.

Pinchando en el botón “comenzar” pasamos a la consola principal, como mostramos en la Figura 23.

Figura 23. Consola principal.

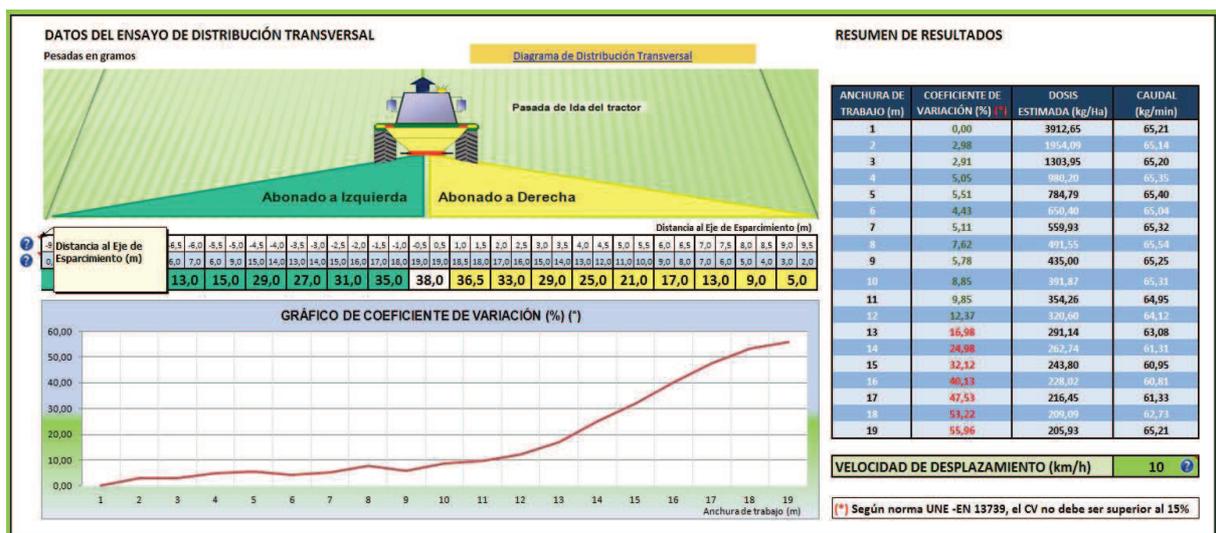


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico superior izquierdo, representamos el perfil de distribución de la máquina en una única pasada del tractor. Diferenciamos la cantidad de abono que se distribuye a derechas y a izquierdas del tractor, y representamos la distancia al eje de esparcimiento.

La distancia al eje de esparcimiento es la distancia desde el eje del tractor al último punto donde se disponen las cajas de recogida. Esta distancia aumenta de 0,5 m en 0,5 m por la dimensión de las cajas de recogida, y se representa hacia la derecha en positivo y hacia la izquierda en negativo, como nos indica el botón de ayuda correspondiente, ver Figura 24.

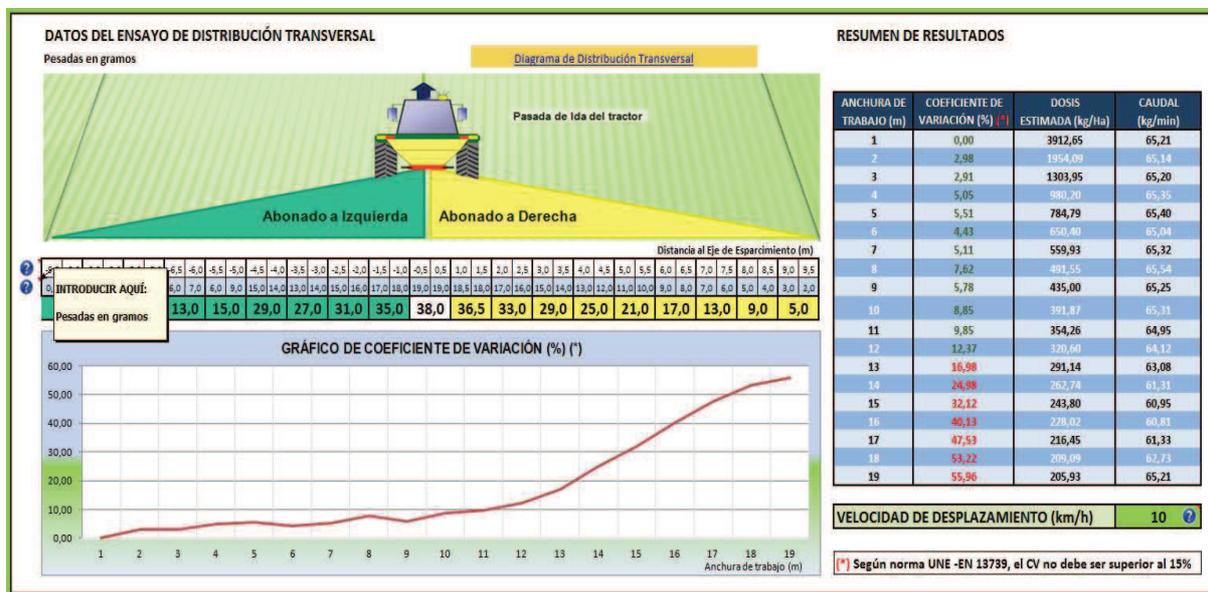
Figura 24. Distancia al eje de esparcimiento en la consola principal.



Fuente: Elaboración propia.

En esta consola, es donde debemos introducir los datos del ensayo de distribución transversal. Estos datos se introducen en las casillas azules, tal y como nos indica el botón de ayuda, ver Figura 25.

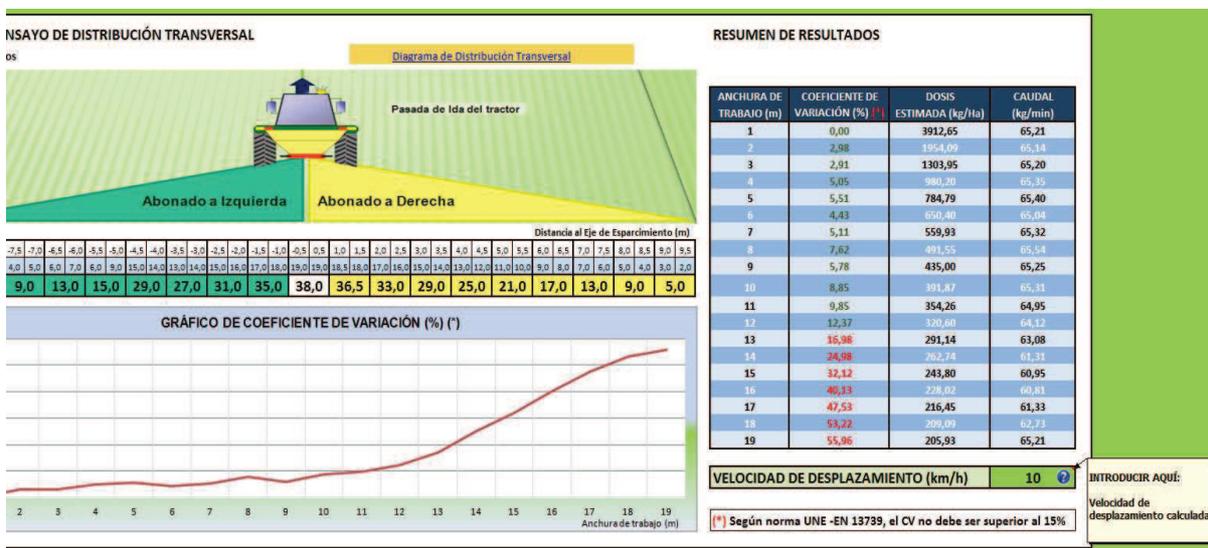
Figura 25. Introducción de datos del ensayo de distribución transversal en la consola principal.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos los datos de las pesadas en gramos de cada caja de recogida, debemos introducir la velocidad de desplazamiento en km/h, como vemos en la Figura 26.

Figura 26. Velocidad de desplazamiento.



Fuente: Elaboración propia.

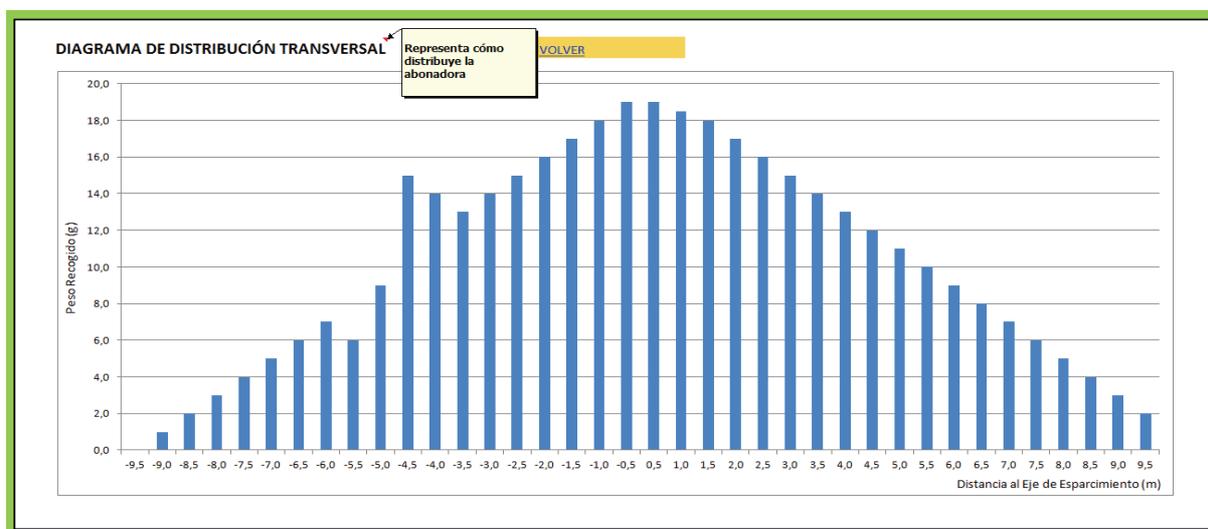
En el cuadro “Resumen de resultados”, aparecen automáticamente los resultados de cálculo correspondientes a los datos introducidos, tal y como puede apreciarse en las Figuras de la 23 a la 26. En este cuadro se representan, para cada una de las anchuras de trabajo en metros, el coeficiente de variación en % obtenido, la dosis estimada en kg/ha, y el caudal esperado en kg/min.

También podemos ver el gráfico de coeficiente de variación en %, calculado para cada una de las anchuras de trabajo.

8.1. Curva de distribución

Desde la consola principal, podemos visualizar el diagrama de distribución de la abonadora, pinchando en el botón “Diagrama de distribución transversal”.

Figura 27. Diagrama de distribución transversal.



Fuente: Elaboración propia.

Este diagrama, como mostramos en la Figura 27, representa el peso recogido de abono en gramos según la distancia al eje de esparcimiento, y nos ayuda a conocer el tipo de perfil de nuestra máquina, su simetría o asimetría, así como posibles irregularidades en la distribución como más adelante explicaremos mediante los ejemplos.

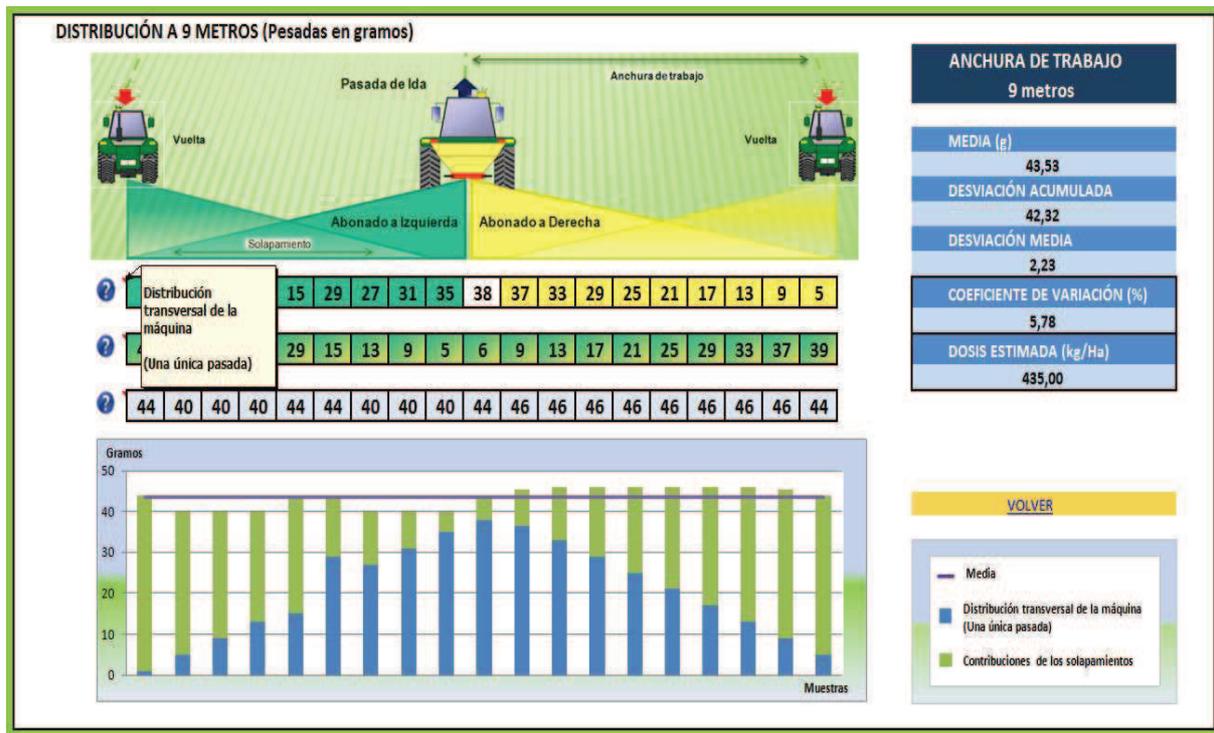
Desde la consola principal también podemos ver la distribución para cada anchura de trabajo pinchando en la anchura de trabajo que deseemos ver del cuadro resumen de resultados (por ejemplo, para ver la distribución a 9 metros de anchura de trabajo, pinchamos en 9).

En la Figura 28, vemos la distribución para la anchura de trabajo de 9 metros, diferenciando la distribución de una única pasada en azul, y las contribuciones aportadas con los solapamientos de varias pasadas, en verde. La línea en morado representa la media de los aportes.

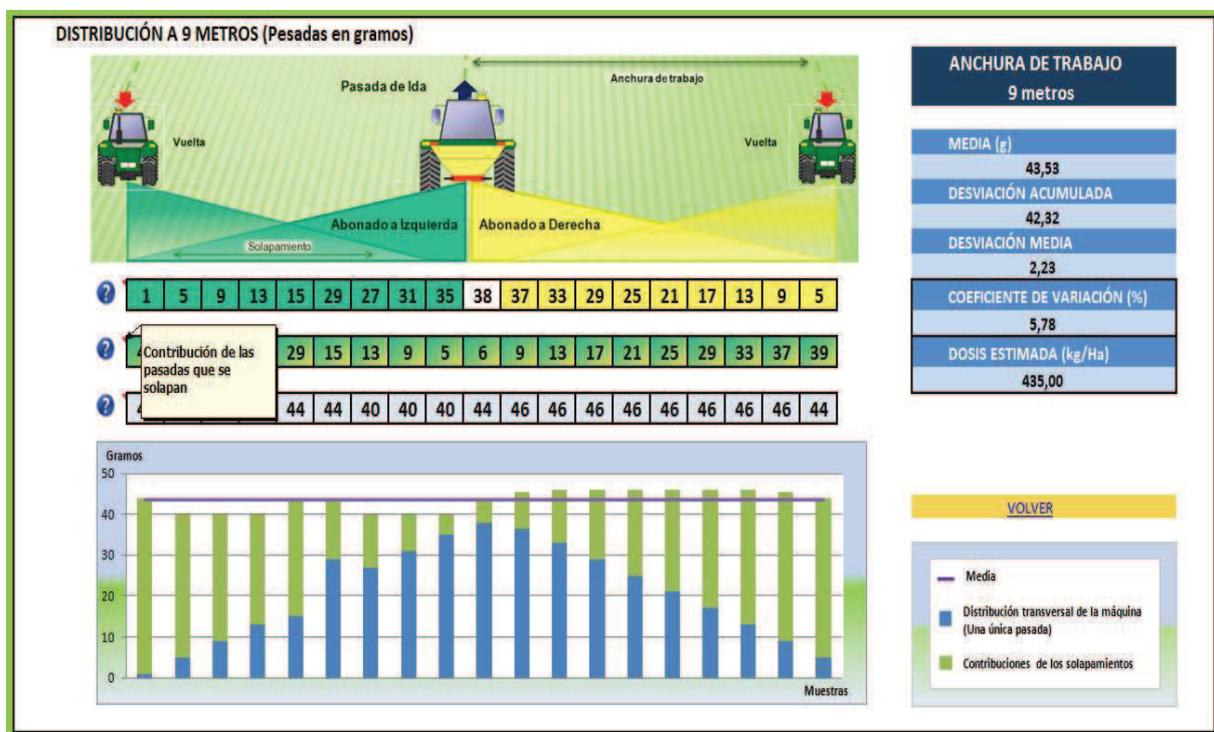
También vemos los resultados de la media, la desviación acumulada, la desviación media, el coeficiente de variación y la dosis estimada para la anchura de trabajo mencionada.

Figura 28. Distribución para anchuras de trabajo de 9 metros.

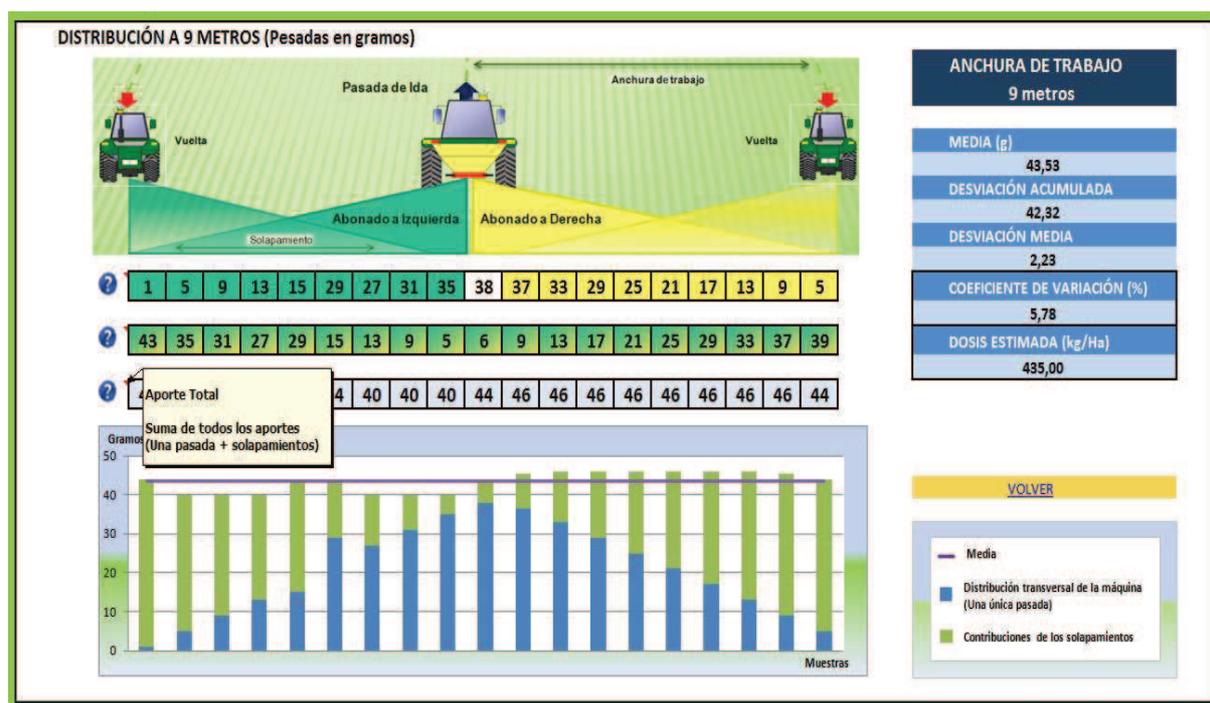
a. distribución de una única pasada



b. contribuciones de los solapamientos



c. aportes totales



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28a, vemos que las cajas de la primera línea recogen los datos de la distribución transversal de la máquina considerando una única pasada a 9 metros.

En la Figura 28b, vemos mediante el botón de ayuda que las cajas de la segunda línea recogen las contribuciones de las pasadas que se solapan.

Y los datos de la última línea, que serán los aportes totales, siendo la suma de la distribución con una única pasada más los solapamientos influyentes a 9 metros, como se indica en la Figura 28c.

Si queremos volver a la consola principal, pinchamos sobre el botón “volver”.

8.1.1. Ejemplos de cálculo

Para poder explicar las funcionalidades del programa, proponemos los siguientes ejemplos:

- Ejemplo 1: distribución triangular asimétrica a la izquierda.
- Ejemplo 2: distribución triangular en el borde de la parcela.

Cada ejemplo es representativo de los problemas que surgen a la hora de realizar la distribución y estos son de dos tipos:

- 1º. Para cálculos de distribución en las zonas intermedias de la parcela, en las que interfiere el solape entre pasadas continuas, planteamos el Ejemplo 1.

- 2º. Para cálculos de distribución en los bordes de la parcela, donde no interfieren los solapamientos, planteamos el Ejemplo 2.

Mediante el Ejemplo 1, analizaremos la curva ideal de distribución que se debe conseguir para obtener un perfil de abonado triangular, pero también haremos una comparación con un perfil de abonado trapezoidal.

También en este ejemplo explicaremos las diferencias entre ambos diagramas de distribución ideales (triangular y trapezoidal), y los diagramas que se suelen obtener en realidad, una distribución de abonado con perfil de doble cresta.

Para simplificar, en cada ejemplo analizaremos detalladamente, según aplique, las siguientes partes:

- 1º. La introducción de los datos.
- 2º. El diagrama de distribución transversal.
- 3º. La distribución obtenida para cada anchura de trabajo y la curva acumulativa de la distribución con solapamiento.
- 4º. La gráfica de coeficiente de variación obtenida para cada anchura de trabajo y estimación de la anchura de trabajo óptima.
- 5º. Resumen de resultados.

Los resultados obtenidos mediante el programa los comentaremos en el apartado 8.1.3 "Resultados".

8.1.2. Datos iniciales y variables que intervienen

Se necesita partir inicialmente de datos de las pesadas en gramos de abono procedentes, bien de ensayos reales de distribución transversal, o bien estimados para simular el comportamiento de las máquinas abonadoras.

Como nuestro programa tiene carácter didáctico, hemos decidido estimar los datos para obtener distintos casos más o menos representativos, y así, poder realizar comparaciones entre lo ideal que se debería obtener y lo que se suele dar en la realidad.

Ejemplo 1: distribución triangular asimétrica a la izquierda

Los datos iniciales de la cantidad de abono recogida en cada recipiente en este caso son estimados, siendo los que se muestran en la Figura 29 en la fila de color azul.

Figura 29. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil triangular.

		Distancia al Eje de Esparcimiento (m)																																			
-9,5	-9,0	-8,5	-8,0	-7,5	-7,0	-6,5	-6,0	-5,5	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	6,0	9,0	15,0	14,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	19,0	18,5	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
<i>Abono recogido en cada recipiente (g)</i>																																					

Fuente: Elaboración propia.

Hemos elegido estos datos, por ser representativos de un perfil de abonado triangular que es lo ideal a conseguir con abonadoras de proyección de un disco.

Para comparar lo que sucede en abonadoras de doble disco, buscaremos obtener un perfil trapezoidal más o menos perfecto. Los datos de partida que planteamos para obtener este perfil de distribución son los que vemos en la Figura 30 en la fila de color azul.

Figura 30. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil trapezoidal.

Distancia al Eje de Esparcimiento (m)																																						
-9,5	-9,0	-8,5	-8,0	-7,5	-7,0	-6,5	-6,0	-5,5	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	
1,0	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	15,0	15,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,5	15,0	14,0	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0	3,0	1,0
Abono recogido en cada recipiente (g)																																						

Fuente: Elaboración propia.

En contraposición, analizamos perfiles de abonado más reales, los que comúnmente se suelen obtener en ensayos de distribución de abonadoras, que son los perfiles de doble cresta, con datos iniciales que representamos en la Figura 31.

Figura 31. Datos iniciales Ejemplo 1. Perfil de doble cresta.

Distancia al Eje de Esparcimiento (m)																																									
-9,5	-9,0	-8,5	-8,0	-7,5	-7,0	-6,5	-6,0	-5,5	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5				
2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,5	13,5	14,5	15,0	15,5	16,5	16,0	15,6	15,0	15,0	14,5	14,5	15,0	15,0	14,5	14,5	15,0	15,0	14,5	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	16,5	16,0	15,5	15,0	14,0	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0	3,0	1,0
Abono recogido en cada recipiente (g)																																									

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo 2: distribución triangular en el borde de la parcela

Para analizar el caso del borde, los datos iniciales de partida serán los que presentamos en la Figura 32 en la fila de color azul.

Figura 32. Datos iniciales Ejemplo 2. Perfil triangular en el borde.

Distancia al Eje de Esparcimiento (m)																																							
-9,5	-9,0	-8,5	-8,0	-7,5	-7,0	-6,5	-6,0	-5,5	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5		
1,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	14,5	14,0	15,0	14,0	15,0	14,0	15,0	15,0	16,0	16,5	18,0	17,0	17,5	17,0	16,5	16,0	15,0	13,5	9,5	7,0	5,0	3,0	1,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abono recogido en cada recipiente (g)																																							

Fuente: Elaboración propia.

También se precisa el dato de la velocidad, que se recomienda calcular mediante las fórmula (2). La normativa para ensayos de distribución acepta que se utilicen velocidades de 4, 8, 10 o 12 km/h, tal y como hemos explicado en el apartado 7.5 “Velocidad de trabajo y régimen de la toma de fuerza”.

8.1.3. Resultados

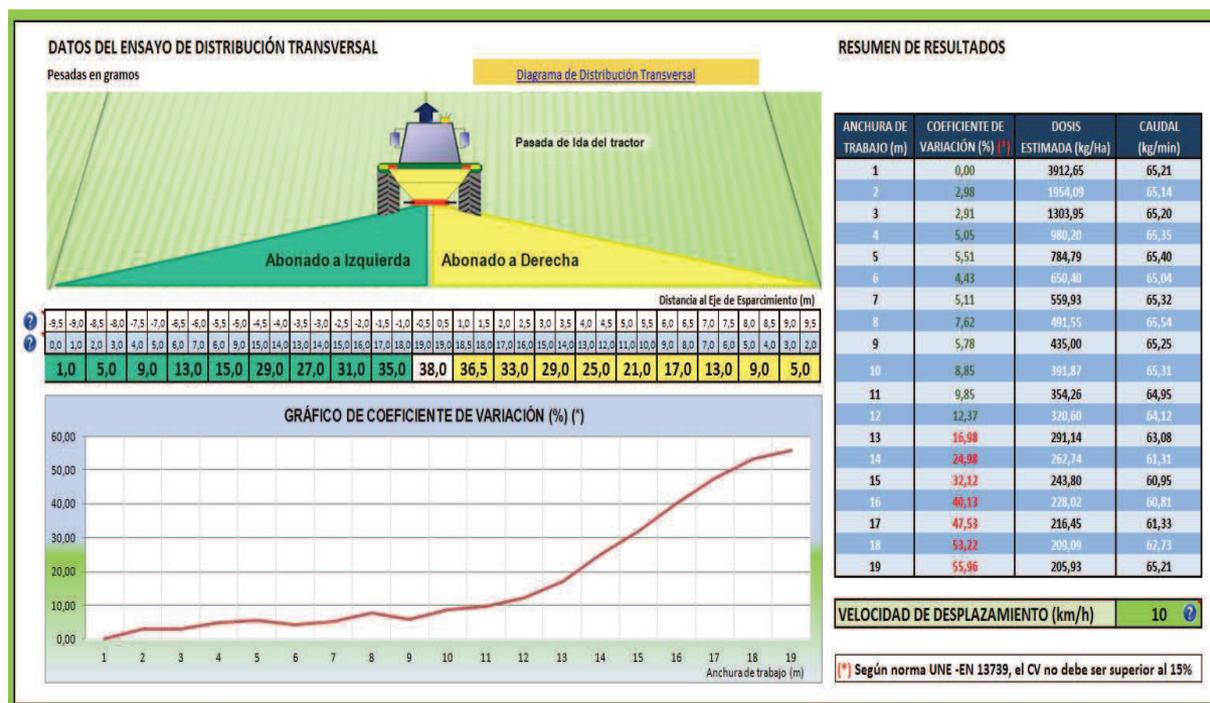
Ejemplo 1: distribución triangular asimétrica a la izquierda

1º. La introducción de los datos.

- Abrimos el programa y damos al botón de “comenzar” que nos llevará a la consola principal.
- Introducimos en los cuadrados azules, los datos de las pesadas obtenidas del ensayo de distribución. Es decir, el abono en gramos que esparce la máquina cada 0,5 metros desde el eje hacia los bordes en sentido derecho e izquierdo.
- Introducimos la velocidad de desplazamiento en la casilla verde.

En el Ejemplo 1, los datos introducidos serán los que mostramos en la Figura 33 en la pantalla principal.

Figura 33. Introducción de datos Ejemplo 1.

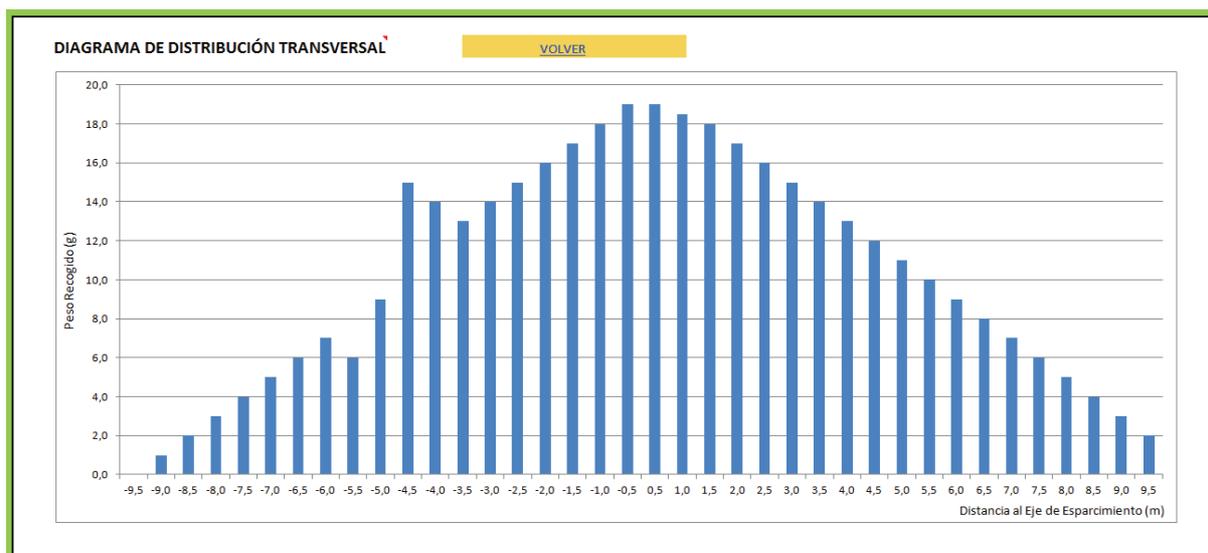


Fuente: Elaboración propia.

2º. El diagrama de distribución transversal.

Una vez introducidos los datos pinchamos en el botón “diagrama de distribución transversal” para ver cómo distribuye nuestra máquina, diagrama que podemos observar en la Figura 34.

Figura 34. Diagrama de Distribución Transversal Ejemplo 1.



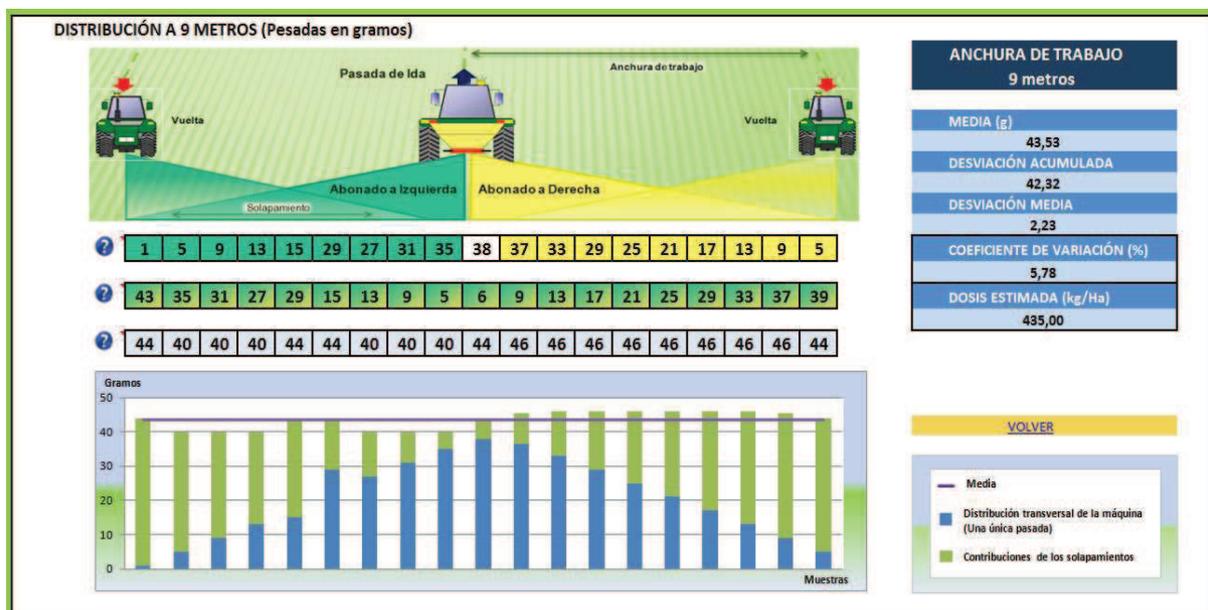
Fuente: Elaboración propia.

Para volver a la pantalla principal pinchamos en el botón “volver”.

3º. La distribución obtenida para cada anchura de trabajo.

Si pinchamos en la anchura de trabajo de la tabla resumen de resultados tenemos la distribución que se obtiene para esa anchura de trabajo y la curva acumulativa de la distribución con solapamiento hacia delante y hacia atrás, como podemos ver en la Figura 35.

Figura 35. Distribución para la anchura de trabajo de 9 m y curva acumulativa de la distribución con solapamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Es muy importante la curva acumulativa de la distribución con solapamiento, pues nos dará idea de la uniformidad de distribución para la anchura de trabajo elegida.

- 4º. La gráfica de coeficiente de variación obtenida para cada anchura de trabajo y estimación de la anchura de trabajo óptima.

El cálculo del coeficiente de variación en % se calcula para cada una de las anchuras de trabajo, y se muestra en las consolas de cada anchura de trabajo para esa anchura en particular.

En la consola principal, representamos la gráfica de coeficiente de variación, como vemos en la Figura 36.

Figura 36. Gráfica de coeficiente de variación Ejemplo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Esta gráfica es útil para comparar los coeficientes de variación obtenidos de cada una de las anchuras de trabajo y, en base a sus variaciones y requisitos previos, estimar la anchura de trabajo óptima.

- 5º. La tabla resumen de resultados.

En la Figura 37, en la parte derecha, presentamos un cuadro o tabla donde se resumen los resultados calculados para cada anchura de trabajo:

- Coeficiente de variación.
- Dosis estimada en kg/ha.
- Caudal en kg/min.

Este resumen de resultados aparece en la consola principal, para ver más rápidamente los datos calculados y compararles.

Como vemos en la Figura 38, los dispositivos de bordeado suelen acortar la anchura de distribución hacia el lado del borde, por lo que en el extremo de distribución del lado del borde, en nuestro caso a la derecha, los valores serán próximos a cero.

Figura 38. Introducción de datos para el bordeado del Ejemplo 2.



Fuente: Elaboración propia.

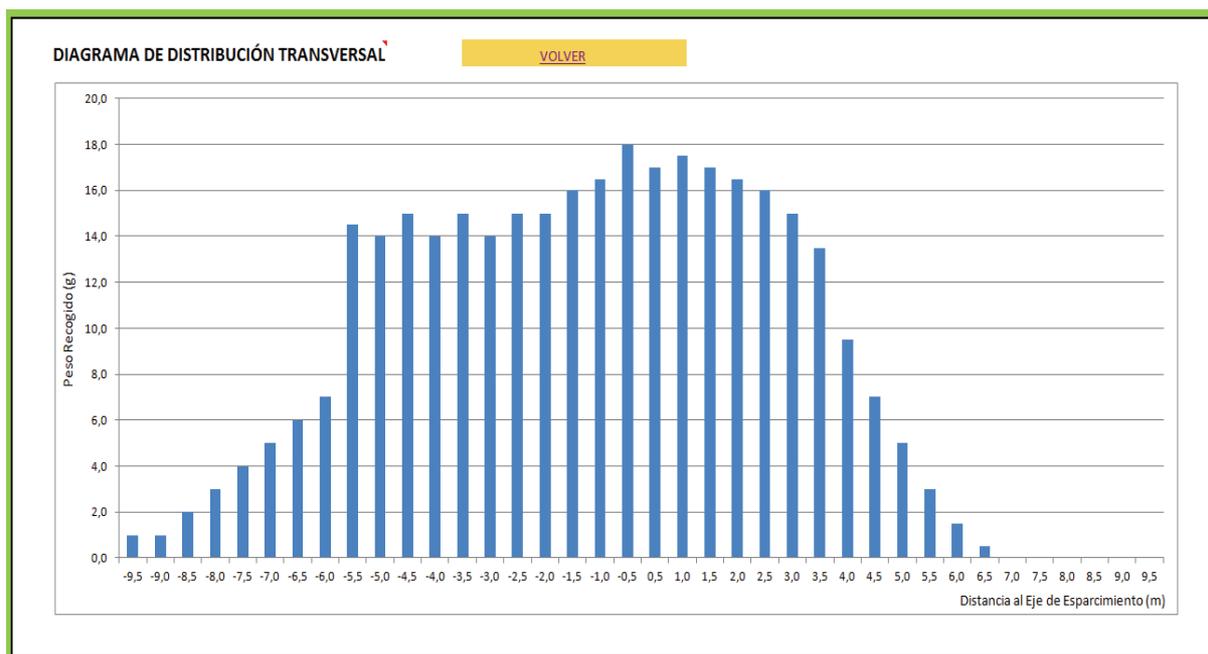
También debemos introducir la velocidad de desplazamiento en km/h, tal y como se ha realizado para el anterior Ejemplo.

2º. El diagrama de distribución transversal.

Una vez introducidos los datos, clicamos en el botón “diagrama de distribución transversal” que nos lleva a la consola de dicho diagrama.

En la Figura 39, visualizamos el diagrama de distribución transversal para los datos introducidos, que lógicamente, nos presenta una pirámide asimétrica. Comprobamos cómo en los puntos más alejados del eje de esparcimiento del lado derecho, los pesos de fertilizante recogido son nulos.

Figura 39. Diagrama de distribución transversal para el bordeo del Ejemplo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Analizando el diagrama de distribución, se puede obtener la distancia a la que debería pasar el tractor desde el borde y que mantiene una dosis aceptable en el lado del borde. Según el ejemplo que mostramos en la Figura 39, como vemos debería ser de aproximadamente 4,5 metros o 5 metros.

El resto de funcionalidades del programa, no se deben tener en cuenta para analizar la distribución en los bordes.

Tanto la distribución obtenida para cada anchura de trabajo y la curva acumulativa de la distribución con solapamiento, así como la gráfica de coeficiente de variación obtenida para cada anchura de trabajo y estimación de la anchura de trabajo óptima, no presentan cálculos válidos para el bordeo porque tienen en cuenta el solapamiento entre pasadas.

3º. Resumen de resultados

Los resultados del bordeo se pueden estimar interpretando el diagrama de distribución transversal, Figura 39, o pinchando en el botón "Resultados Bordeo", que nos llevará a la pantalla exclusiva de resultados para el bordeo.

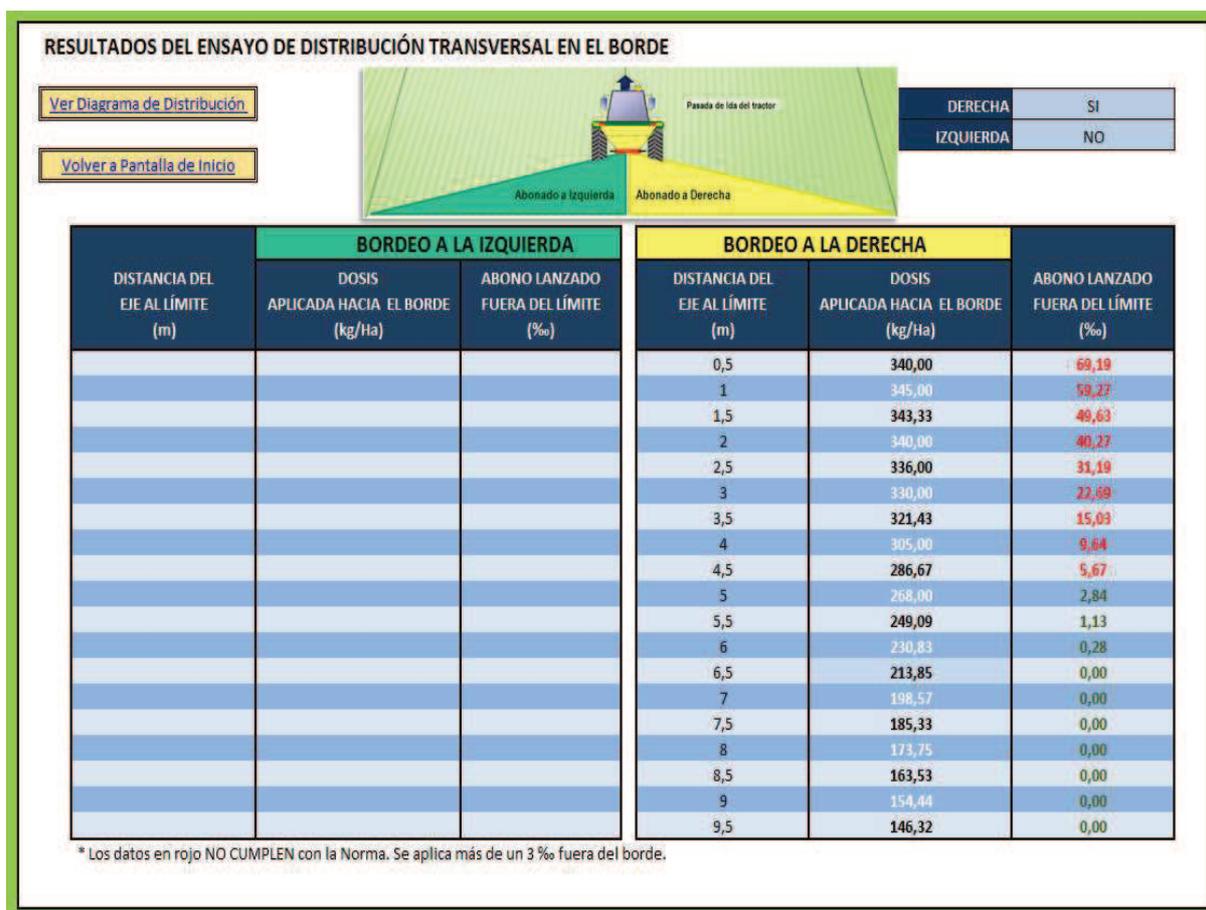
Los resultados de la consola principal no son aplicados para el bordeo, no se deben considerar y no se deben tener en cuenta.

La distancia al eje de esparcimiento en el lado del bordeo determinará la anchura de trabajo en el lado del borde, tanto si se realiza el bordeo desde el borde o hacia el borde.

Presentamos en la pantalla de “Resultados Bordeo”, como se muestra en la Figura 40, los siguientes resultados obtenidos para el borde:

- Dosis estimada en kg/ha de aplicación, según la distancia del eje de esparcimiento al límite de la parcela.
- La cantidad de abono en ‰ lanzada fuera del límite de la parcela.

Figura 40. Resultados del ensayo de distribución transversal en el borde.



Fuente: Elaboración propia.

El límite de la parcela puede estar tanto hacia la derecha como hacia la izquierda, por lo que se presentan los cálculos del borde para ambos lados del eje de esparcimiento y hay que señalar en el programa hacia qué lado tenemos el borde.

En el caso de que el límite de la parcela se encuentre hacia el lado derecho, se deben consultar los datos de la columna derecha, es decir del bordeo hacia la derecha y en el caso contrario los de la columna izquierda.

Es interesante comparar la dosis de aplicación obtenida en el lado del borde, con la dosis estimada para el centro de la parcela y que se ha obtenido previamente

mediante el ensayo de distribución transversal, tal y como mostramos en el Ejemplo 1.

Recomendamos hacer los dos tipos de análisis para determinar la dosis adecuada.

En el lado del borde se debe intentar que la dosis estimada, que representamos en la Figura 40, sea lo más cercana posible a la del resto de la parcela a fin de obtener buena uniformidad en el borde.

Tampoco hay que olvidar que según la normativa, no se debe aportar más de un 3‰ de abono fuera del límite de la parcela, con lo que se deben descartar las distancias al límite de la parcela que lancen más de esa cantidad fuera de la parcela.

En el programa señalamos en color rojo cuando las cantidades que se lanzan fuera de la parcela son superiores al 3‰, con lo que se debe evitar trabajar a esas distancias del límite de la parcela.

9. Análisis de resultados

En este apartado pretendemos analizar los resultados obtenidos en los dos ejemplos de cálculo mostrados en el apartado anterior, incidiendo en la interpretación de los resultados.

Algunas de las figuras y gráficas a las que hacemos referencia en el análisis de resultados, se encuentran recogidas en el apartado anterior.

Ejemplo 1: distribución triangular asimétrica a la izquierda

Mediante este ejemplo, se obtiene una representación de la distribución en las zonas intermedias de la parcela. En las que la distancia de solapamiento entre varias pasadas es fundamental para conseguir distribuciones homogéneas en el conjunto de la parcela.

Con los datos introducidos, obtenemos un diagrama de distribución de la máquina abonadora de perfil más o menos triangular, pero asimétrico a su izquierda, como se mostró en la Figura 34.

Esta asimetría, produce una incorrecta distribución en la parte izquierda a distancias de 5,5 a 4 metros, y que puede ser debida a varios factores:

- Interferencias entre los gránulos del fertilizante empleado.
- Choques de los gránulos del abonado con partes del chasis de la abonadora o del tractor.
- Incorrecto funcionamiento del disco de distribución hacia el lado izquierdo.

A pesar de ello, analizando el efecto del solapamiento entre las distintas pasadas, vemos cómo este problema de asimetría se consigue corregir.

Para ello, estudiamos la distribución para cada anchura de trabajo. En la Figura 37, se observó el resumen de resultados para ver rápidamente como varía el CV (%) y las dosis estimadas por cada anchura de trabajo.

Las anchuras de trabajo de pocos metros, 1 metro, 2 metros, 3 metros o 4 metros, consiguen distribuciones muy homogéneas pero con dosis de aplicación muy elevadas. Estas anchuras de trabajo no se utilizan en la práctica por el inconveniente de tener que incrementar el número de pasadas con el tractor, ocasionando un coste económico mayor y daños medioambientales.

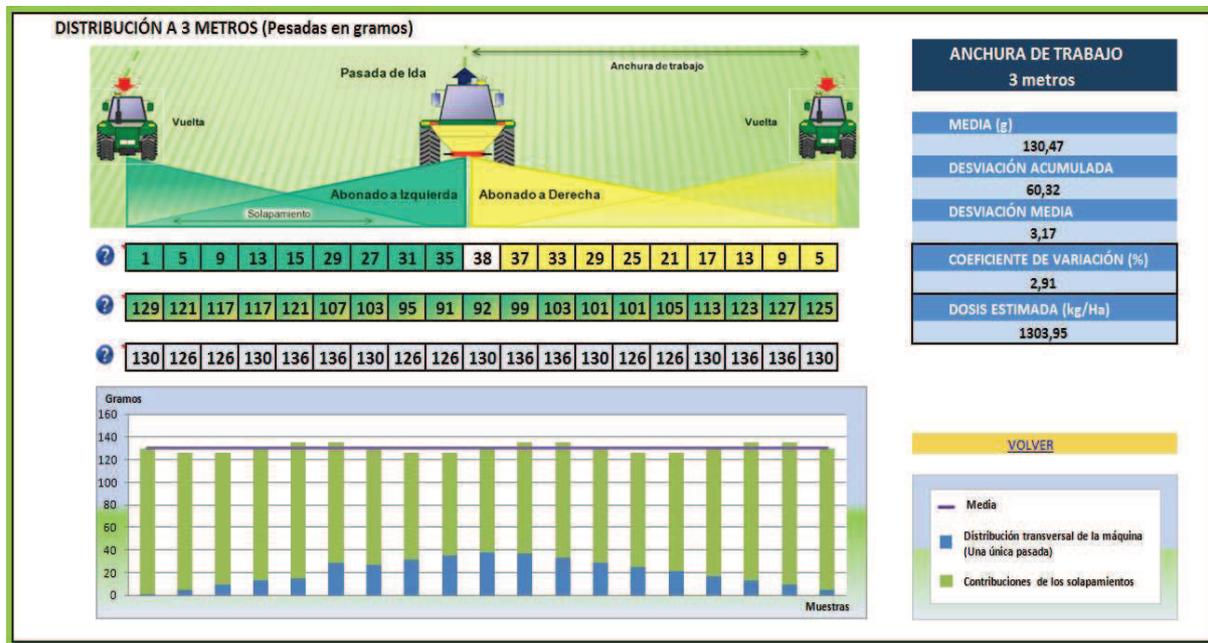
Por el contrario, en anchuras de trabajo de 13 metros en adelante la variación es muy significativa y los aportes, y por tanto la distribución, muy irregular. El programa además señala los valores de CV (%) en rojo, lo cual indica que, a partir de 13 metros, las irregularidades son superiores al límite del 15% propuesto en la normativa.

En la Figura 41 vemos como la curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 3 metros, no presenta grandes desviaciones respecto a la media, mientras que en la Figura 42, se observa la curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 15 metros, siendo notable su irregularidad.

En estas anchuras de trabajo tan grandes, el solapamiento entre las pasadas consecutivas no llega a cubrir la dosis necesaria, siendo mucho menos uniforme su distribución.

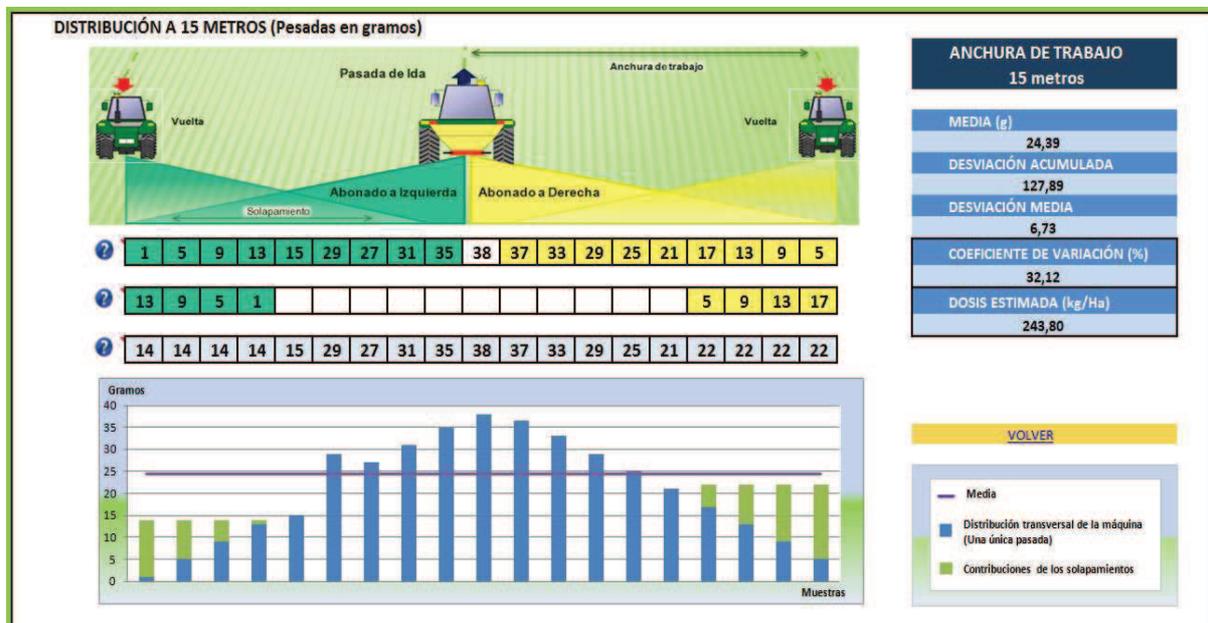
Cuando la anchura de trabajo es aproximadamente la mitad de la anchura de distribución de la máquina, es decir a 9 metros, como vemos en la Figura 35, el CV es de 5,78%, lo que indica una buena distribución, alcanzando un compromiso adecuado entre la dosis y la uniformidad.

Figura 41. Curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 3 metros.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Curva de distribución acumulada para anchuras de trabajo de 15 metros.



Fuente: Elaboración propia.

También vemos en la gráfica inferior de la Figura 35, cómo la cantidad de abono aplicada con una única pasada del tractor (barras en azul), se complementa en los bordes de distribución con los aportes de las pasadas contiguas (barras en verde), para obtener una dosis bastante homogénea y cercana a la media.

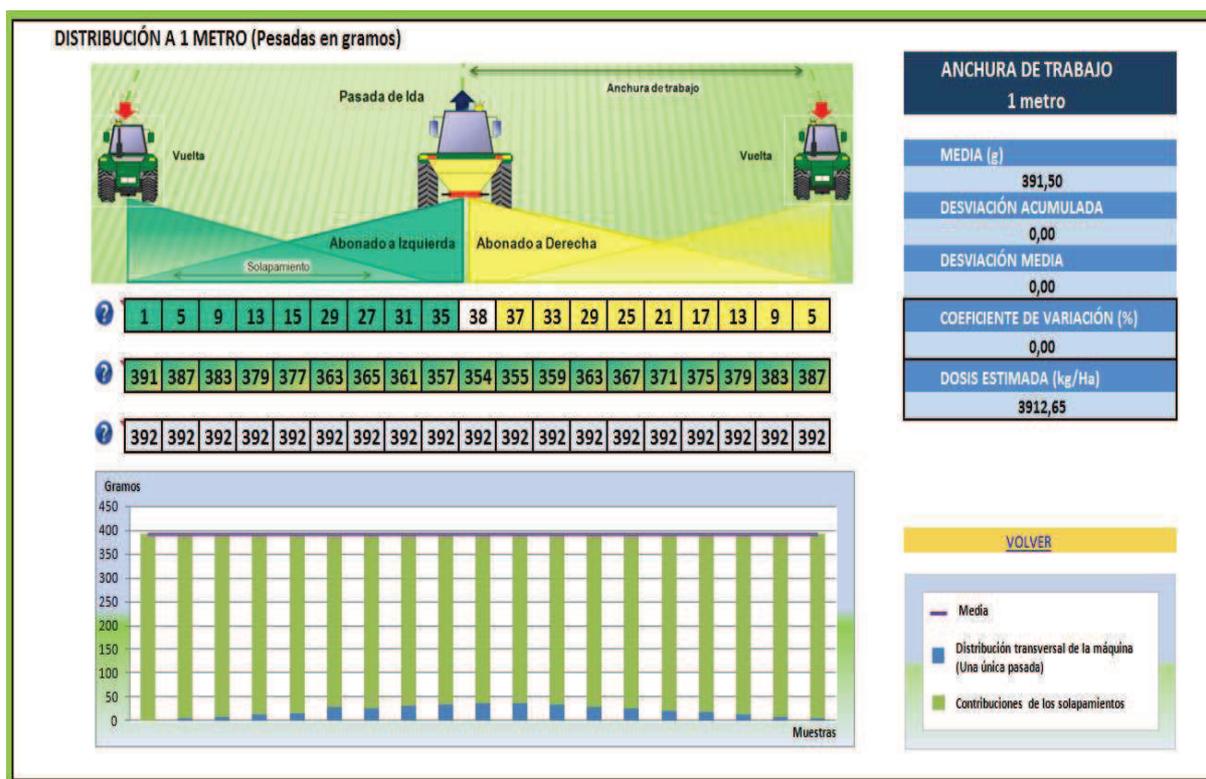
Las gráficas de distribución calculadas para cada anchura de trabajo y sus curvas acumuladas considerando los solapamientos entre las distintas pasadas, son las que representamos en las Figuras 43 a 61 y nos ayudan a comprender mejor la diferencia en la distribución entre las distintas anchuras de trabajo.

Es razonable pensar que anchuras de trabajo de 1 a 4 metros, o incluso de 5 metros, no son interesantes por considerarse inviable y carecer de sentido práctico dar tantas pasadas con el tractor. Pero nos pareció interesante añadir los cálculos, para comparar los extremos: trabajar a anchuras de trabajo excesivas o elegir anchuras de trabajo demasiado pequeñas.

Comparando e interpretando los resultados reflejados en las Figuras 43 a 47, podemos aclarar las siguientes cuestiones básicas: ¿Cuándo la distribución de abonado es homogénea? ¿Es el CV mínimo el que determinará la anchura de trabajo óptima? ¿Son admisibles las dosis estimadas para anchuras de trabajo tan pequeñas?

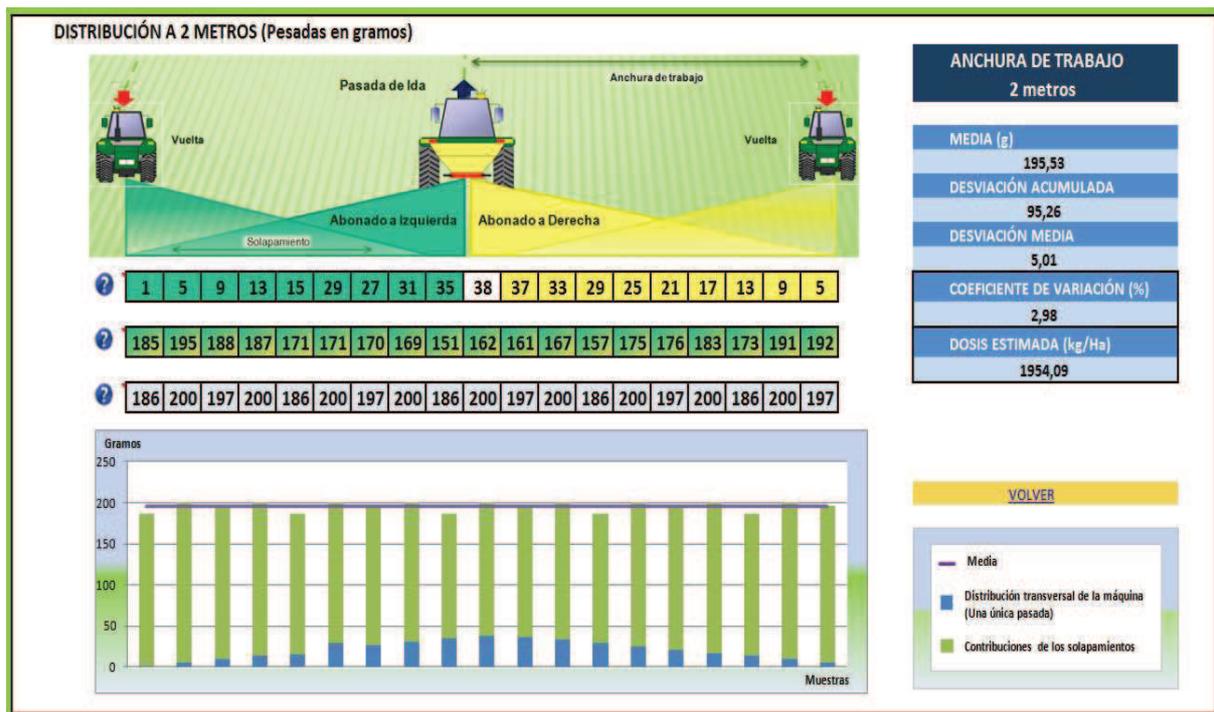
La respuesta a tales cuestiones es inmediata, no interesan anchuras de trabajo reducidas aunque se consigan distribuciones más homogéneas de abonado.

Figura 43. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 1 m.



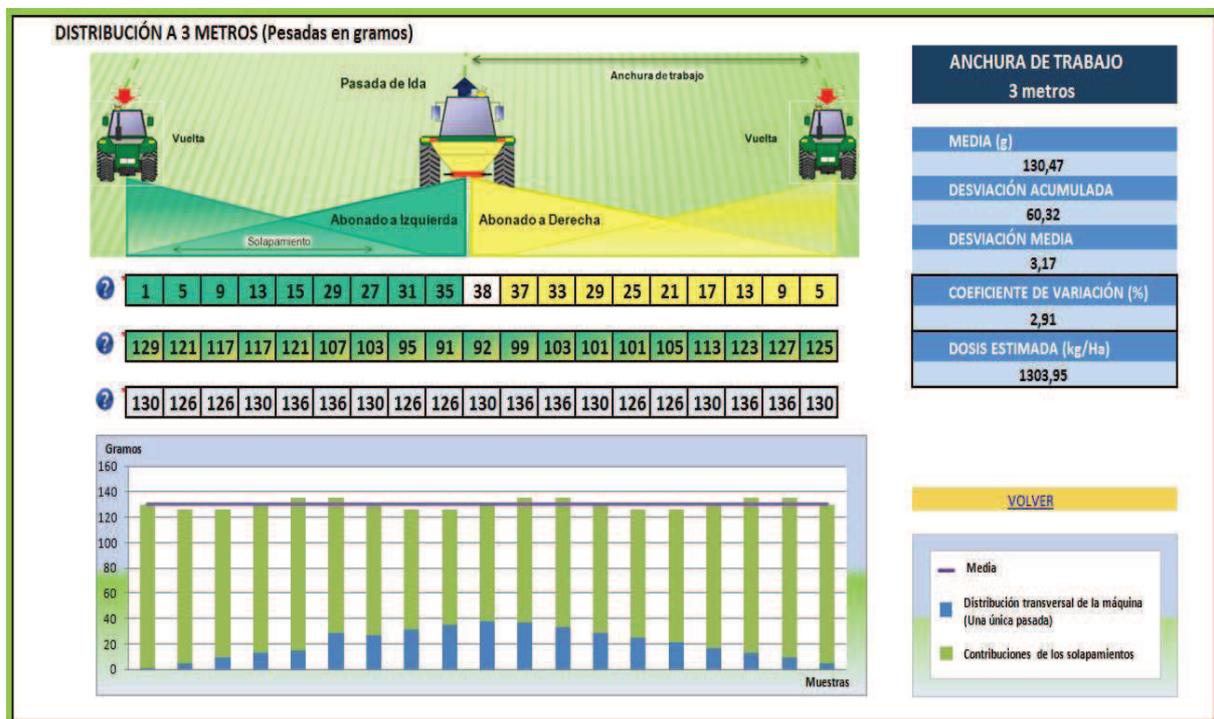
Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 2 m.



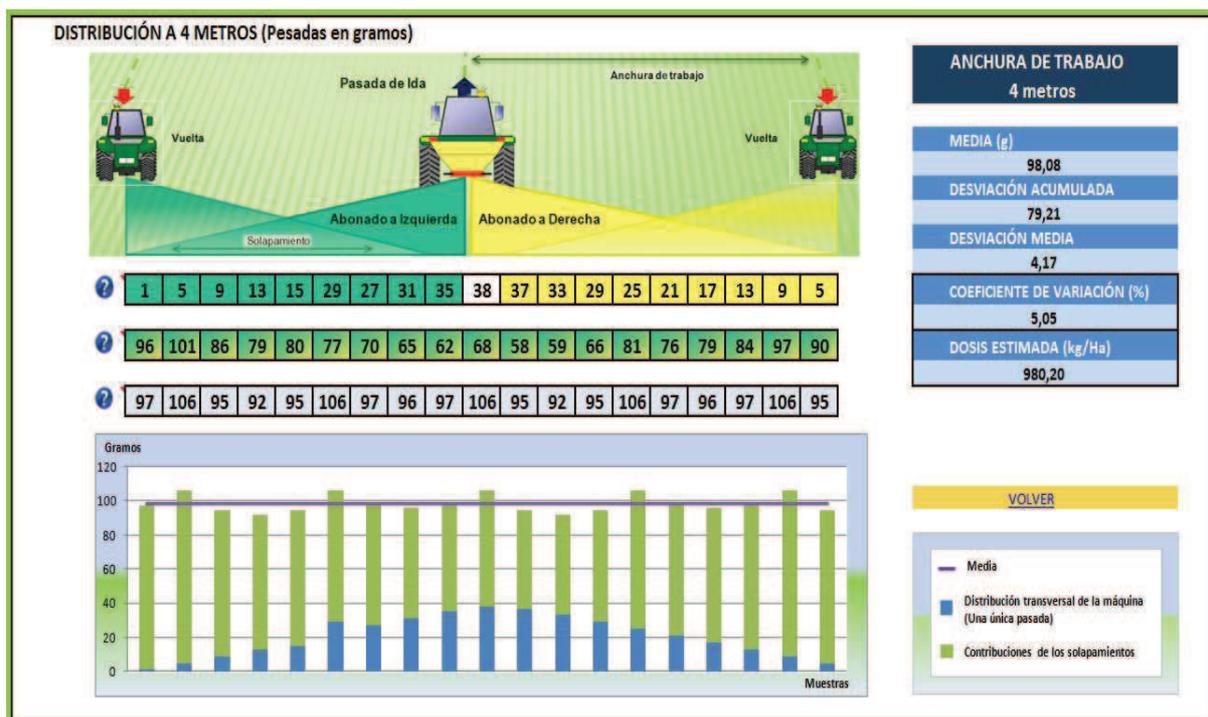
Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 3 m.



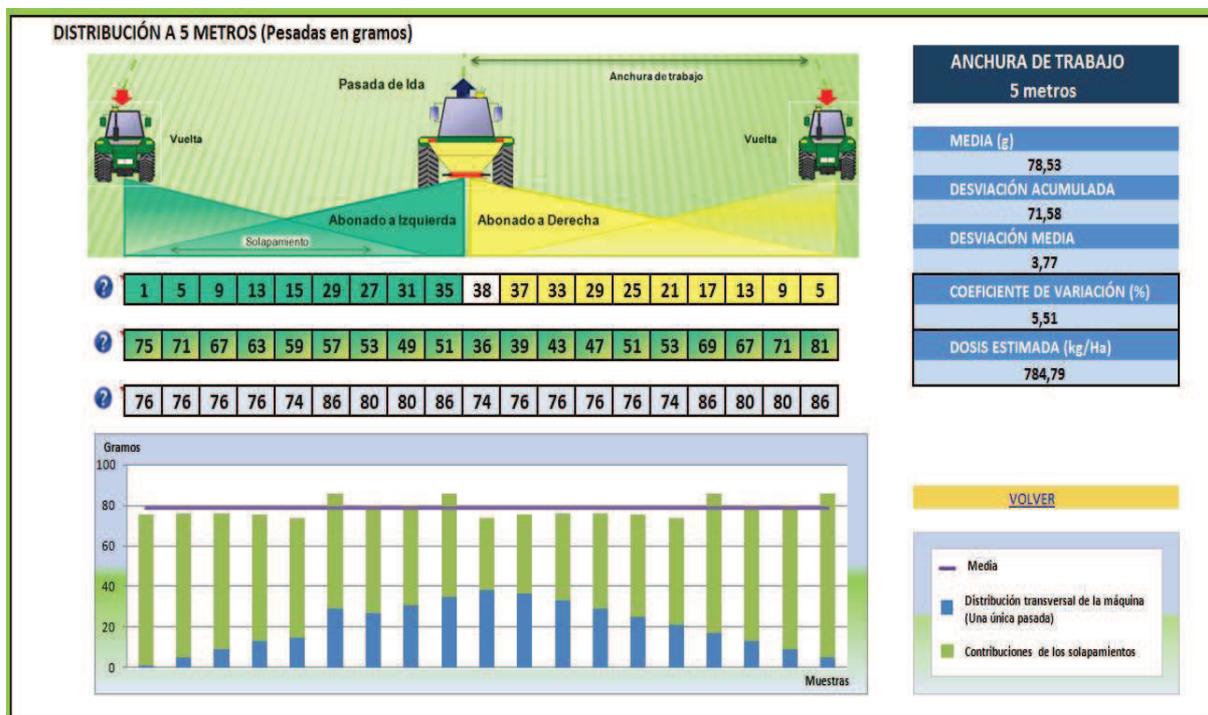
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 4 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 5 m.



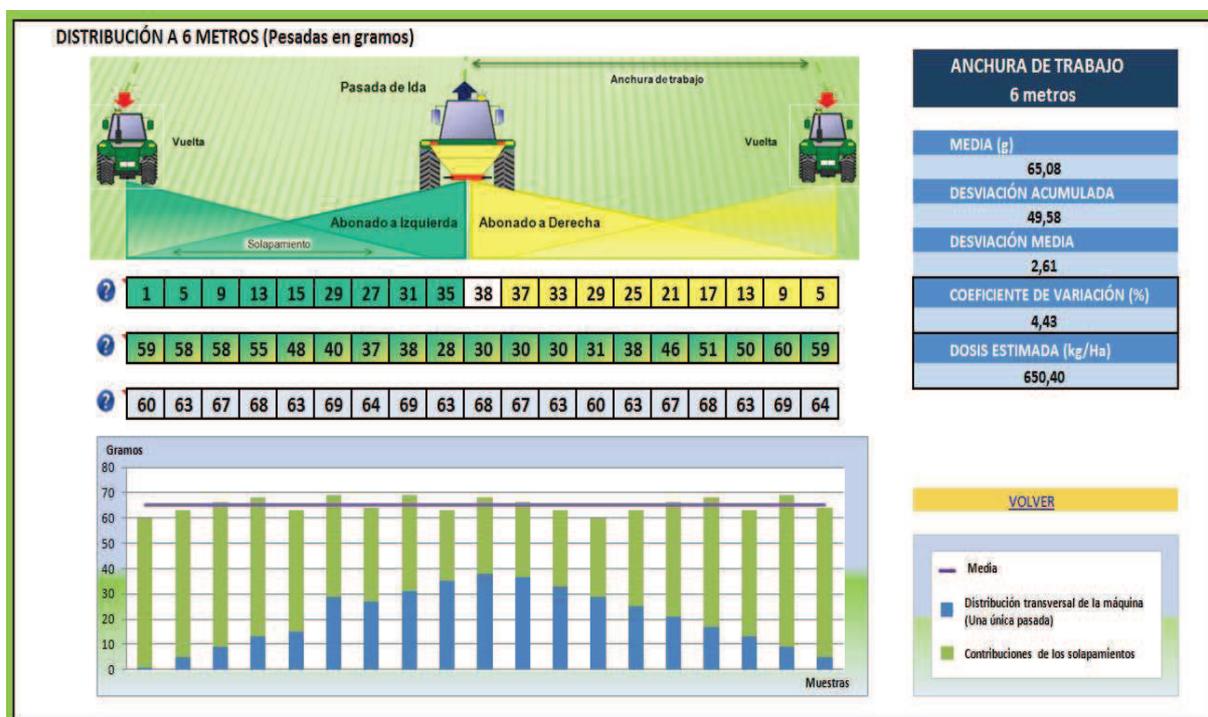
Fuente: Elaboración propia.

Las conclusiones al elegir anchuras de trabajo demasiado pequeñas son las siguientes:

- La distribución del abono es más homogénea cuando se eligen anchuras de trabajo pequeñas. El CV o grado de irregularidad en la distribución tiende hacia su mínimo (trabajando a 1 metro este coeficiente es cero, Figura 43), pero no es el único factor a tener en cuenta.
- El CV mínimo no determina la anchura de trabajo óptima.
- Las dosis de aplicación que se estima en kilogramo de fertilizante por hectárea se dispara cuando se eligen anchuras de trabajo reducidas.
- Fijándonos únicamente en esta dosis podemos afirmar que se aplica mayor cantidad de fertilizante por hectárea eligiendo anchuras de trabajo reducidas, cuestión que se debe vigilar para no excedernos en la dosis de abonado.
- De este hecho, también podemos entender que al trabajar a menores distancias, el gasto en la operación de abonado se dispara. Se aporta más cantidad de fertilizante, pero también aumentan los insumos derivados del uso de la maquinaria, más consumo de gasoil y más desgaste, así como mayor tiempo invertido en la labor de abonado.

Centrándonos en la dosis estimada (kg/ha) o dosis de aplicación de la Figura 48, observamos cómo para 6 metros de anchuras de trabajo, esta empieza a disminuir considerablemente.

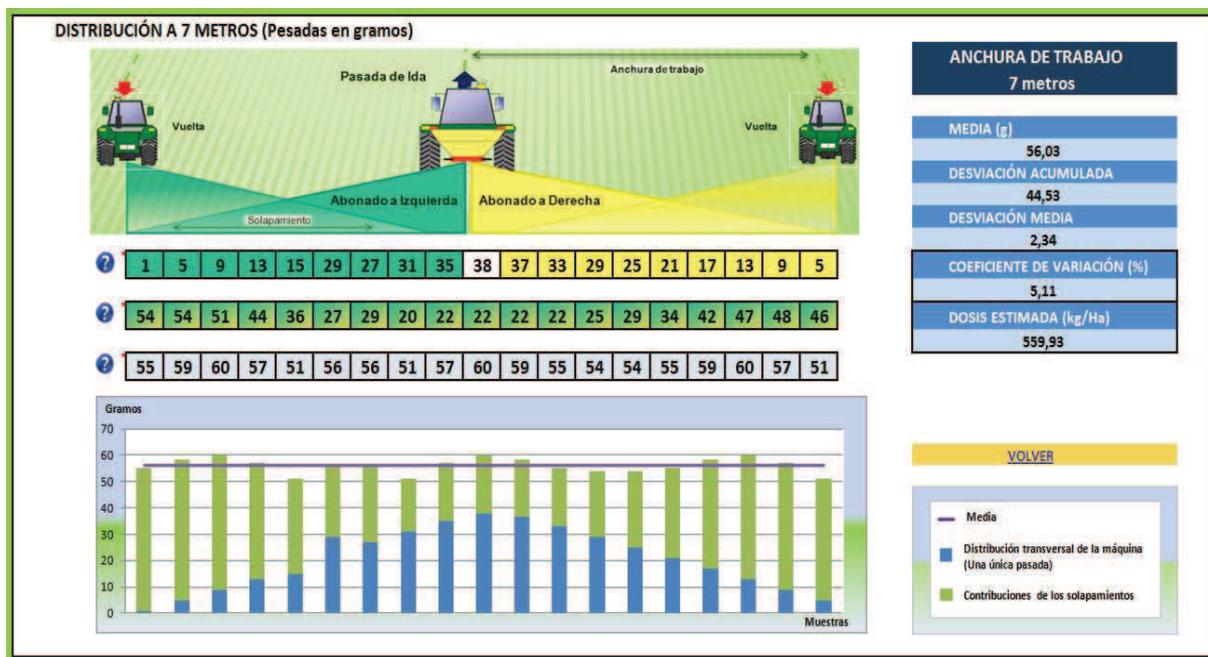
Figura 48. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 6 m.



Fuente: Elaboración propia.

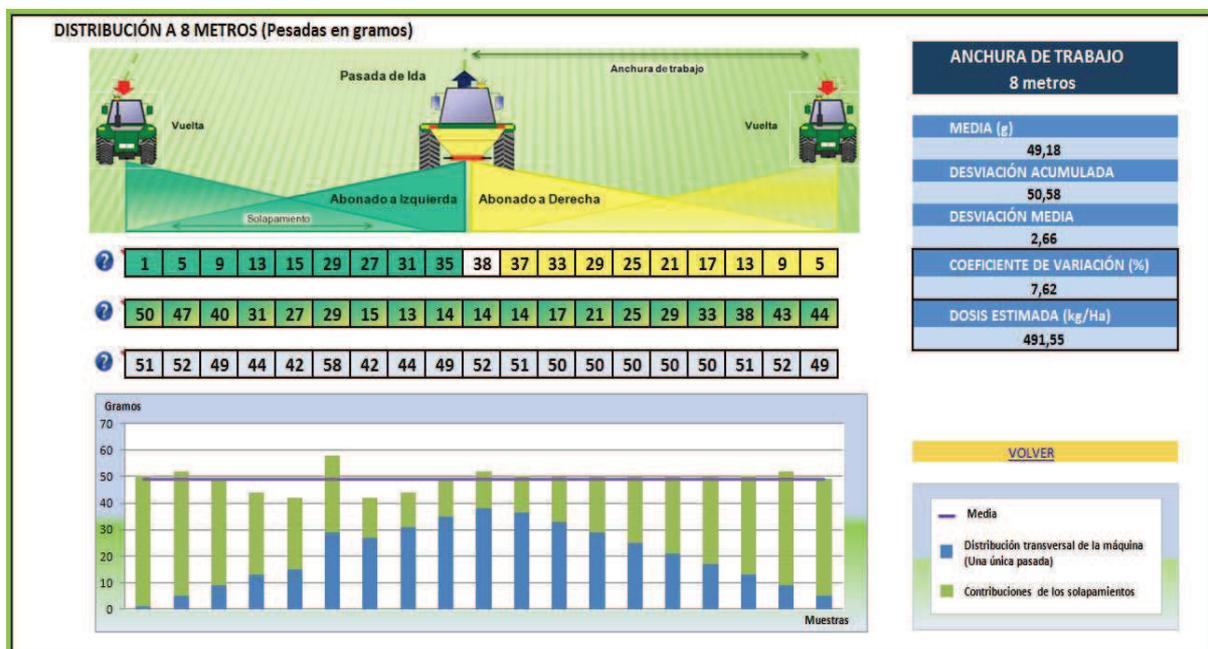
Sin embargo, no se consiguen dosis más aceptables hasta llegar a anchuras de trabajo de 8 y 9 metros. Véanse Figuras 49, 50 y 51, con resultados de 559,93 kg/ha, 491,55 kg/ha y 435,00 kg/ha de dosis para anchuras de trabajo de 7, 8 y 9 metros respectivamente.

Figura 49. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 7 m.



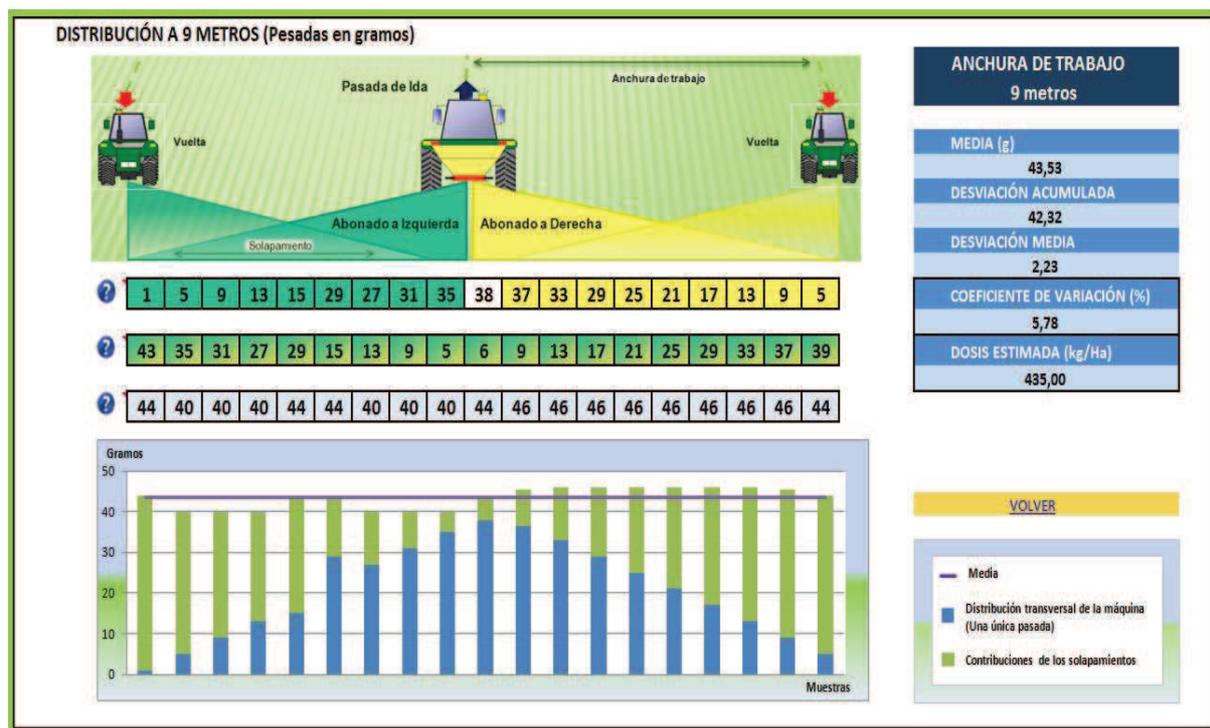
Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 8 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 9 m.



Fuente: Elaboración propia.

Además para anchuras de trabajo comprendidas entre 7 y 9 metros vemos como el CV presenta variaciones considerables, dándose un mínimo relativo del CV en torno a los 9 metros de anchura de trabajo, (Figura 51).

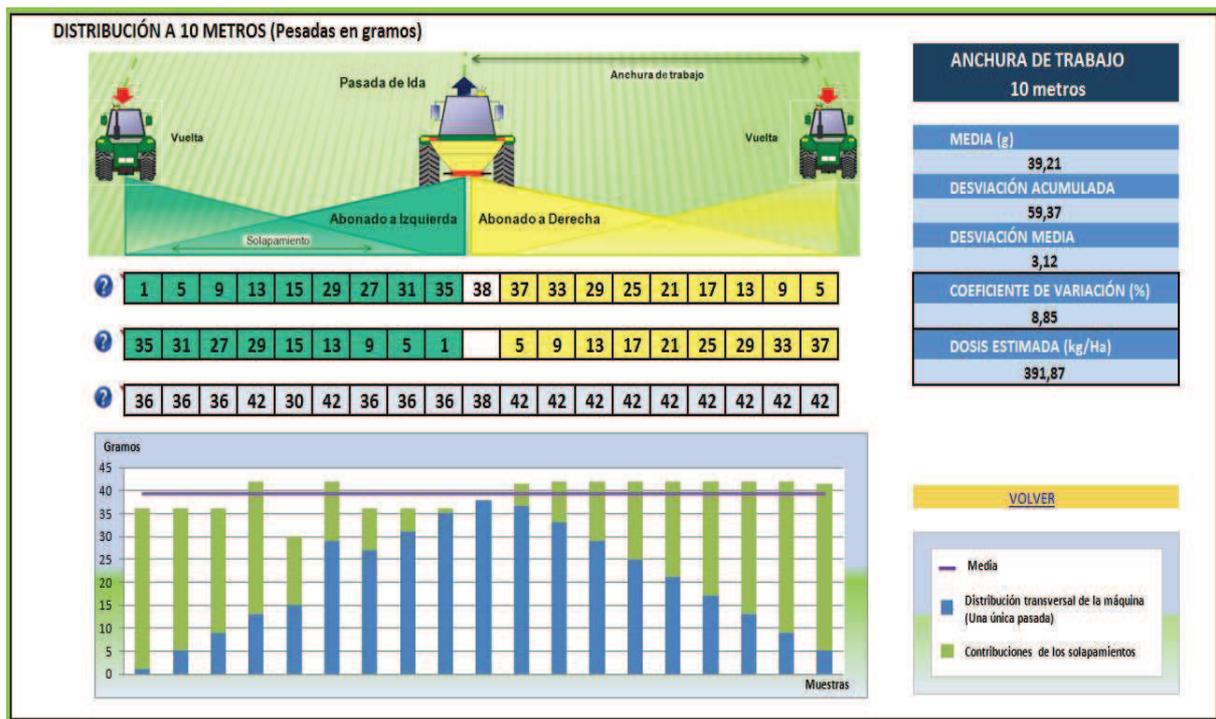
En cuanto a la influencia de los aportes de las pasadas contiguas, vemos a partir de los 10 metros de anchura de trabajo, en las Figuras 52 a 54, que al aumentar la anchura de trabajo los solapamientos entre pasadas disminuyen.

Hay que considerar también que la disminución de la dosis de aplicación es menos evidente. La dosis de aplicación no disminuye tanto al aumentar la anchura de trabajo a partir de los 10 metros.

También se puede apreciar un incremento del CV bastante importante para anchuras de trabajo mayores a 10 metros. Este aumento en la irregularidad de distribución, evidentemente se aprecia en las gráficas de las Figuras 52 a la 61, y es consecuencia de la disminución de las contribuciones de los solapamientos entre pasadas.

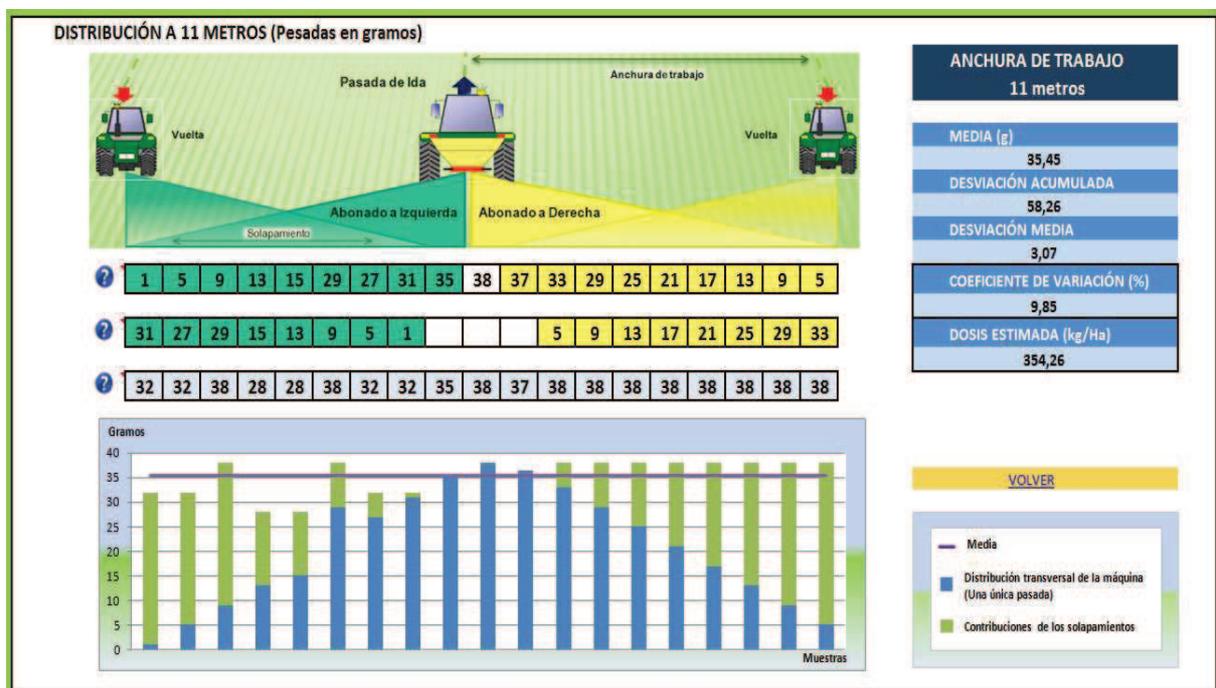
A medida que el solapamiento entre las pasadas contiguas disminuye, se obtendrá mayor irregularidad en la distribución, dando zonas en la parcela con menores cantidades de abono aplicado.

Figura 52. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 10 m.



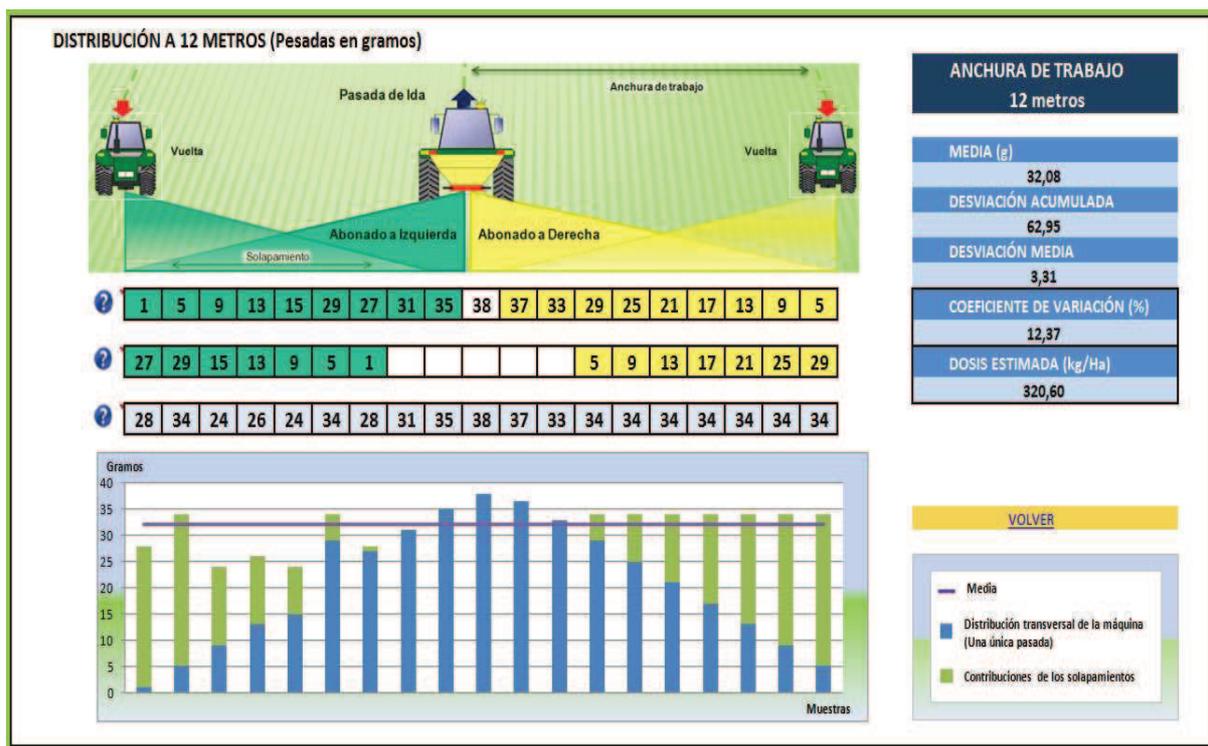
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 11 m.



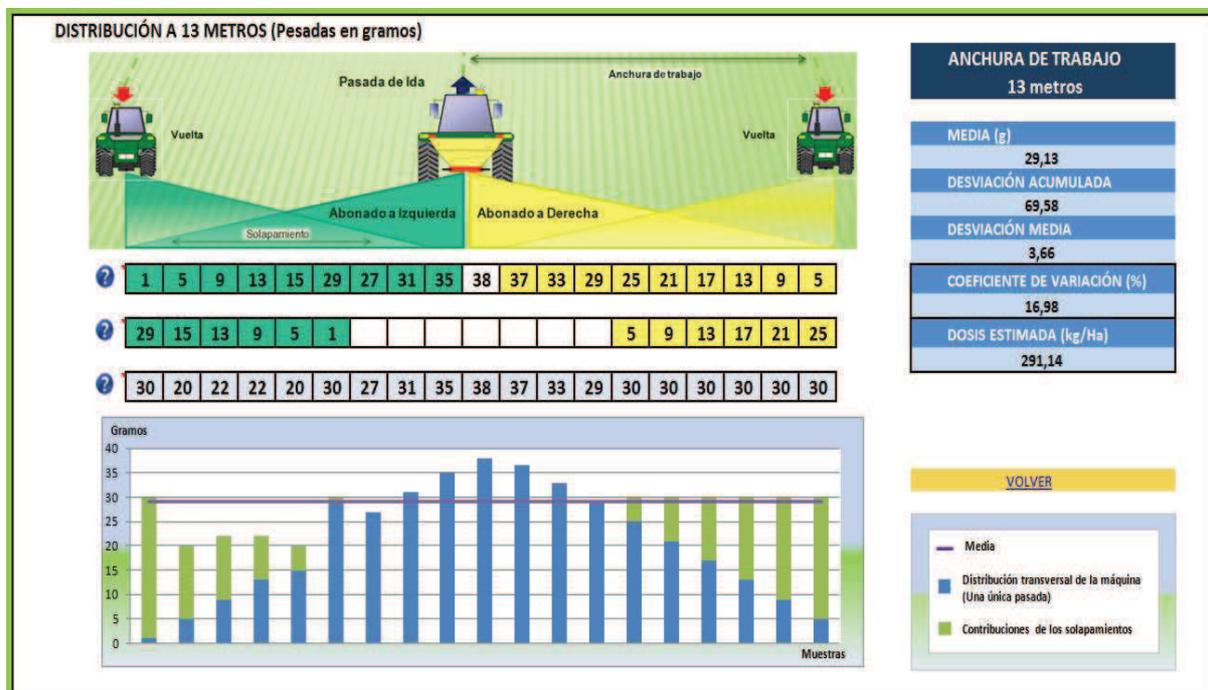
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 12 m.



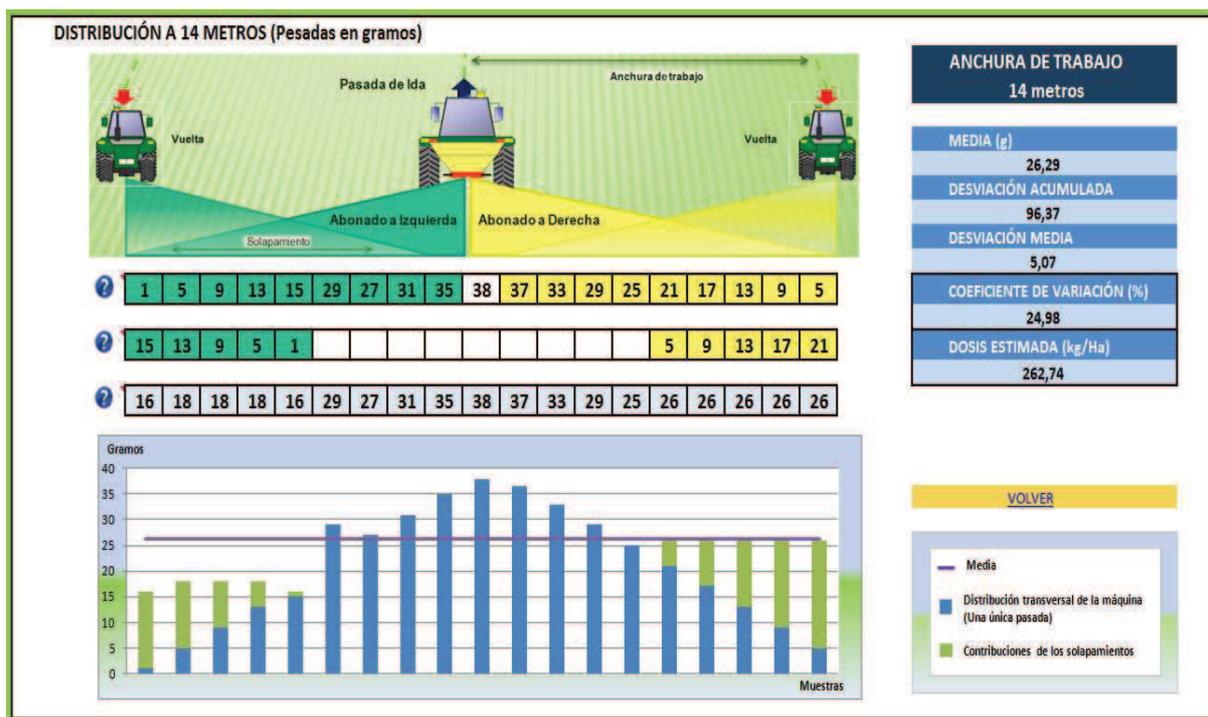
Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 13 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 14 m.



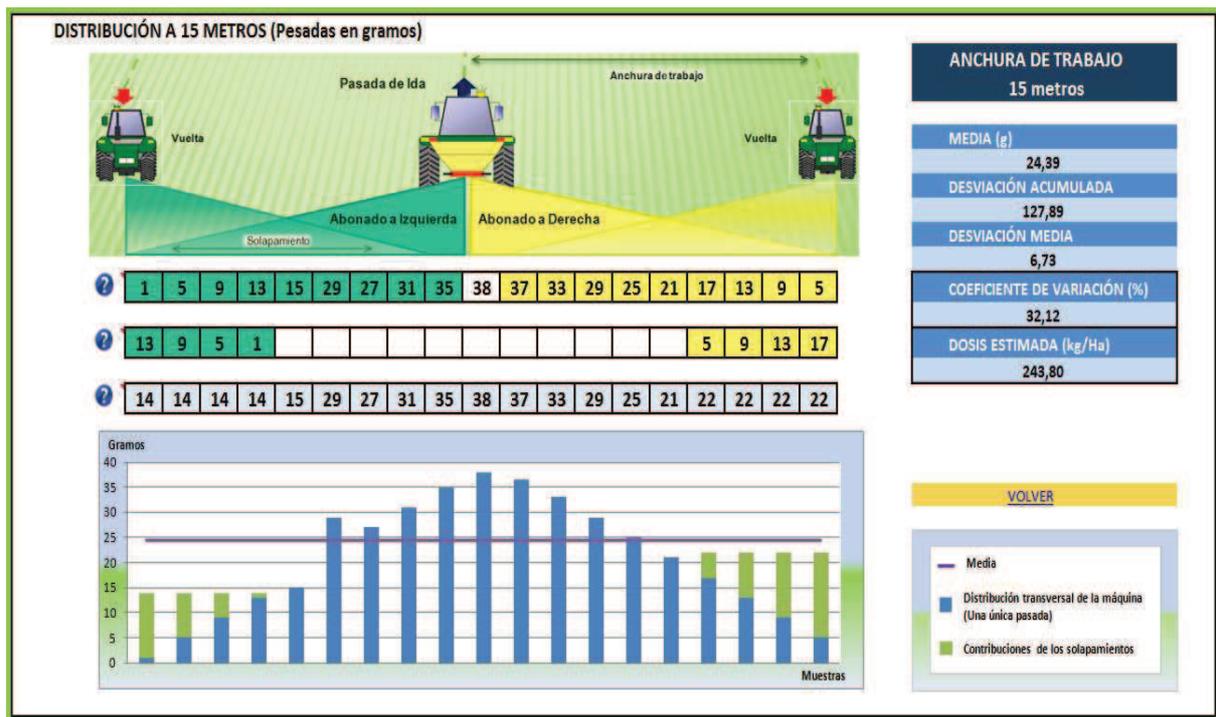
Fuente: Elaboración propia.

Con anchuras de trabajo demasiado grandes como se muestran en las Figuras 57 a la 61, se obtienen distribuciones muy heterogéneas e irregulares.

Estas irregularidades vienen por la insuficiencia en el solapamiento entre las pasadas contiguas del tractor, lo que ocasiona que se presenten las zonas de los extremos de distribución con déficit de abono y las zonas cercanas al eje de paso del tractor con exceso de abono.

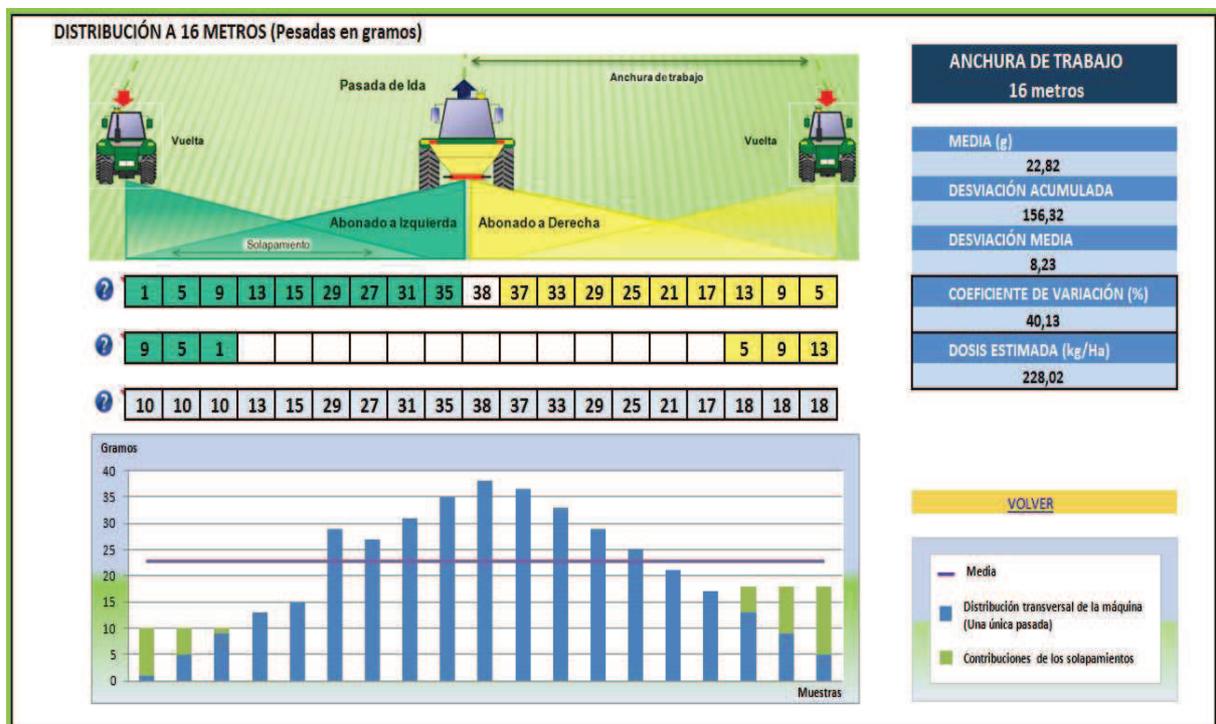
Por lo tanto, se puede afirmar que abonar con anchuras de trabajo excesivas, en nuestro ejemplo, superiores a 10 metros (Figura 52), ocasionarán irregularidades en la distribución del abono.

Figura 57. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 15 m.



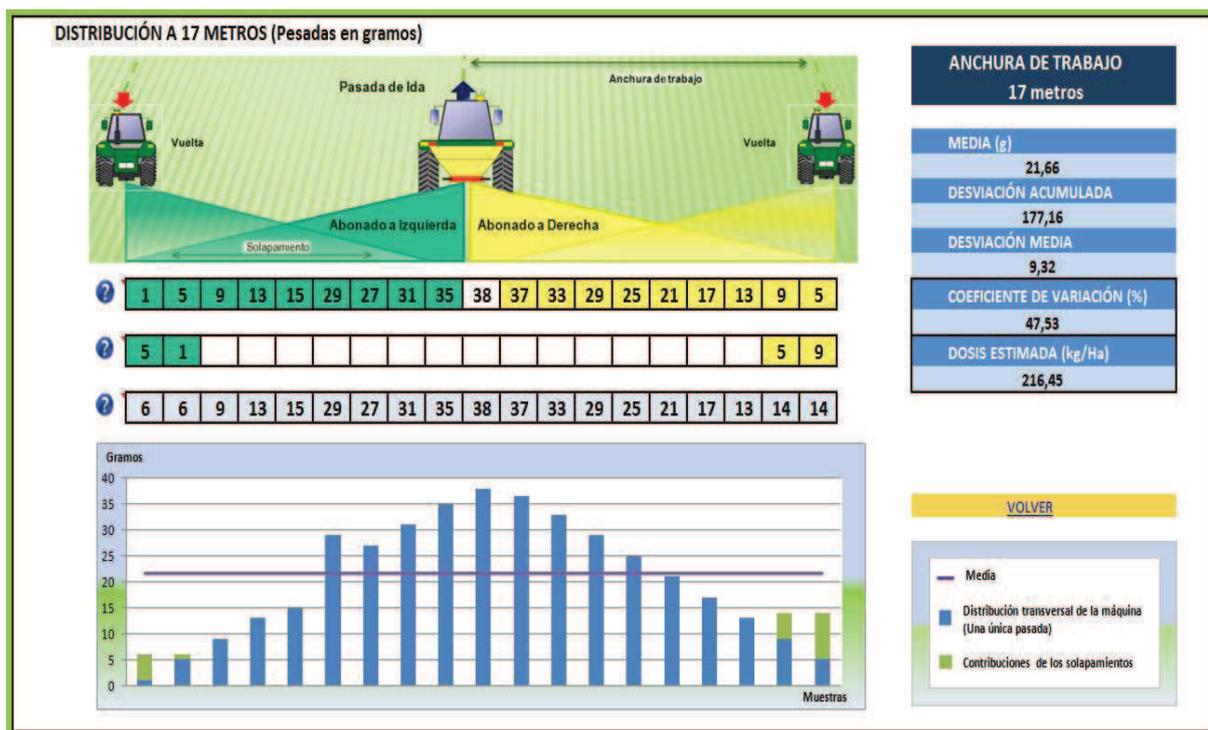
Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 16 m.



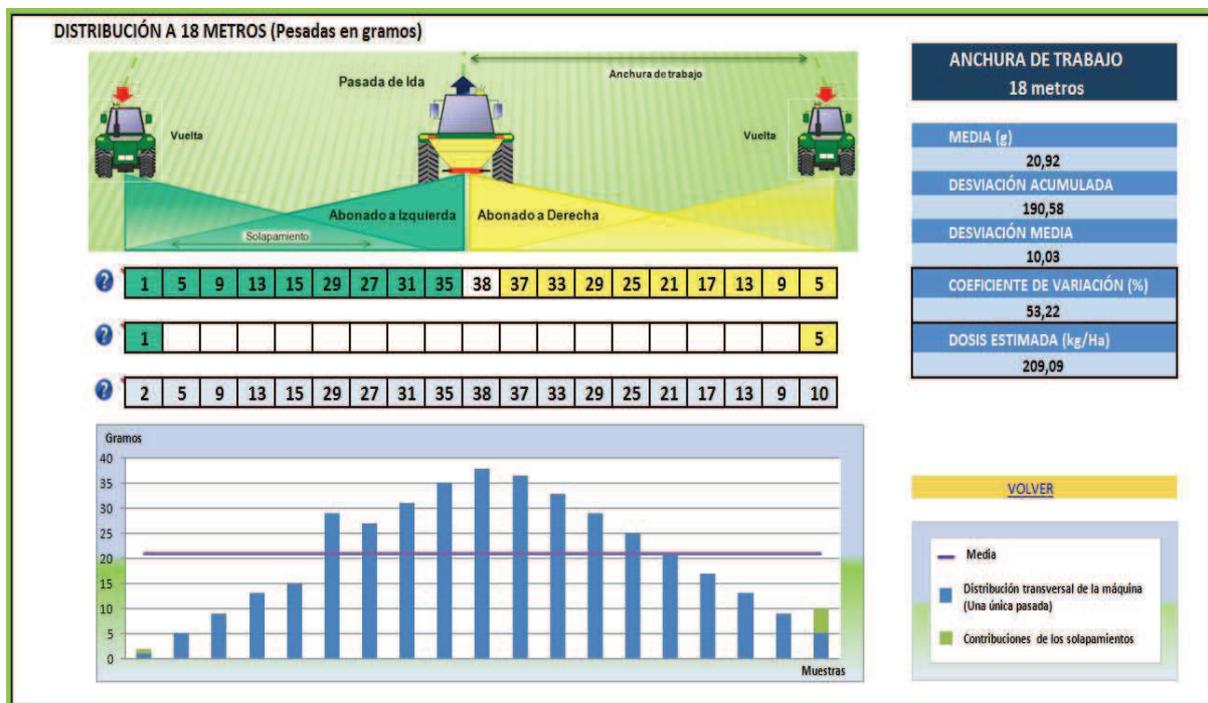
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 17 m.



Fuente: Elaboración propia.

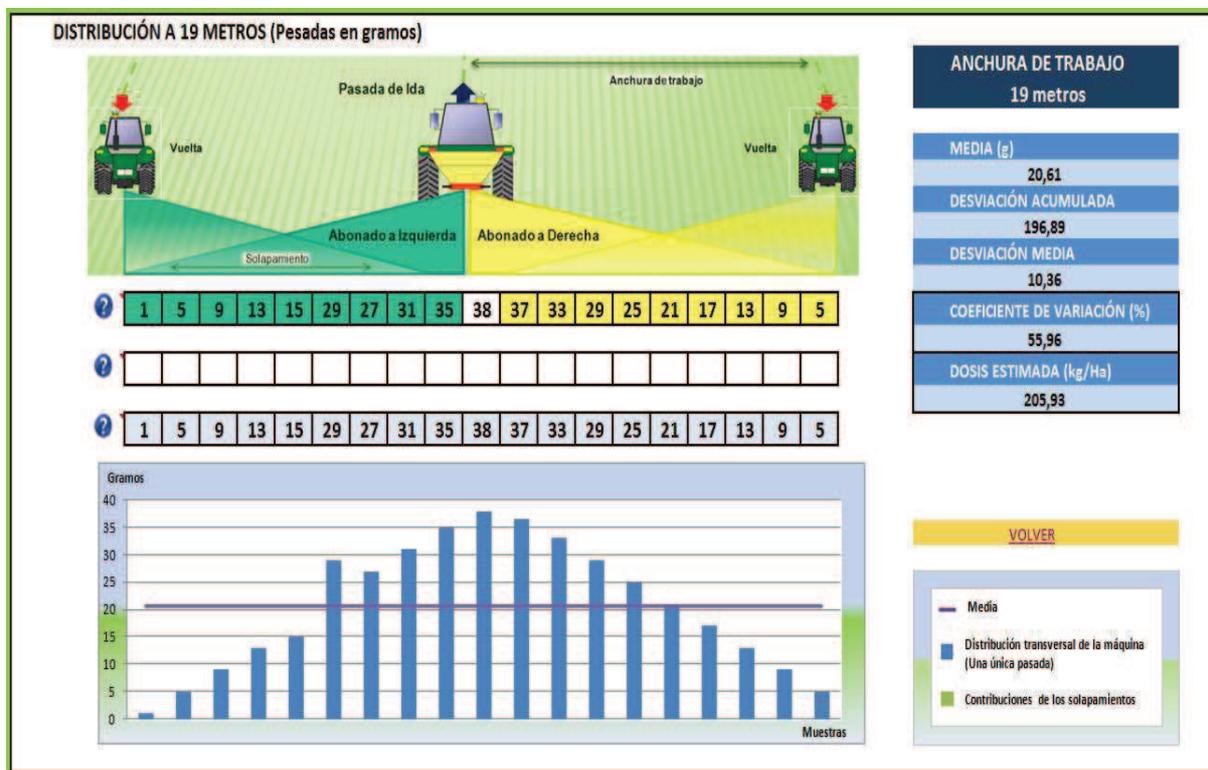
Figura 60. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 18 m.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que a 19 metros de anchura de trabajo como se muestra en la Figura 61, no hay contribuciones de los solapamientos entre las diferentes pasadas del tractor, obviamente porque la anchura de trabajo es mayor que la anchura de distribución de la máquina y la pasada de ida y de vuelta del tractor no se llegan a solapar.

Figura 61. Grafica de distribución y contribución de los solapamientos para anchuras de trabajo de 19 m.



Fuente: Elaboración propia.

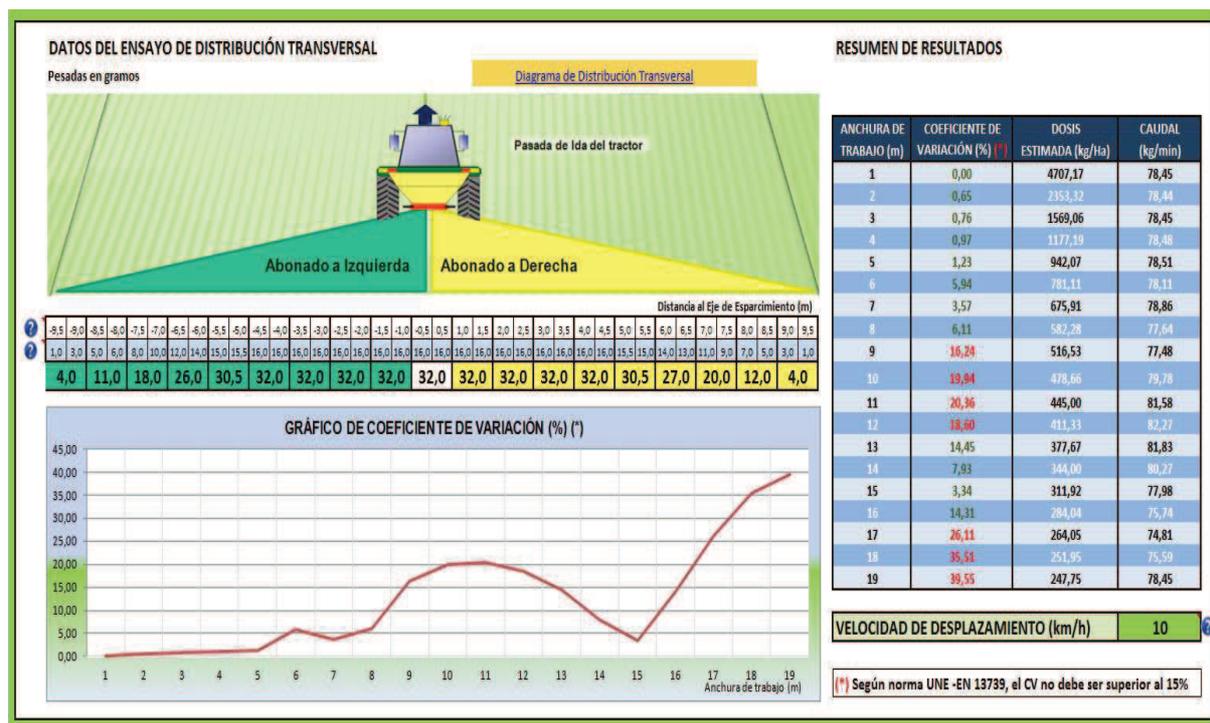
Por último, para decidir cuál sería la anchura de trabajo más adecuada, aunque ya nos hacemos una idea, nos fijamos en la gráfica de coeficiente de variación, Figura 36.

Como se observó en esta gráfica, la anchura de trabajo más adecuada sería de 9 metros por dos razones fundamentales.

Primero porque se presenta un mínimo local siendo su irregularidad en la distribución mínima en su entorno, y segundo porque la distancia de trabajo entre pasadas es razonable.

Para reflejar las diferencias entre los perfiles triangulares (ideales a conseguir con abonadora de un disco) y trapezoidales (ideales a conseguir con abonadoras de doble disco), exponemos un ejemplo de un perfil trapezoidal. Los datos y resultados de este tipo de perfil les mostramos en las Figuras 30 y 63.

Figura 62. Pantalla principal con datos de un perfil trapezoidal.



Fuente: Elaboración propia.

Las diferencias entre un perfil trapezoidal y triangular son evidentes, fijándonos en el CV para estos perfiles vemos como en perfiles trapezoidales tenemos menores irregularidades en la distribución con anchuras de trabajo mayores que en perfiles triangulares.

Podemos elegir mayores anchuras de trabajo con abonadoras que den perfiles de distribución trapezoidal, pues como vemos en la Figura 62 se puede trabajar a 15 metros y obtener un coeficiente de variación de 3,34% solamente, aportando una dosis de 311,92 kg/ha.

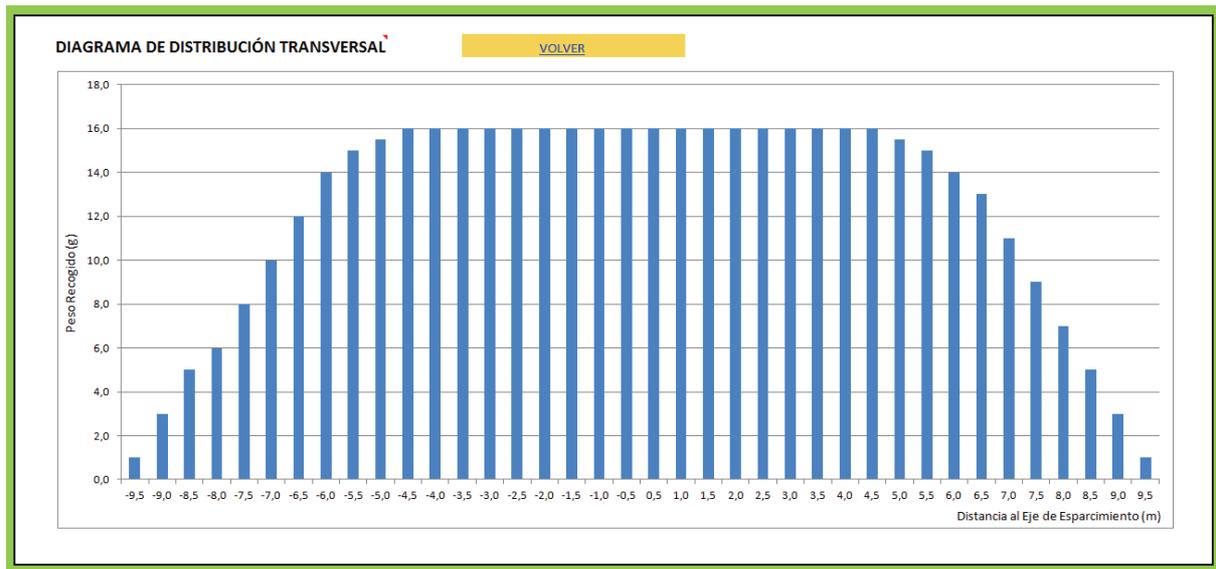
Recordamos que en el perfil triangular del ejemplo 1, como hemos visto en la Figura 37, eligiendo un anchura de trabajo de 9 metros obteníamos un CV de 5,78% y se estima una dosis de aplicación de 435 kg/ha.

Sin embargo, en el perfil trapezoidal si nos equivocamos y en vez de mantener una distancia de 15 metros (CV de 3,34%), hacemos alguna pasada a 14 o 16 metros el CV se verá incrementado hasta 7,93% con 14 metros y 14,31 a 16 metros, lo que supone un incremento de más del doble en la irregularidad de distribución.

En el perfil triangular, al cambiar la anchura de trabajo de 9 metros a 8 metros o 10 metros, obtenemos un CV de 7,62 y 8,85% respectivamente, con lo que cometeríamos menor error en la distribución.

El diagrama de distribución trapezoidal obtenido será el que mostramos en la Figura 63. Solamente comparando este diagrama con el triangular podemos apreciar las diferencias.

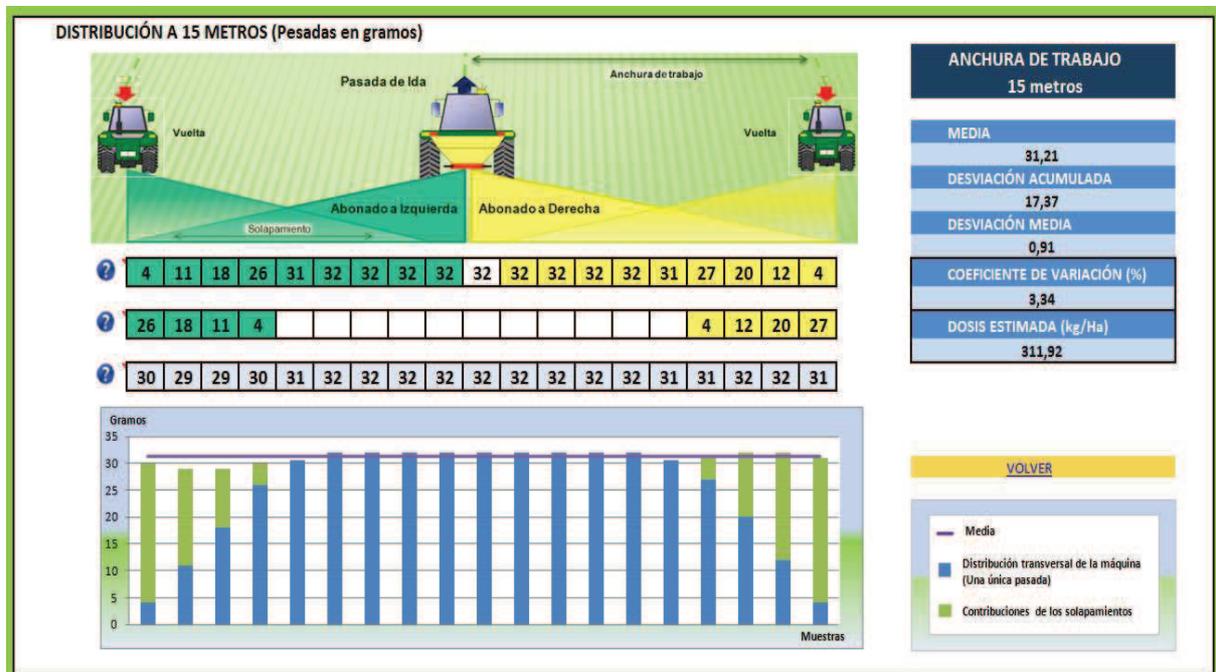
Figura 63. Pantalla principal con datos de un perfil trapezoidal.



Fuente: Elaboración propia.

Pero para analizar la influencia del aporte de los solapes de las pasadas contiguas en perfiles trapezoidales nos vamos a fijar en la Figura 64, que muestra como salvo en los bordes de distribución se mantienen regulares los aportes, compensándose la dosis en los bordes de distribución únicamente con el aporte de una pasada contigua a la derecha y a la izquierda.

Figura 64. Perfil trapezoidal con anchura de trabajo de 15 m.



Fuente: Elaboración propia.

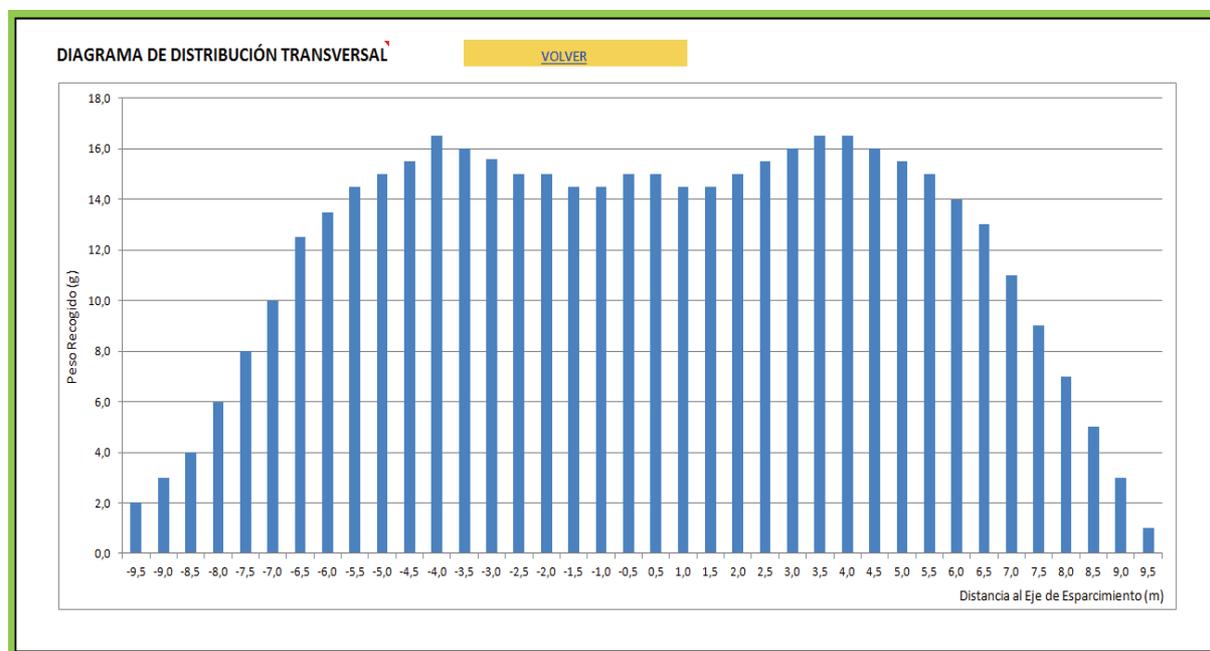
A la vista de lo comentado, en definitiva se puede concluir que:

- Los perfiles trapezoidales permiten trabajar a mayores anchuras de trabajo y obtener mejor uniformidad en la distribución que los perfiles triangulares.
- La compensación de los errores en perfiles trapezoidales será más difícil que en perfiles triangulares, pudiendo comprometer la uniformidad.

Como hemos comentado anteriormente, los perfiles ideales no son fáciles de conseguir, así que vamos a exponer los resultados de un perfil de distribución de doble cresta como el que mostramos en la Figura 65.

Este tipo de perfil es muy similar al de tipo trapezoidal, pero presenta una menor distribución en la zona del eje de esparcimiento, consecuencia de que los discos lanzan más hacia a fuera que en el eje de distribución.

Figura 65. Diagrama de distribución transversal de un perfil de doble cresta.

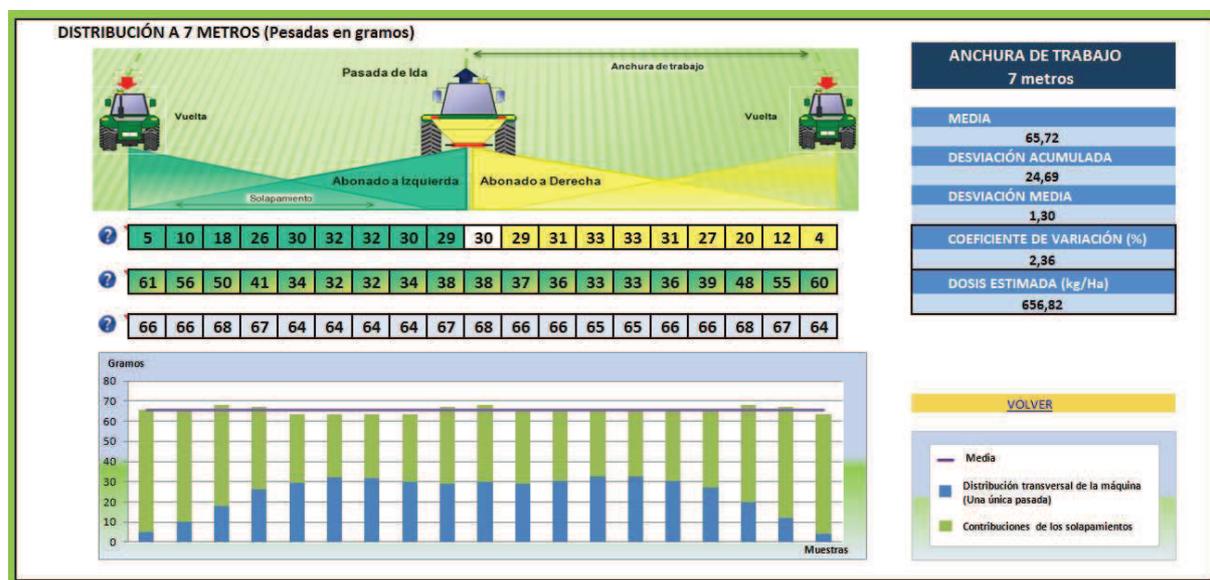


Fuente: Elaboración propia.

Los datos introducidos y resultados obtenidos para este tipo de perfil son los que se reflejan en la Figura 66. En base a estos resultados, podemos entender que se obtienen buenos CV tanto a 7 como a 15 metros de anchura de trabajo, su gráfica así nos lo indica, pero la anchura de trabajo que nos parece más apropiada será la de 15 metros.

Por el contrario al trabajar a 7 metros como vemos en la Figura 68, la dosis se duplica con respecto a los 15 metros. Se aplican 656,82 kg/ha, y aunque el CV es de 2,36%, menor que a 15 metros, estas dosis son muy elevadas y no optimizan la operación de abonado.

Figura 68. Perfil trapezoidal con anchura de trabajo de 7 m.



Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del resto de las anchuras de trabajo tanto para el caso del perfil trapezoidal como el de doble cresta, se encuentran incluidas en el Anexo 1 de la presente memoria.

Ejemplo 2: distribución triangular en el borde de la parcela

Los resultados obtenidos en el borde de la parcela varían significativamente de los anteriores resultados del Ejemplo 1.

Para el análisis de borde, es normal obtener una distribución asimétrica en el lado del borde de la parcela, en nuestro caso, el lado derecho. Siendo en este lado donde queremos evitar el aporte de abono.

En la Figura 39, hemos mostrado el diagrama de distribución transversal para el borde del Ejemplo 2. En este diagrama efectivamente comprobamos que el perfil de distribución es asimétrico a la derecha, llegando a 6,5 metros de anchura de esparcimiento en este lado, frente a los 9,5 metros de esparcimiento que llega hacia el lado izquierdo.

Esto implica que el dispositivo empleado para hacer el borde, está evitando la distribución hacia ese borde pero además, también está aumentando la dosis de aplicación en el eje de esparcimiento del tractor.

Tenemos una máquina que trabaja adecuadamente en el borde por dos motivos:

- La distancia de esparcimiento del abono se acorta hacia el borde de la parcela.

- La cantidad distribuida de abono aumenta en el eje de distribución, gracias al dispositivo de bordeado empleado, haciendo más homogénea la distribución en el borde.

Ahora bien, es necesario saber a qué distancia se debe hacer la pasada del bordeado.

Tanto si se abona desde el borde como si se abona hacia el borde, es necesario saber la distancia de esparcimiento de la abonadora en el lado del borde con la que se obtienen distribuciones más homogéneas.

La solución se obtiene de dos maneras:

- Interpretando el diagrama de distribución transversal para el bordeado, que para el caso de nuestro ejemplo, podemos estimar que la anchura óptima de trabajo debería estar comprendida entre 4,5 y 5 metros, según dicho diagrama.
- Analizando los resultados obtenidos para el bordeado. En estos resultados decidimos la distancia a la que se hace el borde comparando la dosis estimada que se aplica hacia el lado del borde con la que se aplicará en el centro de la parcela para conseguir una uniformidad en la aplicación aceptable, y siempre evitando lanzar más del 3 ‰ de fertilizante fuera de la parcela como indica la normativa.

Según los resultados obtenidos para el bordeado, en nuestra opinión deberíamos realizar la pasada del borde a distancias de 5 metros o superiores respecto del límite de la parcela.

Si se realiza el bordeado a distancias inferiores a 5 metros, estaríamos lanzando más fertilizante del permitido por la norma fuera de la parcela, aunque la dosis de aplicación sería más aceptable. A 4,5 se aportan en el lado del borde 286 kg/ha, que es más próxima a la dosis que se aplica al conjunto de la parcela. Recordamos que en el Ejemplo 1 trabajando a 9 metros, se aplican en la parte central de la parcela dosis de 435 kg/ha o 391 kg/ha a 10 metros de anchura de trabajo.

Cabe mencionar, que es muy difícil ajustar la dosis en el lado del borde para que sea uniforme a la del resto de la parcela. Normalmente en el borde se suelen aplicar menos dosis, sobre todo si cumplimos con la normativa medioambiental de no lanzar abono fuera de la parcela.

La solución sobre la dosis a aplicar en el lado del borde debe ser aquella que intentando cumplir con la normativa, se aproxime más a la dosis aplicada al resto de la parcela y por tanto, se deben elegir las distancias de trabajo desde el límite que mejor se ajusten a ambos requisitos.

10. Conclusiones

En materia de máquinas abonadoras y distribución de abonados hemos detectado la necesidad de mejorar y transmitir el conocimiento existente actualmente. Es fundamental para los agentes implicados: agricultor, fabricante y técnicos, conocer y saber el funcionamiento de las máquinas, para optimizar el uso y aprovechar al máximo las características de las mismas. No digamos a la hora de detectar problemas o desarrollar mejoras técnicas.

Desde el punto de vista de los agricultores, precisan aplicar las dosis deseadas de abono distribuidas homogéneamente en la parcela, y para ello, tienen que conocer cómo distribuye su máquina y cómo han de regularla para adaptarla a cada tipo de abono y granulometría, y esto no es tarea sencilla en la práctica.

Los fabricantes aportan un manual de uso de sus máquinas en el que recomiendan en base a los ensayos de distribución realizados para los tipos de fertilizantes más comunes cómo deben regularse en dosis y caudal sus máquinas para obtener distribuciones homogéneas.

Pero no se debe olvidar que las variables a considerar son amplias. Como hemos expuesto a lo largo de este trabajo, una buena distribución del fertilizante, depende del tipo de abonadora, su regulación en dosis y caudal y de la velocidad de desplazamiento, pero también de su forma de uso.

Generalmente, la anchura de trabajo debe ser aproximadamente la mitad que la anchura de distribución, para que el solapamiento entre varias pasadas permita cubrir las dosis aplicadas en los extremos de distribución. Esto es válido para distribuciones triangulares simétricas, cuestión que en campo es muy difícil de conocer exactamente.

Otro factor clave y variable, es la regulación y distribución de la máquina con cada tipo de fertilizante. Los fertilizantes son muy diversos en tipo, forma granulométrica, características físicas o formulaciones químicas, y la regulación de la abonadora y su forma de distribución será específica para cada uno de ellos.

Centrándonos en abonadoras de proyección de fertilizantes sólidos hemos encontrado diferencias entre los distintos tipos de abonadoras. Las abonadoras de doble disco trabajan a grandes distancias, presentan distribuciones trapezoidales, pero no dan buenas distribuciones con fertilizantes pulverulentos. Las de un sólo disco, suelen llegar a menores distancias de distribución, pero ésta es más homogénea y su perfil es triangular, lo que proporciona mayor posibilidad de compensar errores en solapamientos.

A nivel técnico, la forma de resolver esta problemática planteada, es mediante el cálculo y desarrollo de técnicas de ensayos que se deben aplicar a las máquinas abonadoras, y cuya metodología viene regulada en función de la normativa expuesta a lo largo del presente trabajo.

En cuanto al programa desarrollado podemos concluir lo siguiente:

- Ayuda a comprender y explicar de manera didáctica e ilustrativa cómo pueden ser las curvas de distribución de abonado óptimas y su relación con la dosis de abono aplicada, cumpliendo con las fórmulas de cálculo planteadas en la normativa sobre ensayos.

- También nos facilita la elección de una anchura de trabajo adecuada para conseguir distribuciones homogéneas de una manera eficiente. Comparando para cada anchura de trabajo, las curvas de distribuciones acumuladas debidas a la contribución de los aportes de abono de varias pasadas, con la media y la curva de distribución transversal de la máquina, podemos conocer cómo trabaja la máquina abonadora a distintas anchuras de trabajo.
- Permite detectar las irregularidades en la distribución y ayuda a la interpretación del método de distribución óptima del abonado.
- Como hemos mostrado en los ejemplos analizados, permite visualizar las ventajas e inconvenientes entre diferentes tipos de perfiles de distribución de abonado.

Gracias a los tutores del proyecto y su experiencia en máquinas abonadoras y distribución de abonado, reflejada en la diversa bibliografía utilizada a lo largo del trabajo así como las referencias complementarias [R1]-[R11], se ha podido plantear la ejecución de este trabajo.

11. Referencias

- [1] Norma UNE-EN 13739-1:2012. *Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 1: Requisitos.* 2012.
- [2] Norma UNE-EN 13739-2:2012. *Maquinaria agrícola. Distribuidores centrífugos y por gravedad de fertilizantes sólidos. Protección medioambiental. Parte 2: Métodos de ensayo.* 2012.
- [3] J. M. Nogales, R. Araújo. *Novedades en maquinaria para el abonado mineral.* Vida rural, No. 215, p. 50-53, 2005.
- [4] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Inscripciones de maquinaria agrícola en el ROMA.* [Consultado: 06-2016]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/estadisticas/>
- [5] J. M. Nogales, J. A. Matía. *Consideraciones para la elección y uso de abonadoras.* Vida rural, No. 71, p. 50-52, 1998.
- [6] J. M. Nogales, J. Á. Matía. *La importancia de la distribución de los abonos en cobertera.* Vida rural, No. 144, p. 62-67, 2002.
- [7] J. M. Nogales, F. González. *Consejos para la puesta a punto y correcto uso de las abonadoras.* Vida rural, No. 94, p. 62-64, 1999.
- [8] L. Márquez. *Máquinas para la distribución del abono mineral.* Agricultura, p. 295-302, 1994.
- [9] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte I: El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización.* 2010.
- [10] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte II. Abonado de los principales cultivos de España.* 2010.
- [11] Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera. *Evaluación de Abonadoras.* Depósito Legal: VA-993/2009, 2009.

-
- [12] L. Márquez. El abono y las abonadoras. *Agrotécnica*, No. 4, p. 40-45, 1998.
- [13] Fertilizers Europe. Código de buenas prácticas agrarias. Urea.
- [14] Fertilizers Europe. Código de buenas prácticas agrarias. Nitrógeno.
- [15] Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 91/676/EEC, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. 1991.
- [16] J. M. Nogales, R. Araújo. Distribuição uniforme de adubo utilizando distribuidores centrífugos. *Agrobótica*, No. 11, p. 27-31, 2014.
- [17] E. Gil. La uniformidad en la distribución del abono. *Agrotécnica*, Vol. 3, No. 1, p. 62-67, 2000.
- [18] J. M. Nogales, R. Araújo. La mecanización del abonado mineral. *Vida rural*, No. 184, p. 58-62, 2004.
- [19] C. Bernat. Distintos tipos de máquinas abonadoras. *Vida rural*, No. 53, p. 72-77, 1997.
- [20] J. M. Nogales, J. Á. Matía. Posibilidades y regulación de abonadoras centrífugas. *Vida rural*, No. 73, p. 62-65, 1998.
- [21] J. M. Nogales, R. Araújo. Dispositivos de bordear en las abonadoras de proyección. *Vida rural*, No. 82, p. 44-48, 1999.
- [22] L. Márquez. La tecnología en las abonadoras de proyección. *Agrotécnica*, p. 38-44, 2011.
- [23] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Ensayos de Abonadoras. [Consultado: 06-2016]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/maquinaria-agricola/ensayos-de-abonadoras/>
- [24] Reglamento 2003/2003 del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, relativo a los abonos. 2003.
- [25] Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. 2005.
-

- [26] J. M. Nogales, R. Araújo. Novedades y recomendaciones de uso de las abonadoras. Vida rural, No. 234, p. 50-55, 2006.
- [27] P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent. Maquinaria para la aplicación y la distribución de abonos minerales. Vida rural, No. 115, p. 80-84, 2000.

REFERENCIAS COMPLEMENTARIAS

- [R1] J. M. Nogales, R. Araújo. Tendencias en la maquinaria de abonado. Vida rural, No. 164, p. 68-70, 2003.
- [R2] J. M. Nogales. Las abonadoras y los ensayos de campo. Tierras de Castilla y León: Agricultura, No. 187, p. 108-118, 2012.
- [R3] J. M. Nogales, R. Araújo. Uniformidad en la distribución de las abonadoras actuales. Vida rural, No. 366, p. 68-74, 2013.
- [R4] J. M. Nogales, R. Araújo. Abonadoras de calidad. Agricultura: Revista agropecuaria, No. 979, p. 836-839, 2014.
- [R5] J. M. Nogales, R. Araújo. Los campos evalúan a las abonadoras ya los agricultores. Vida rural, No. 314, p. 68-74, 2010.
- [R6] J. M. Nogales, R. Araújo. Abonadoras de calidad para distribuciones uniformes y cultivos rentables. Vida rural, No. 383, p. 64-68, 2014.
- [R7] J. M. Nogales, R. Araújo. Hay que conocer las innovaciones de las abonadoras para mejorar sus distribuciones. Tierras de Castilla y León: Agricultura, No. 161, p. 44-57, 2009.
- [R8] J. M. Nogales, R. Araújo. Las abonadoras de proyección en tiempo de crisis. Vida rural, No. 349, p. 68-75, 2012.
- [R9] J. M. Nogales, R. Araújo. Métodos para conseguir una distribución uniforme con una abonadora de proyección. Vida rural, No. 257, p. 24-28, 2007.
- [R10] J. M. Nogales, R. Araújo. La abonadora de calidad y el usuario. Tierras de Castilla y León: Agricultura, No. 224, p. 64-72, 2015.
- [R11] J. M. Nogales, R. Araújo. Regulación de la dosificación de las abonadoras de proyección. Tierras de Castilla y León: Agricultura, No. 141, p. 46-54, 2007.

MEMORIA

Anexo 1: Relación de figuras del programa de cálculo

ANEXO 1: RELACIÓN DE FIGURAS DEL PROGRAMA DE CÁLCULO

En el presente anexo a la memoria técnica presentada, se incluyen todas las figuras obtenidas mediante el programa de cálculo presentado y las que no se han incluido en la memoria.

El objeto de estas figuras, es poder observar las pantallas del programa y sobre ellas explicar en la memoria técnica, cómo se realiza la introducción de los datos, cuáles son los resultados que se obtienen de los datos introducidos, y cómo se muestran los diagramas que se calculan automáticamente mediante el programa.

Todas las figuras presentadas, son resultado de los ejemplos de cálculo propuestos en la memoria para explicar el funcionamiento del programa.

Nos parece interesante presentar las figuras obtenidas todas seguidas para poder realizar comparaciones de los resultados de cálculo obtenidos sin necesidad de abrir el programa e introducir los datos, aunque es recomendable verificar que se obtienen los mismos resultados mediante el programa.

Ejemplo 1. Cálculos de distribución en zonas intermedias de la parcela, en las que interfiere el solape entre pasadas continuas.

Figura A1. Consola inicial.



Figura A2. Consola principal de introducción de datos y tabla de resultados.

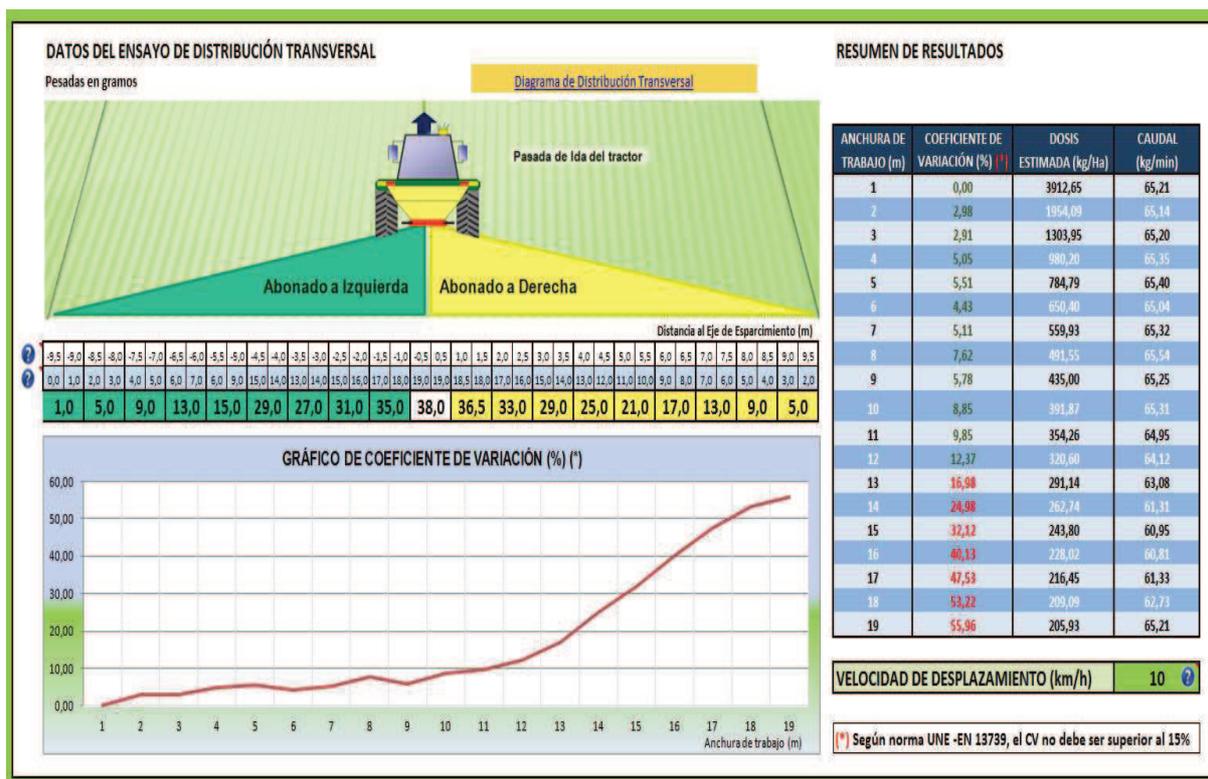


Figura A3. Consola principal con menú de ayuda sobre distancias al eje de esparcimiento.

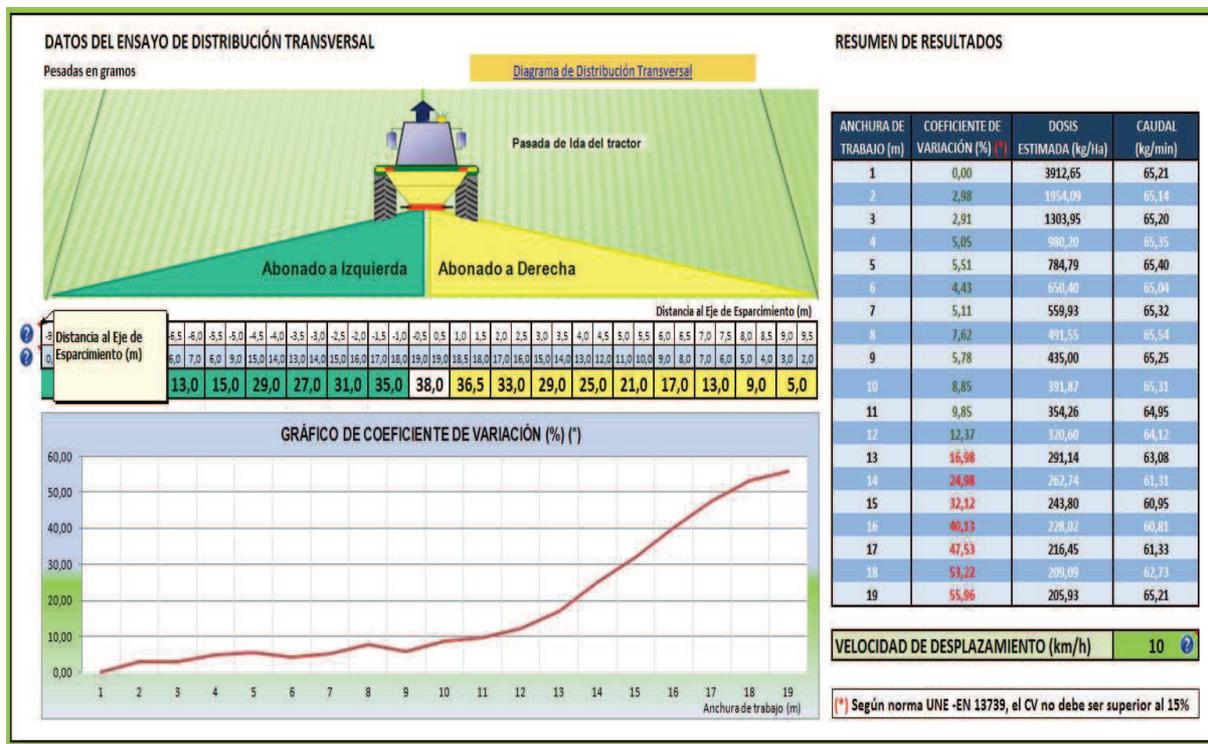


Figura A4. Consola principal con menú de ayuda para introducir datos de las pesadas.

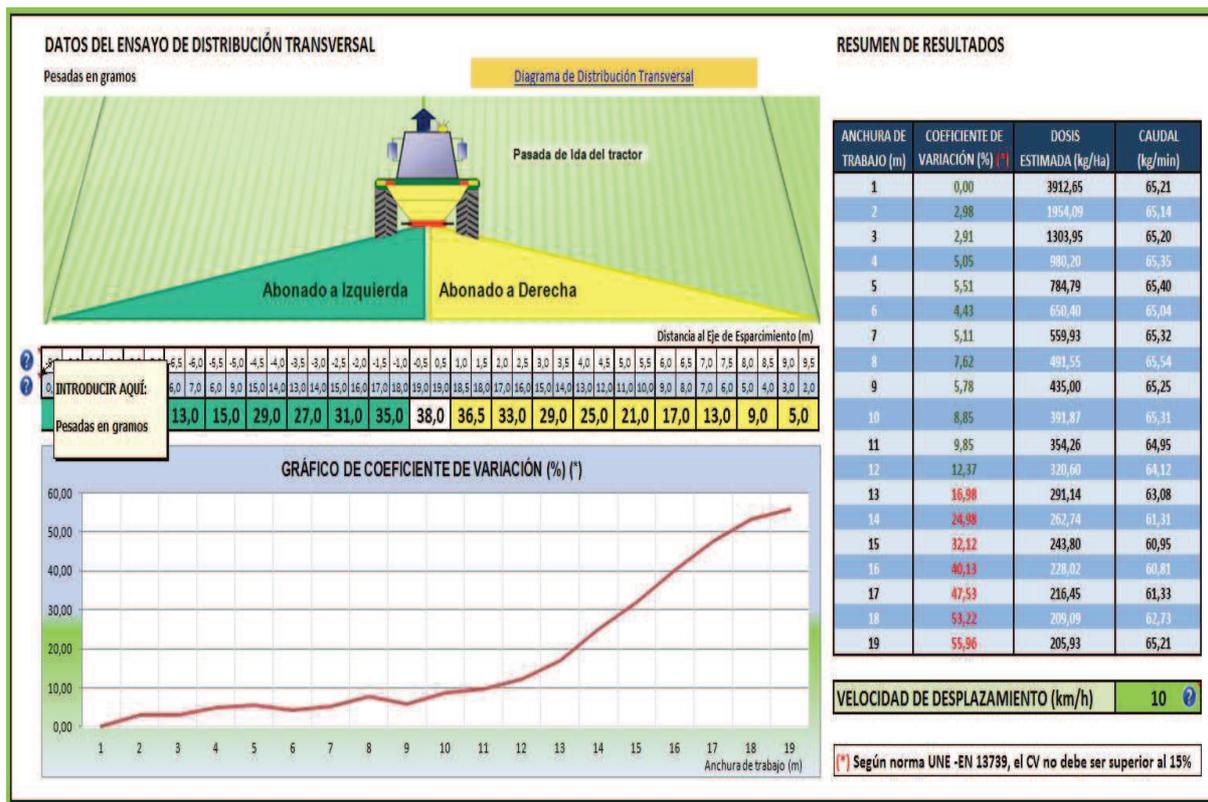


Figura A5. Diagrama de distribución transversal de la máquina abonadora.

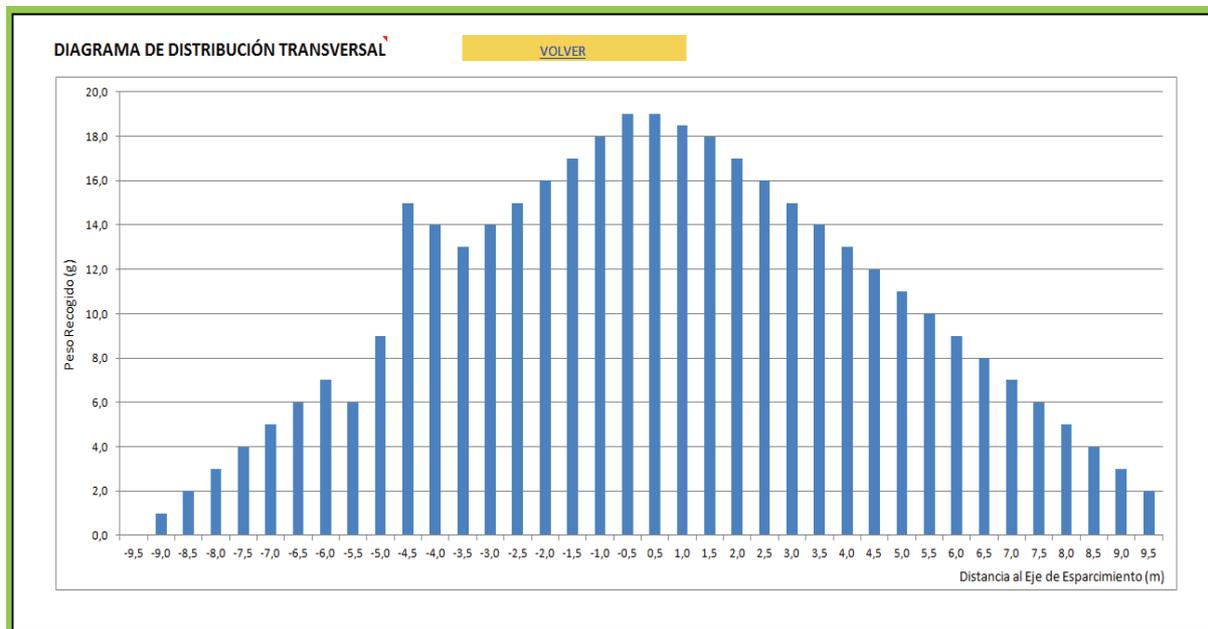


Figura A6. Diagrama de distribución transversal de la máquina abonadora con menú de ayuda.

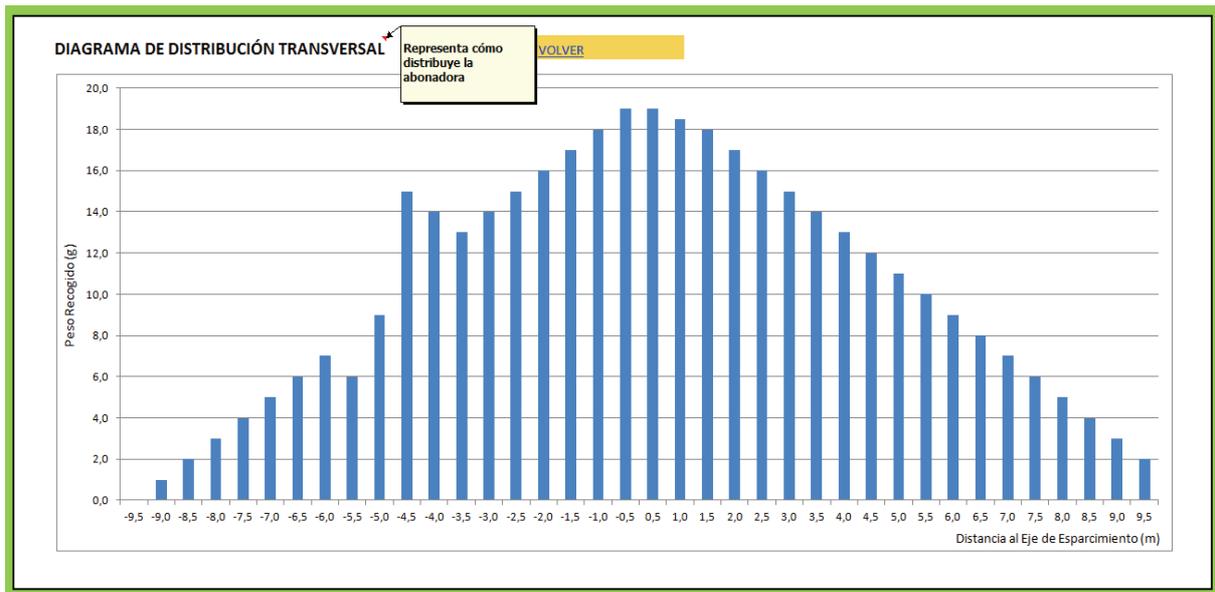


Figura A7. Consola principal con tabla de resultados.

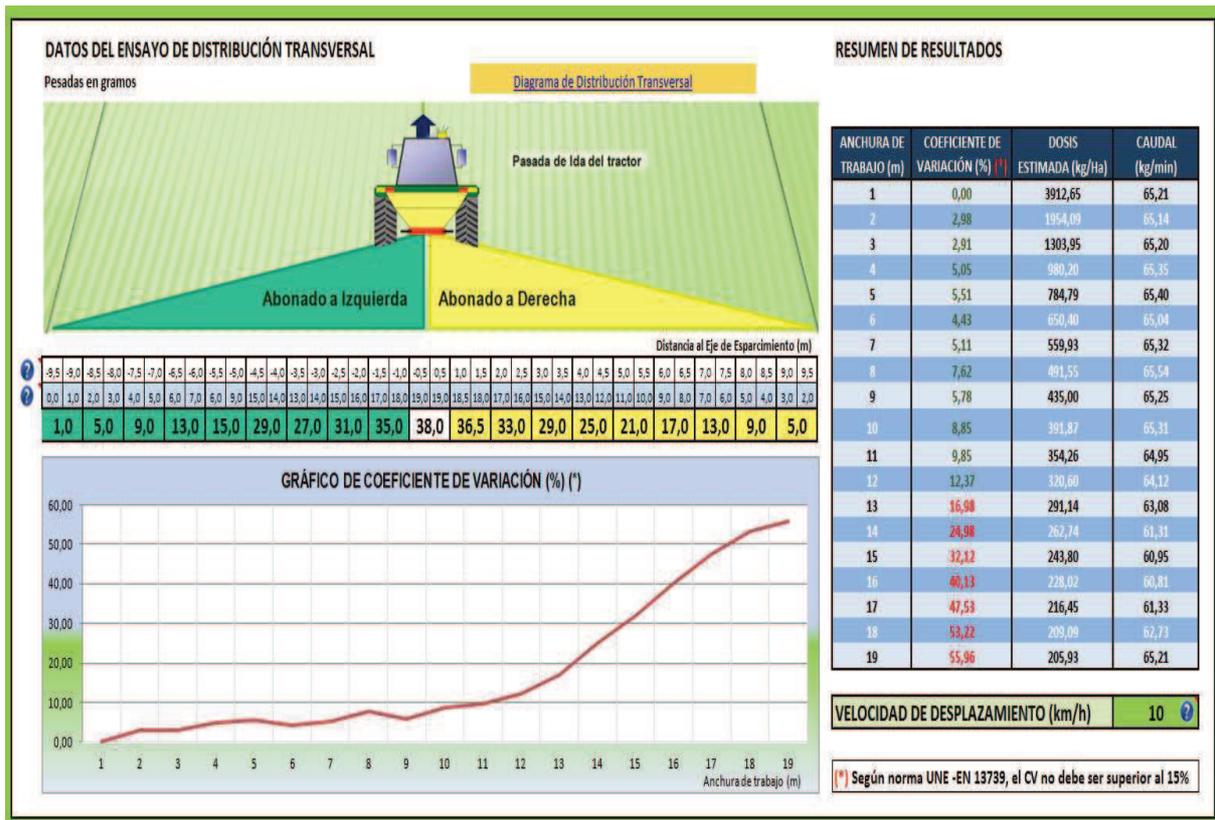


Figura A8. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 1 metro, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

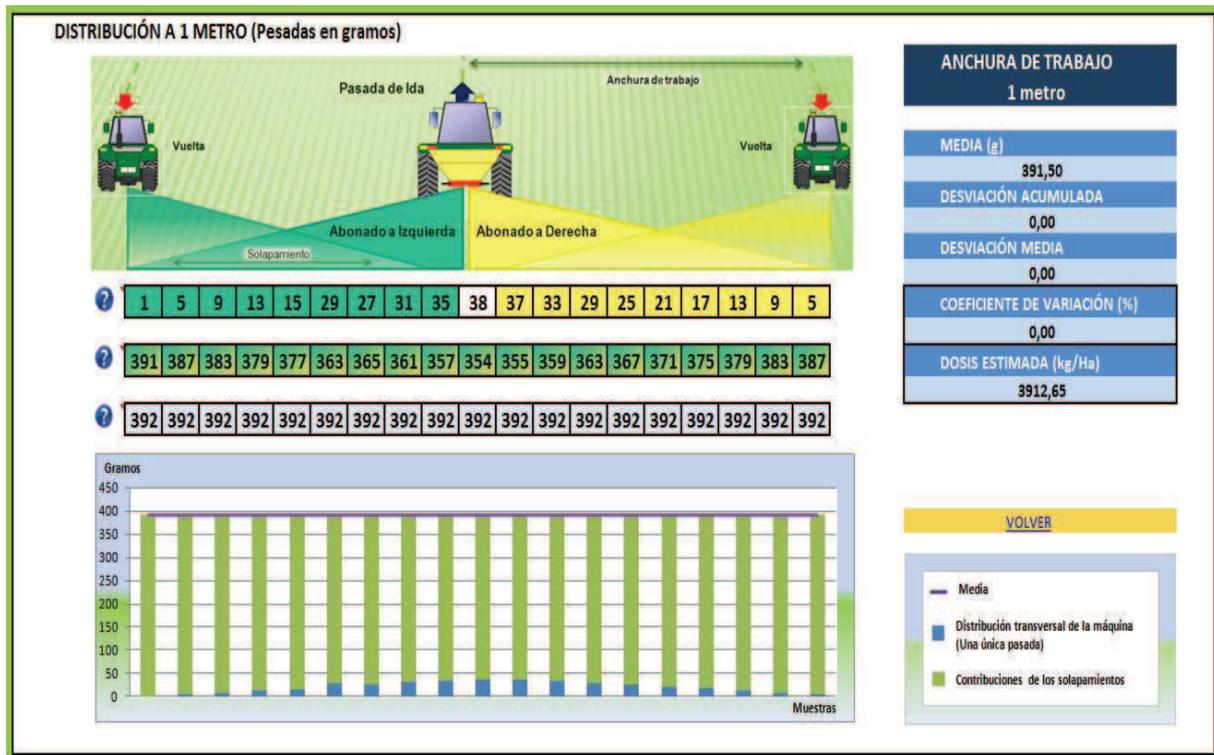


Figura A9. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

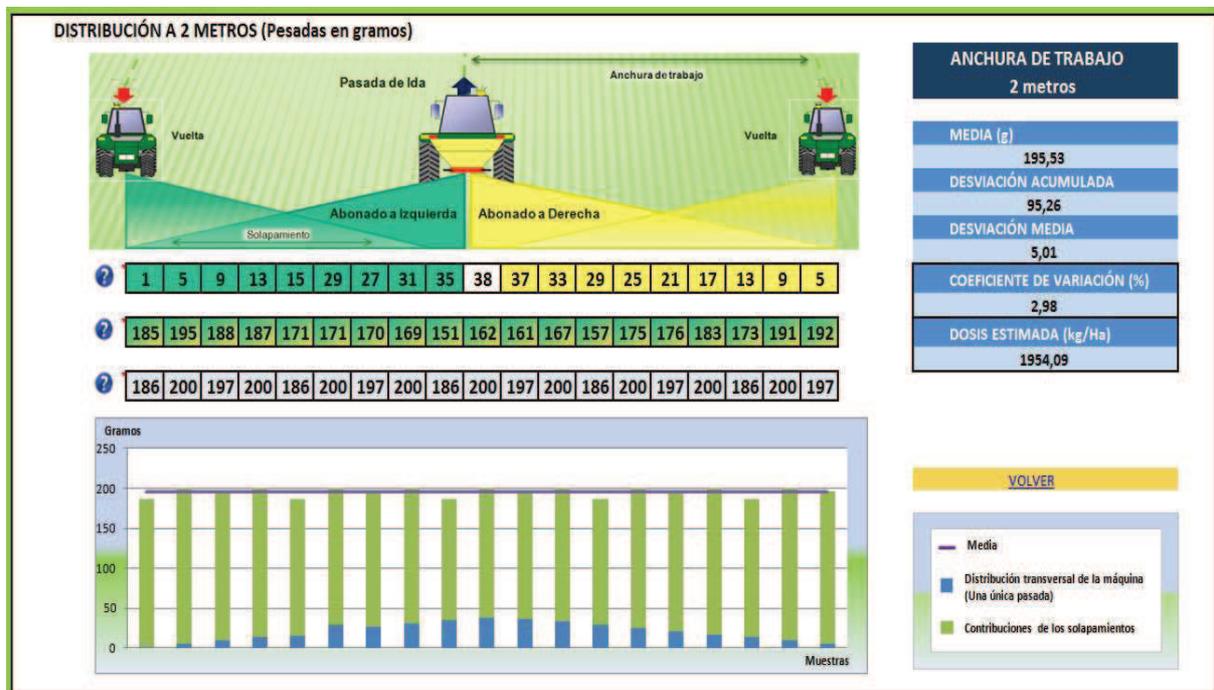


Figura A10. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

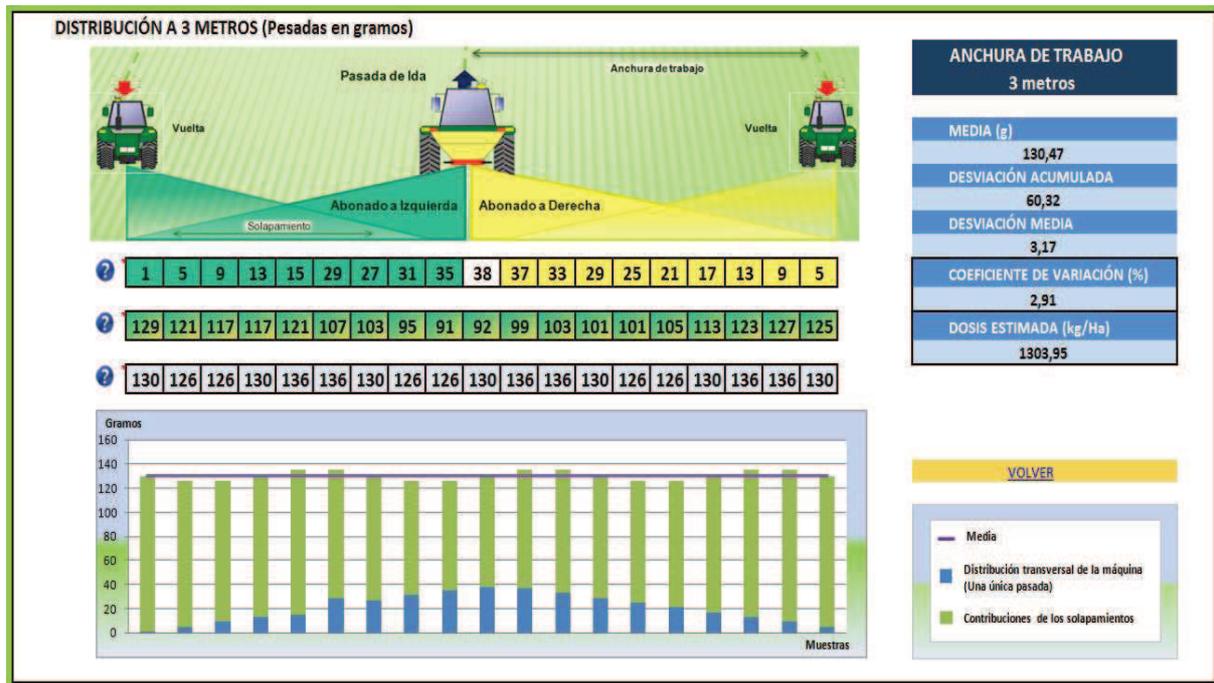


Figura A11. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

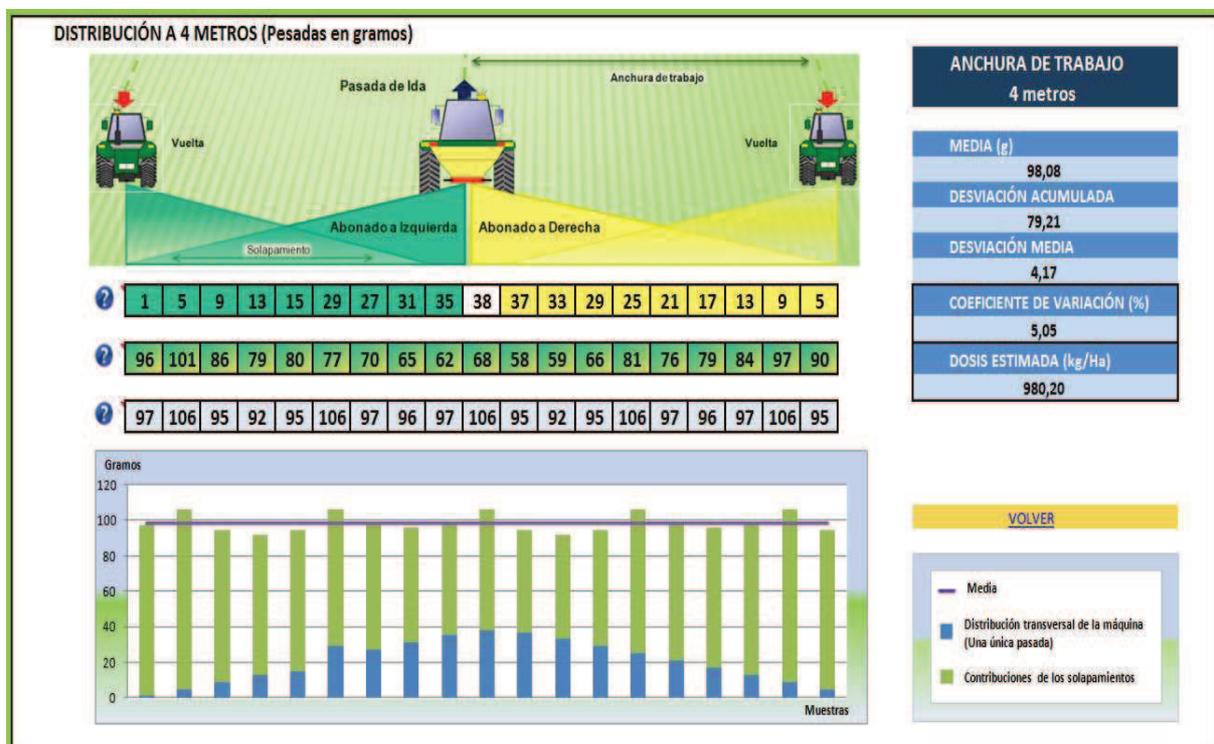


Figura A12. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

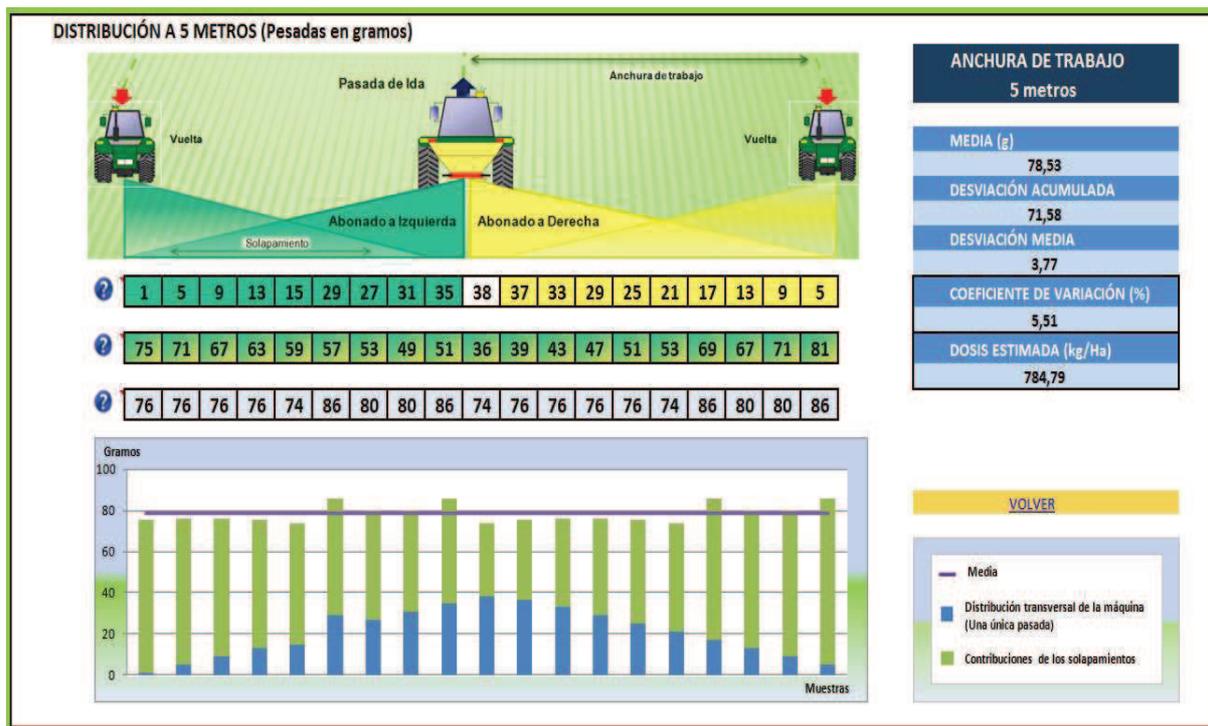


Figura A13. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

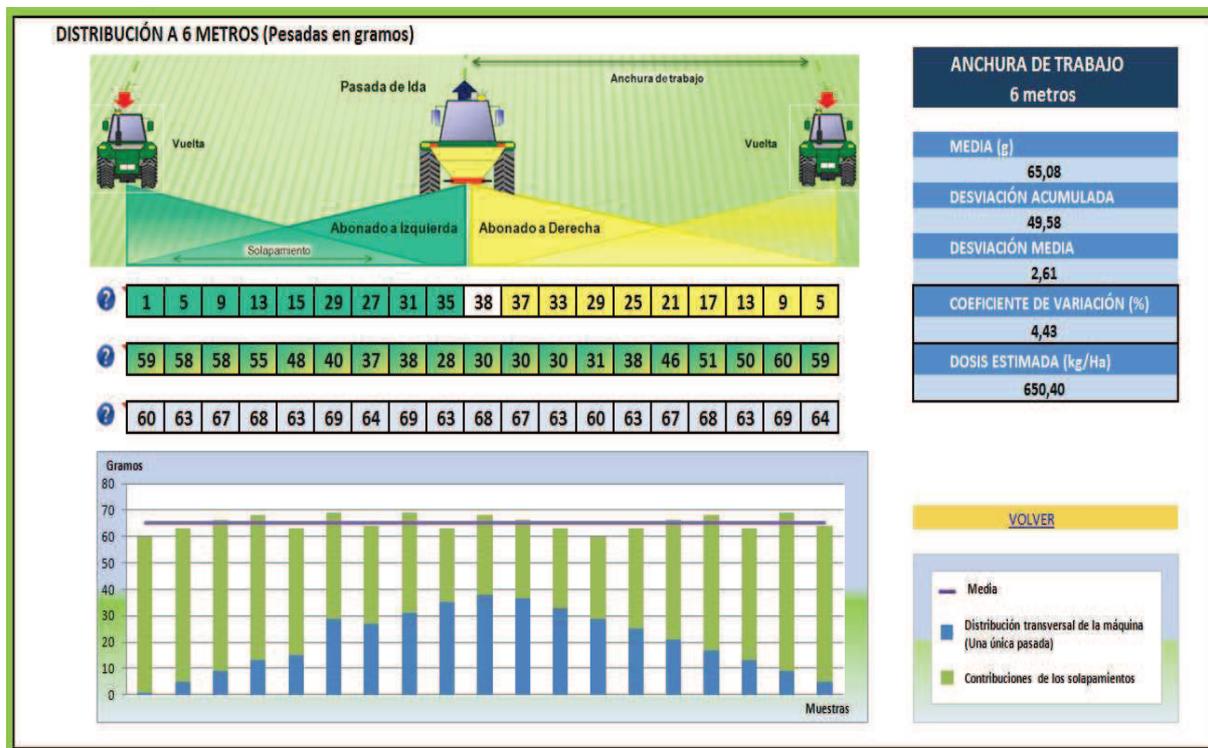


Figura A14. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

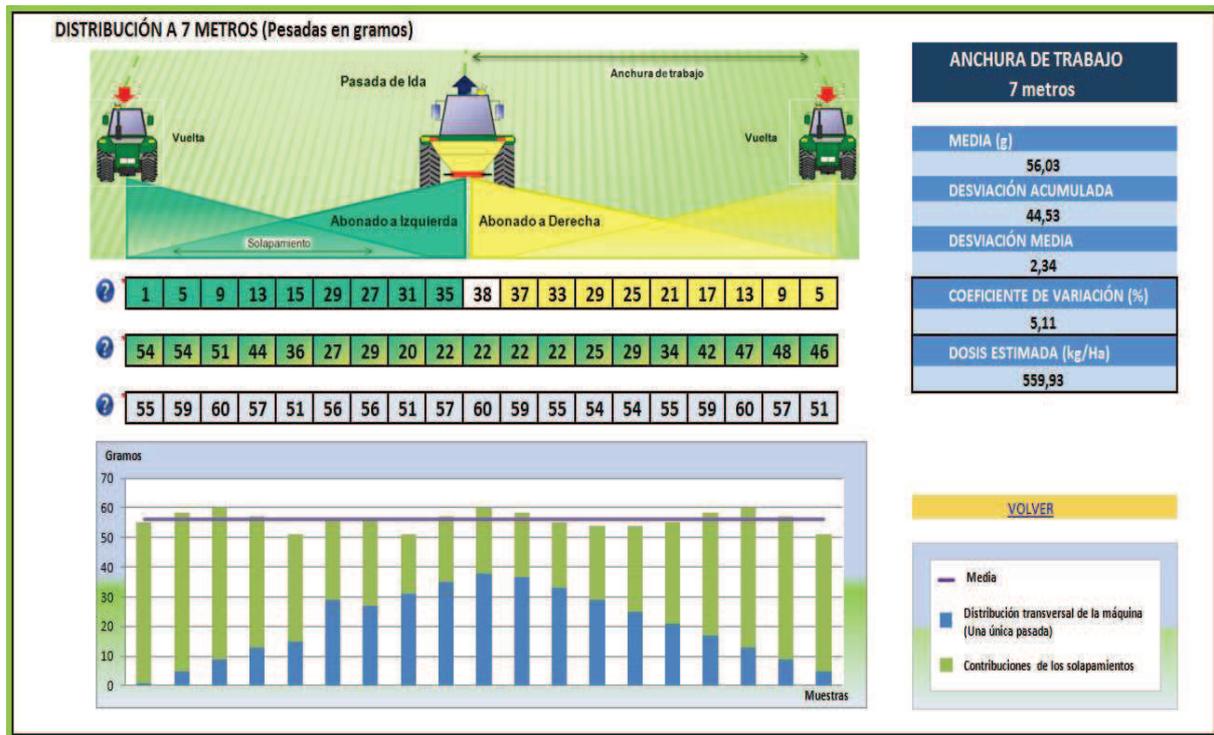


Figura A15. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

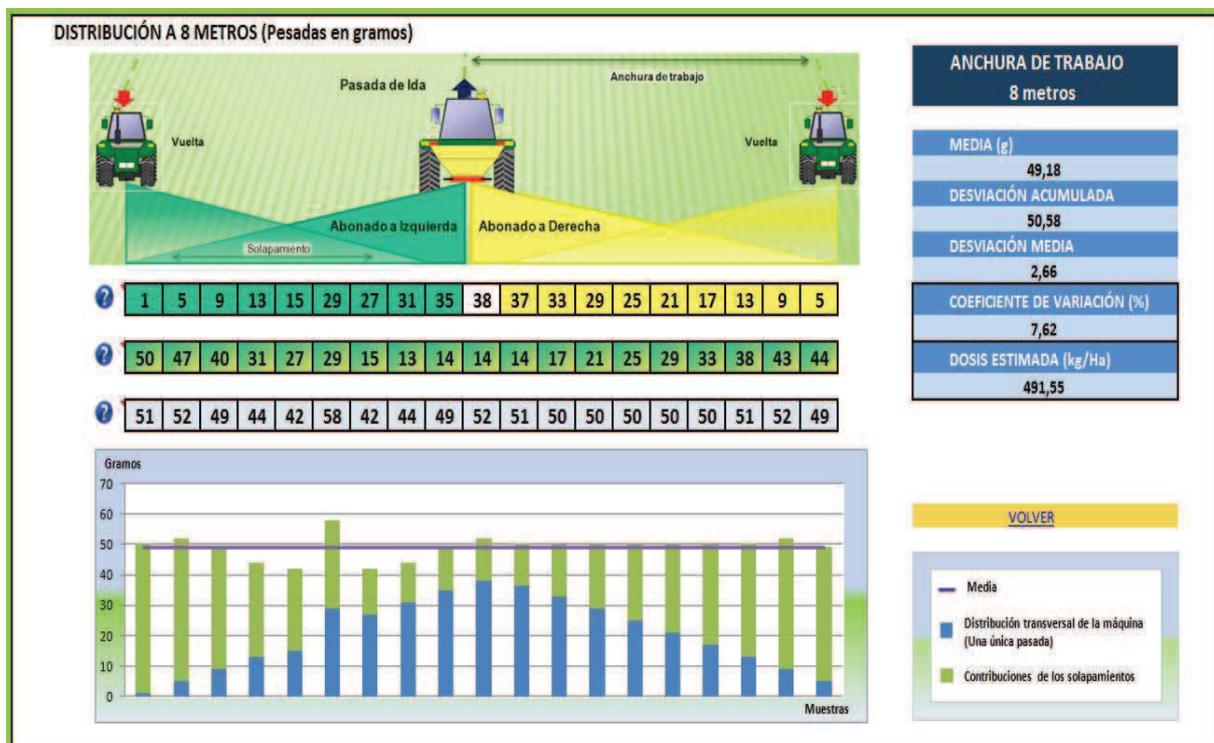


Figura A16. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

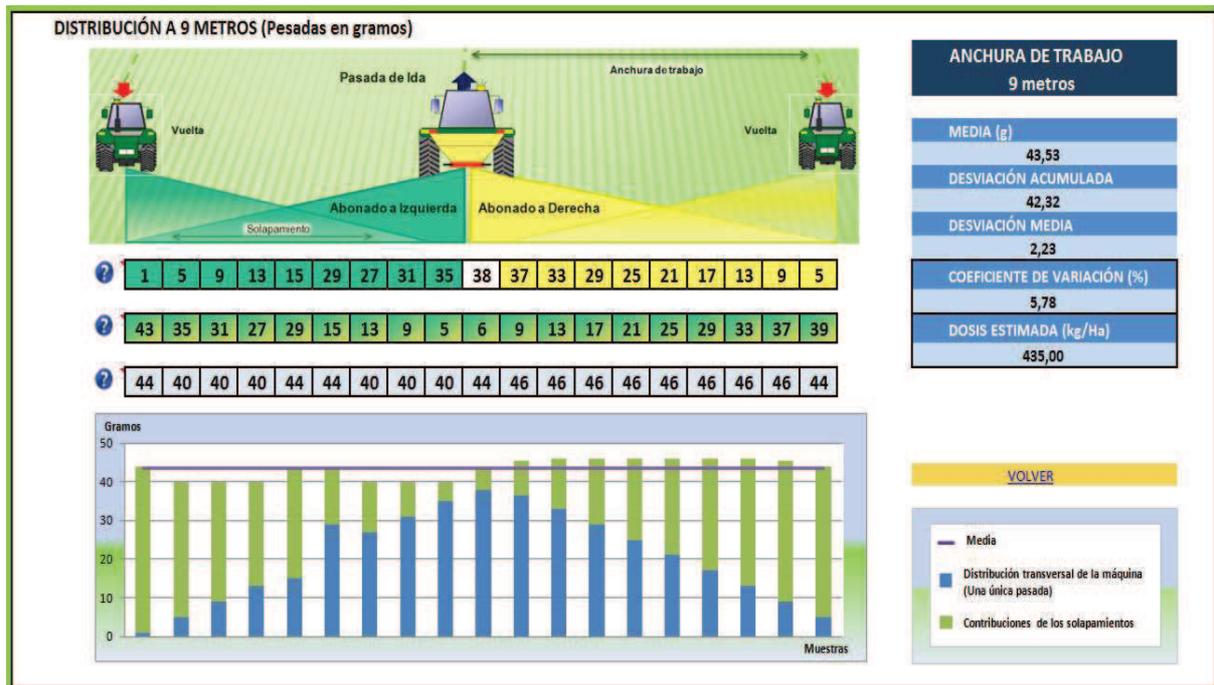


Figura A17. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

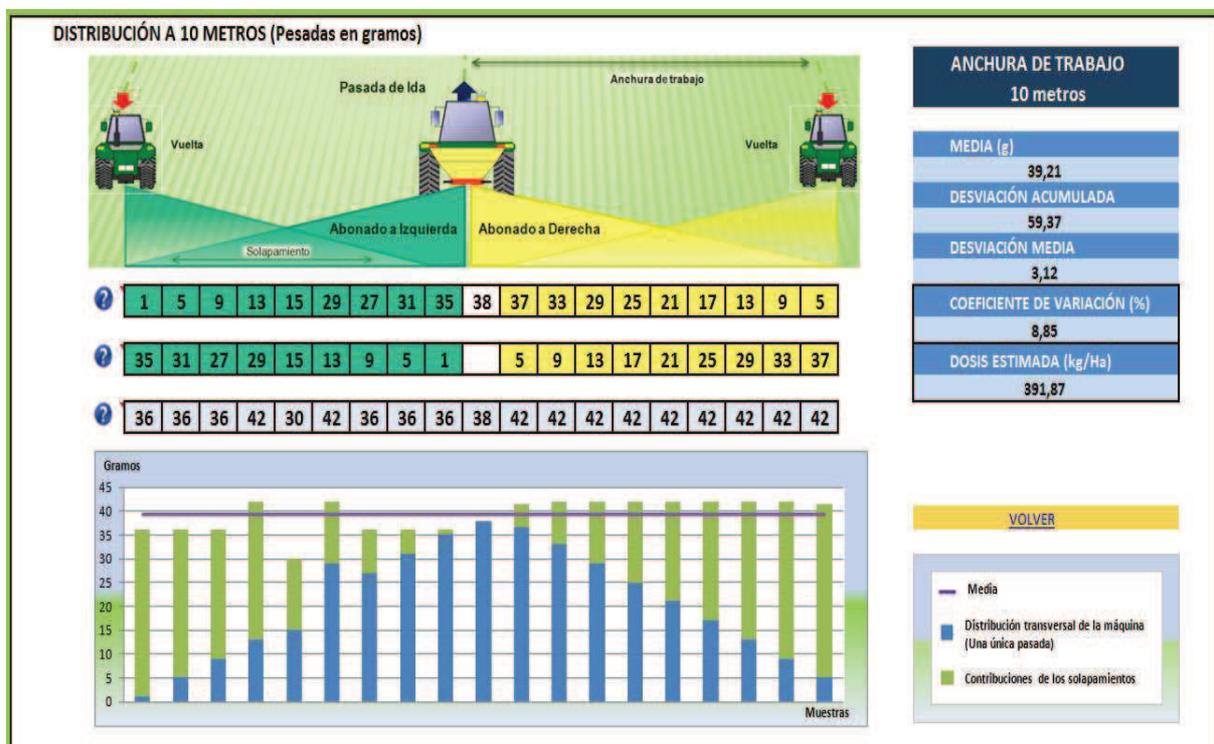


Figura A18. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

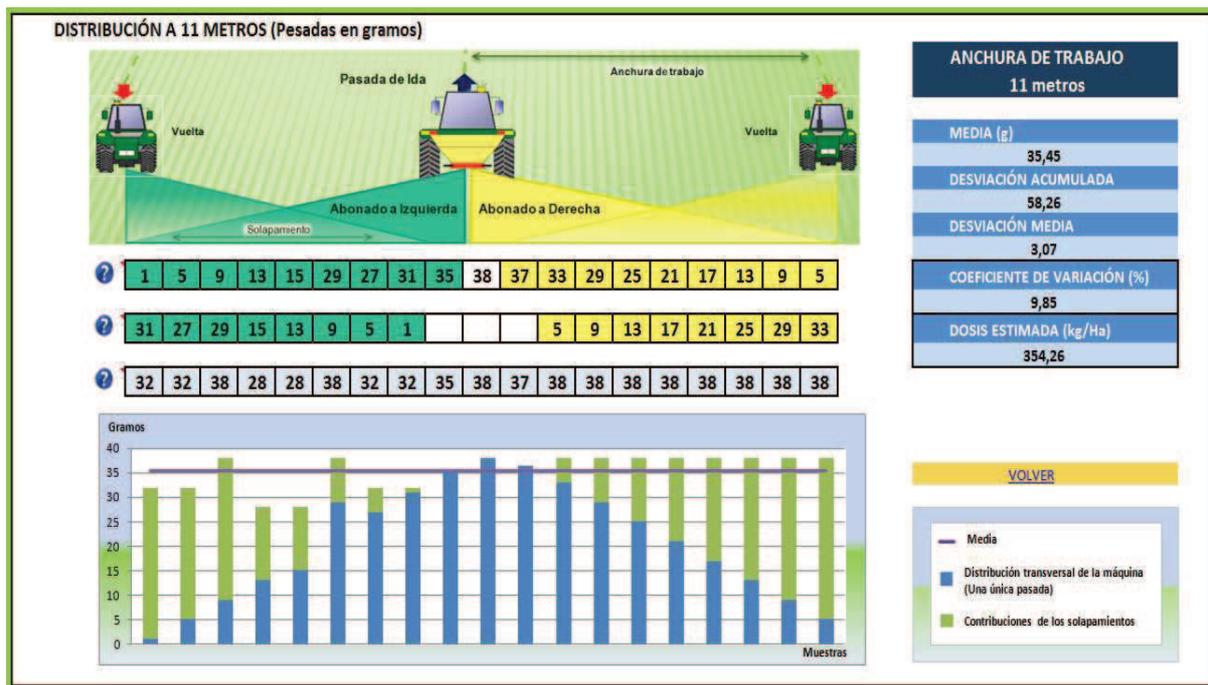


Figura A19. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

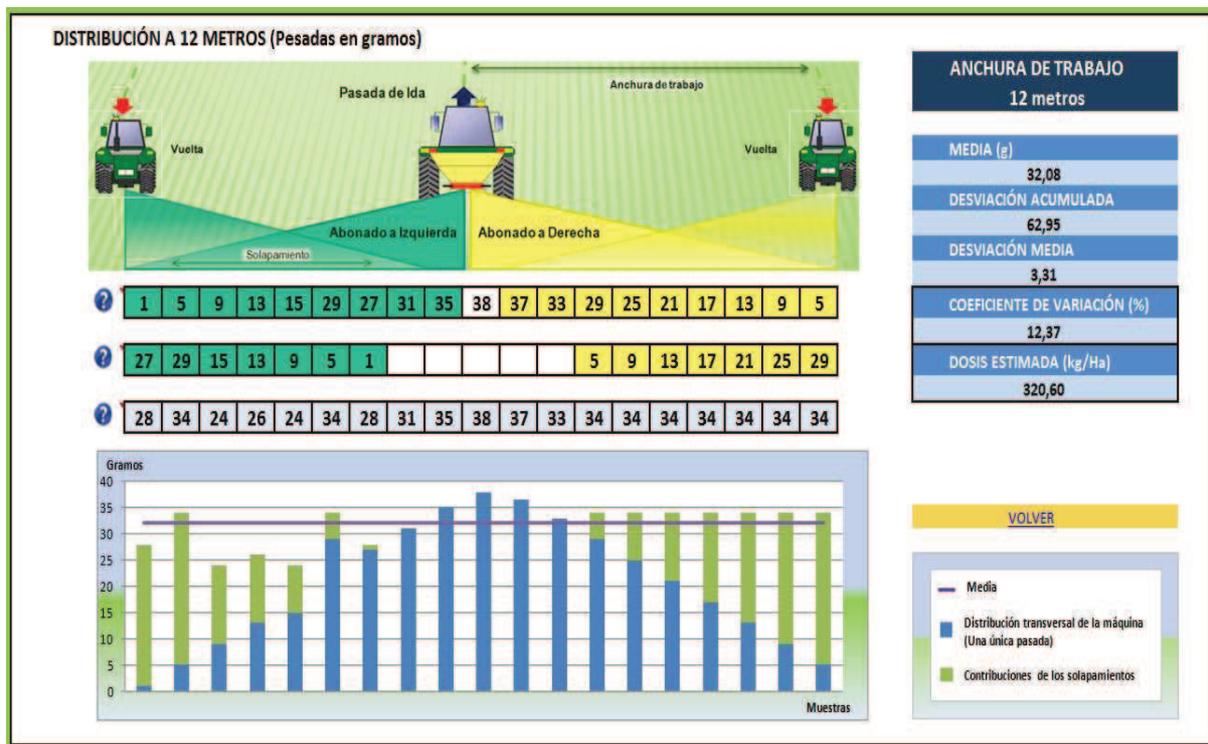


Figura A20. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

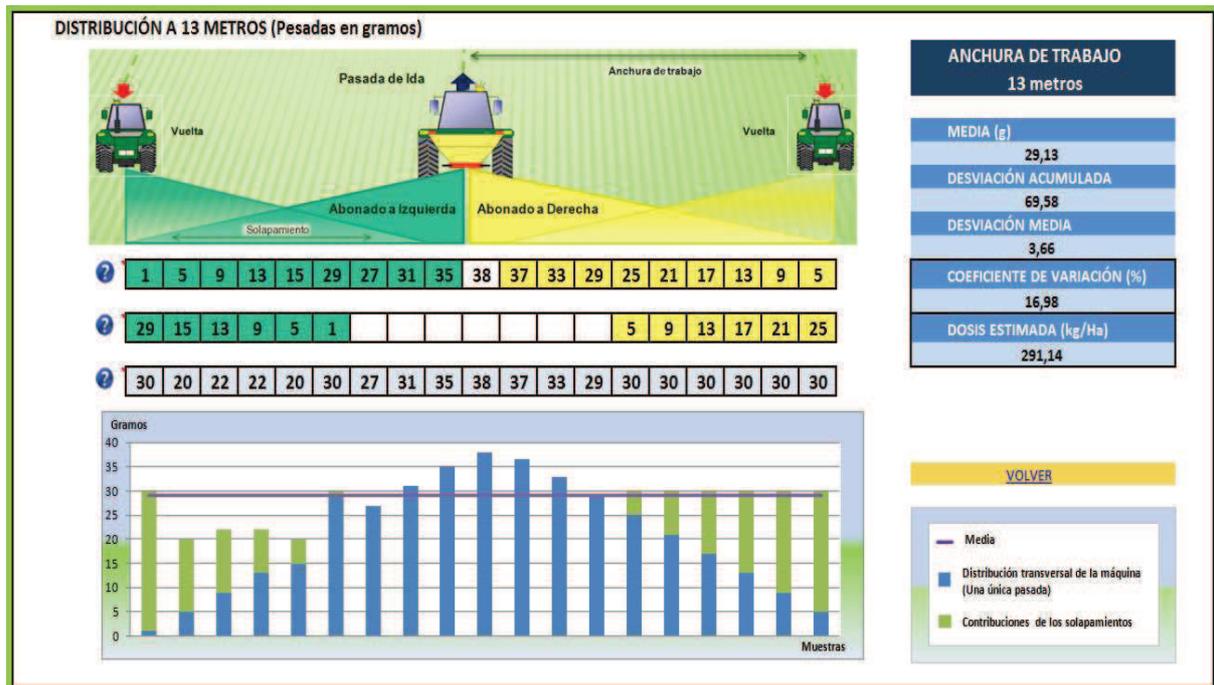


Figura A21. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

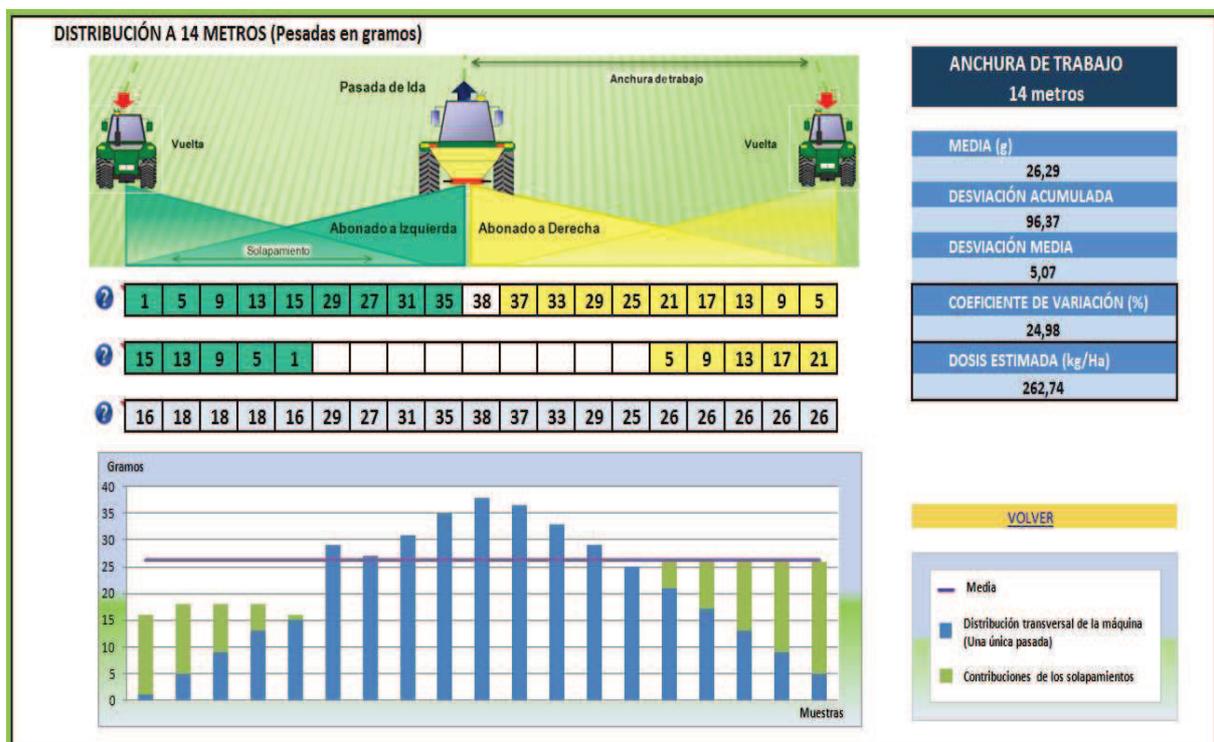


Figura A22. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

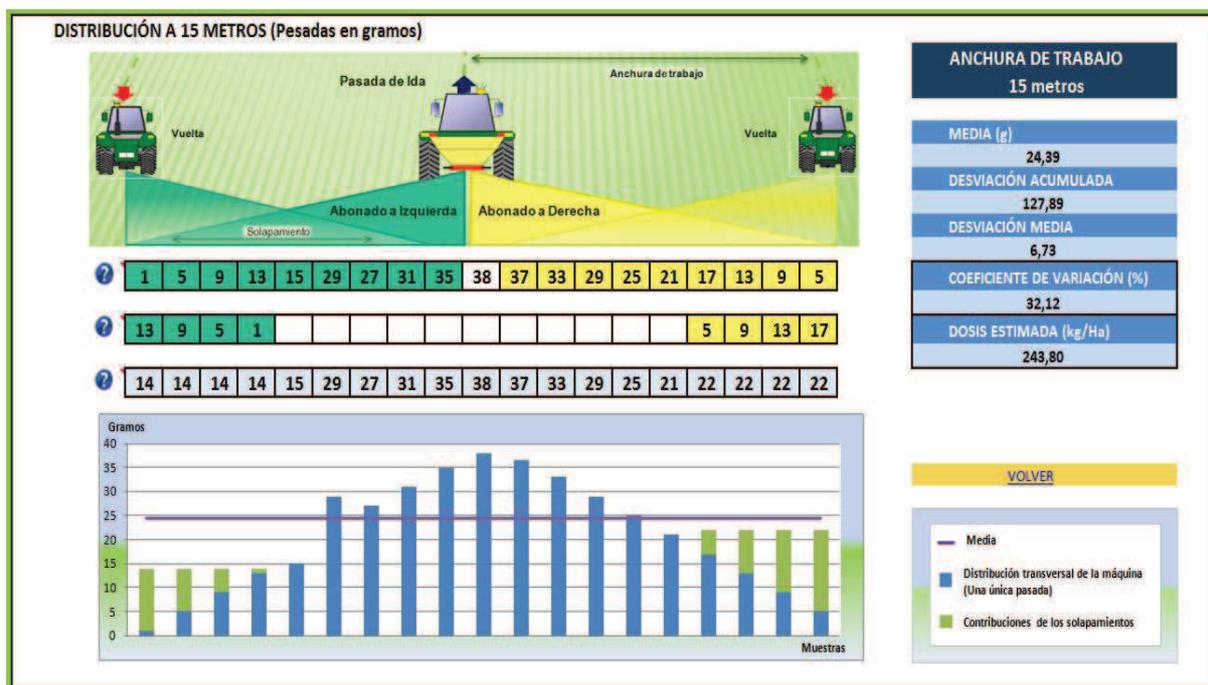


Figura A23. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

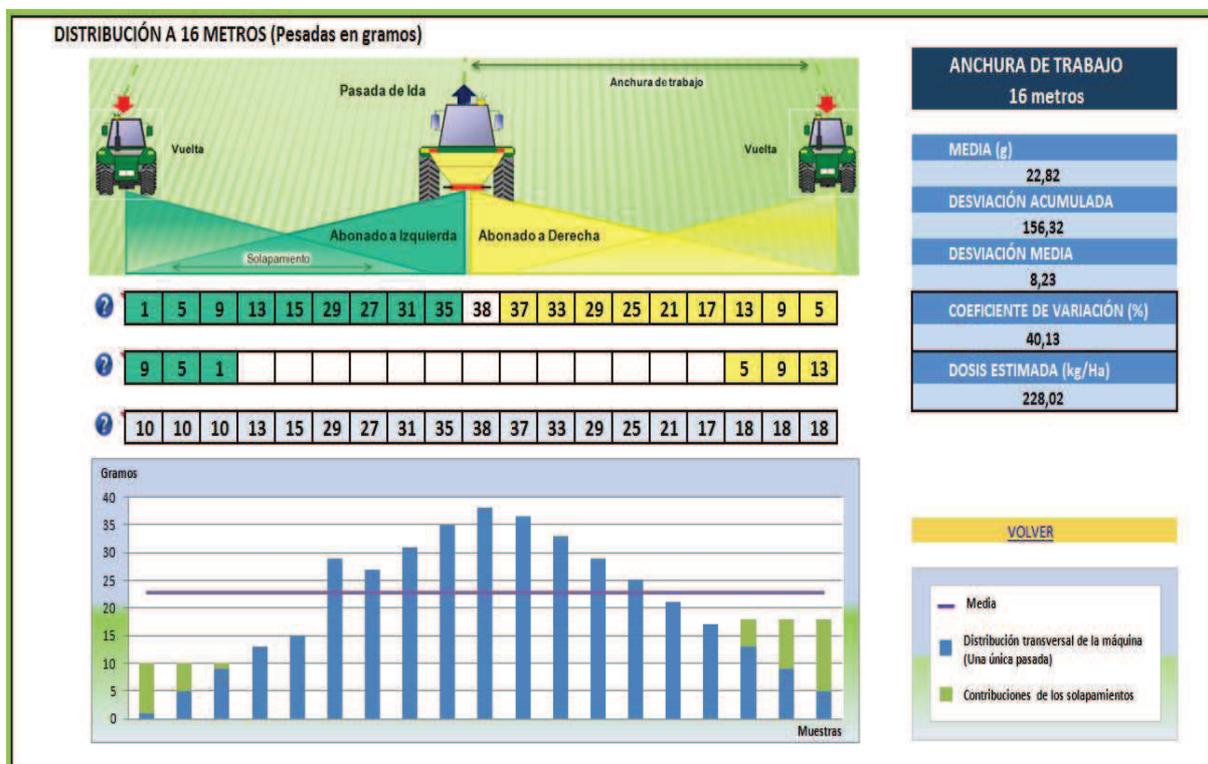


Figura A24. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

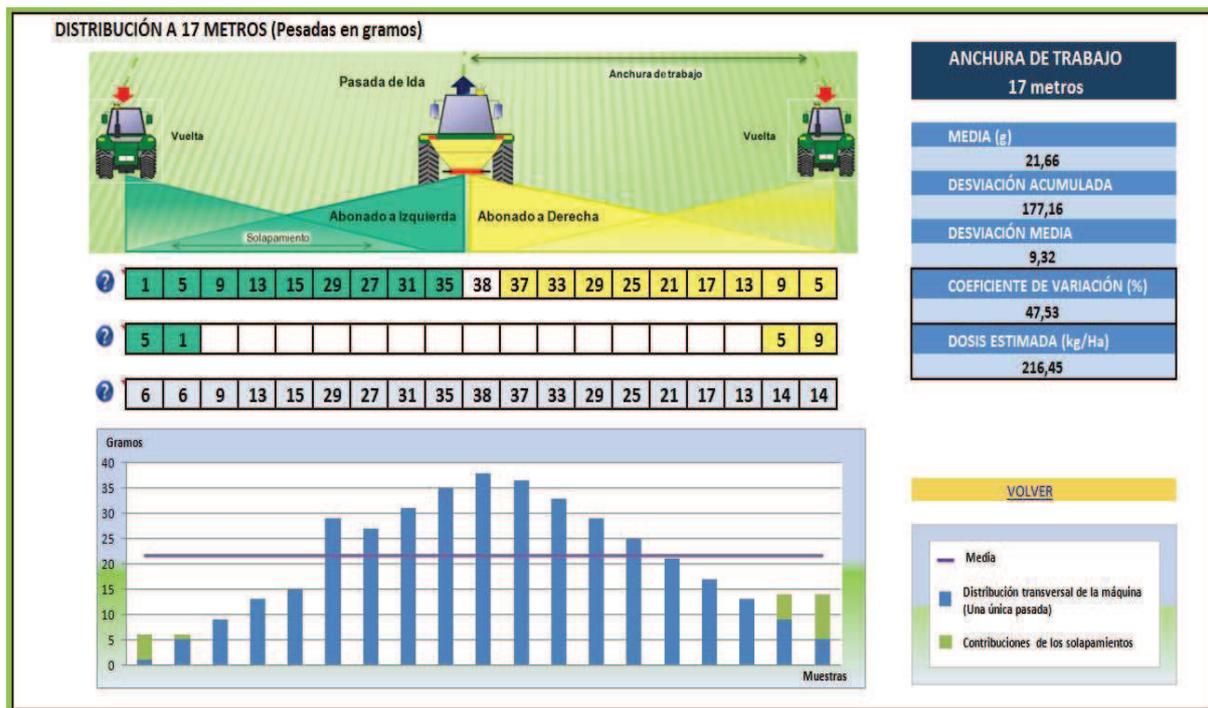


Figura A25. Diagrama de distribución transversal para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

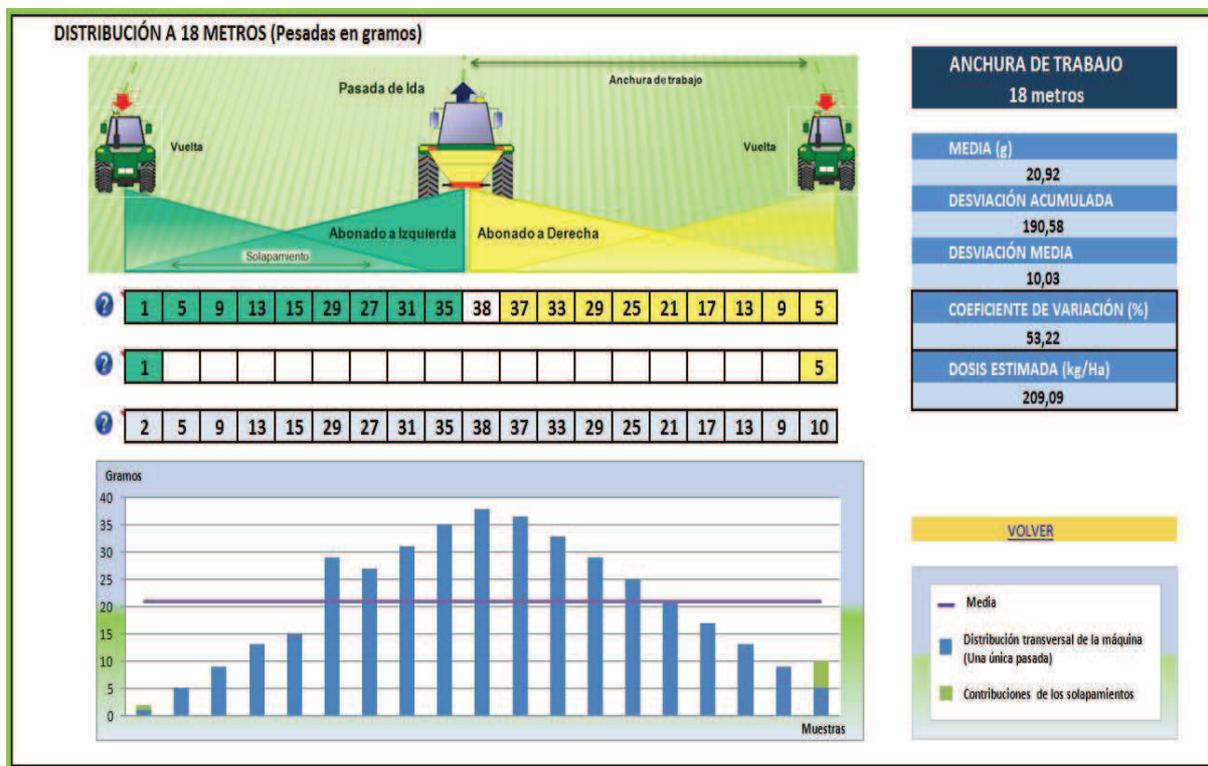


Figura A28. Diagrama de distribución transversal para un perfil trapezoidal.

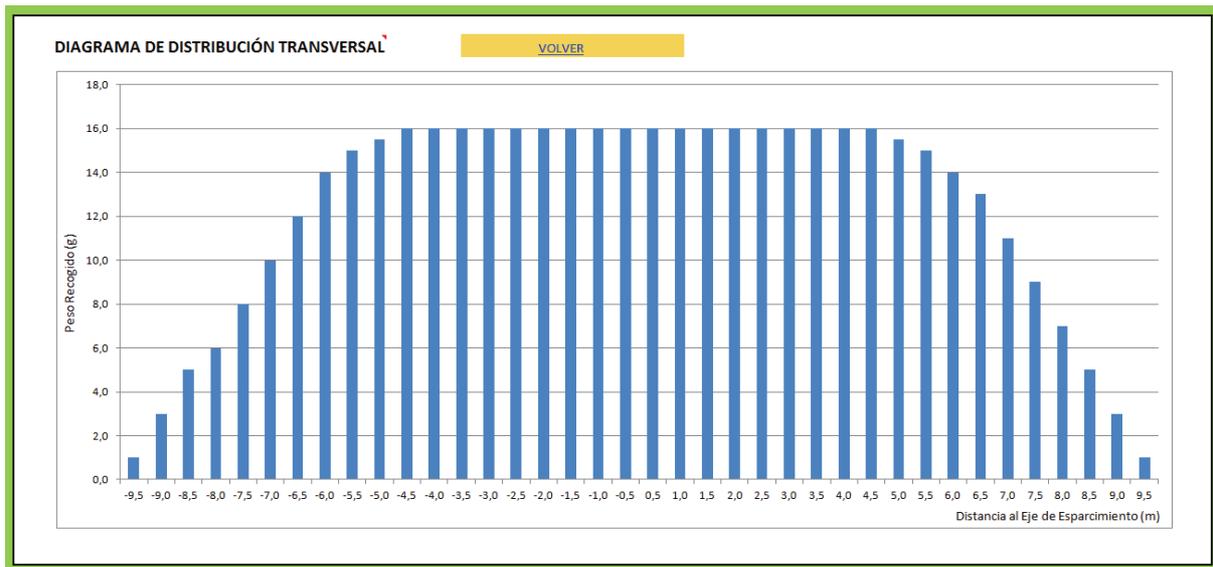


Figura A29. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 1 metros, considerando las contribuciones de abono de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

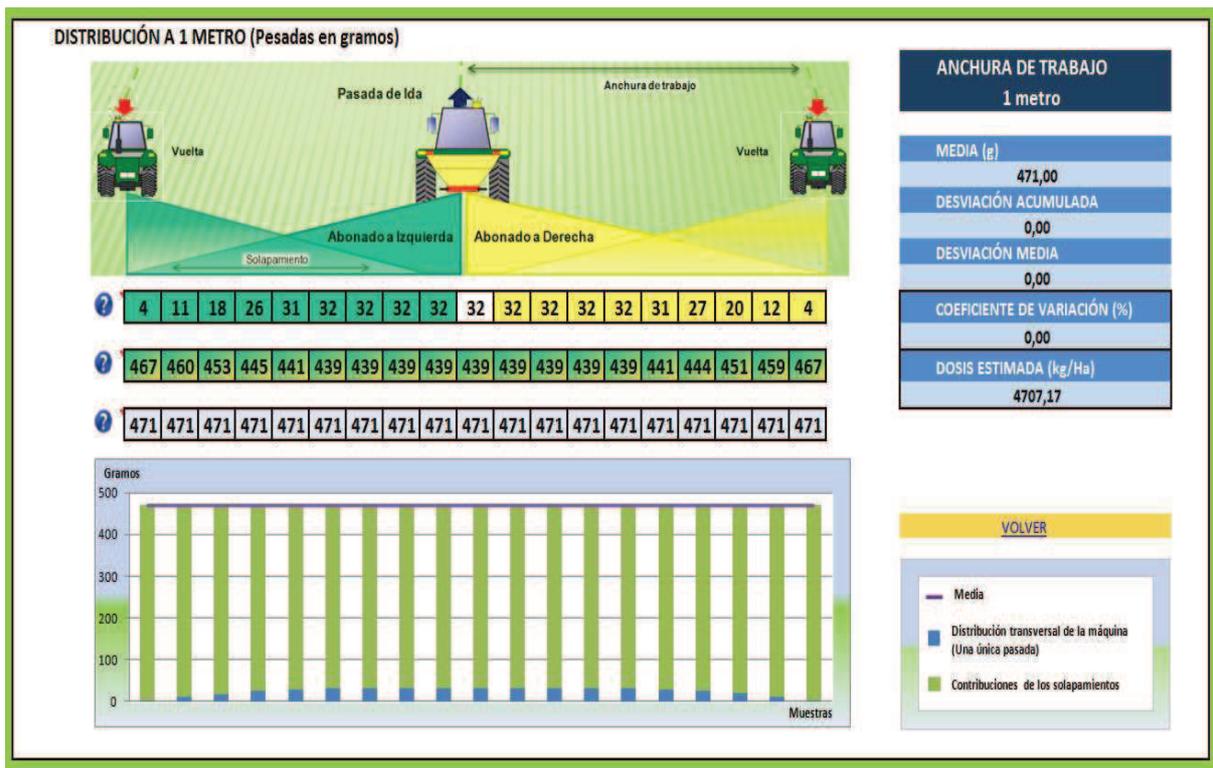


Figura A30. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

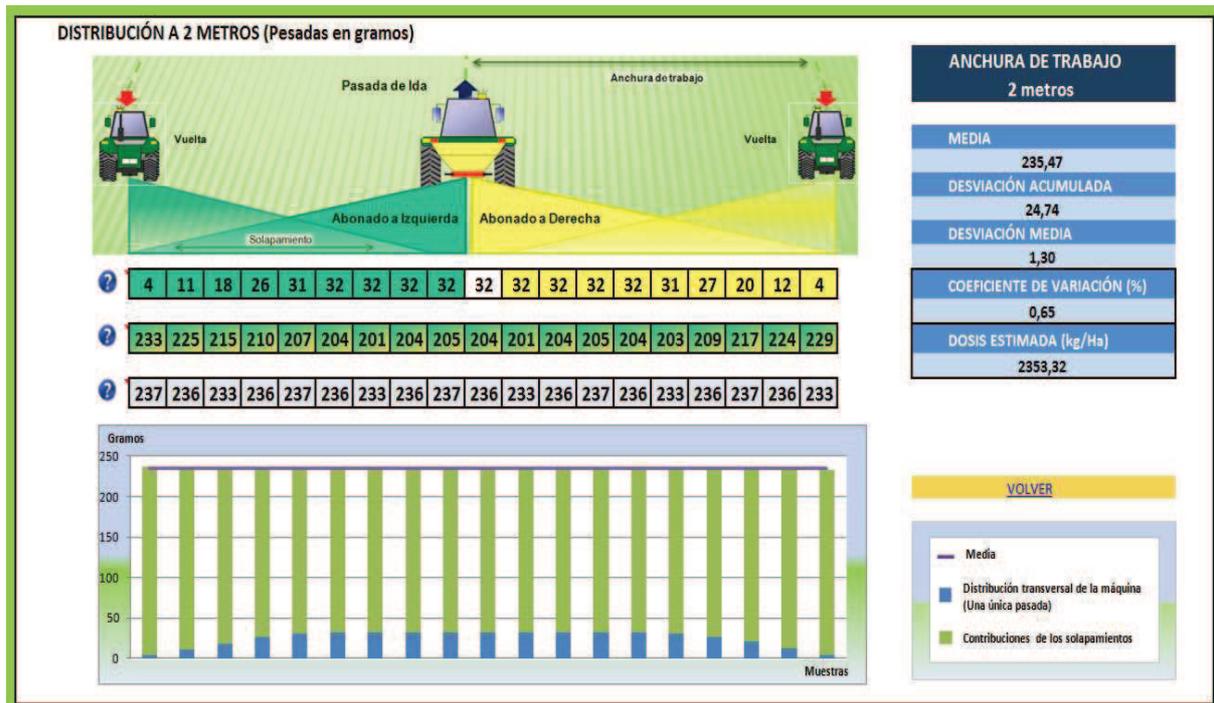


Figura A31. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

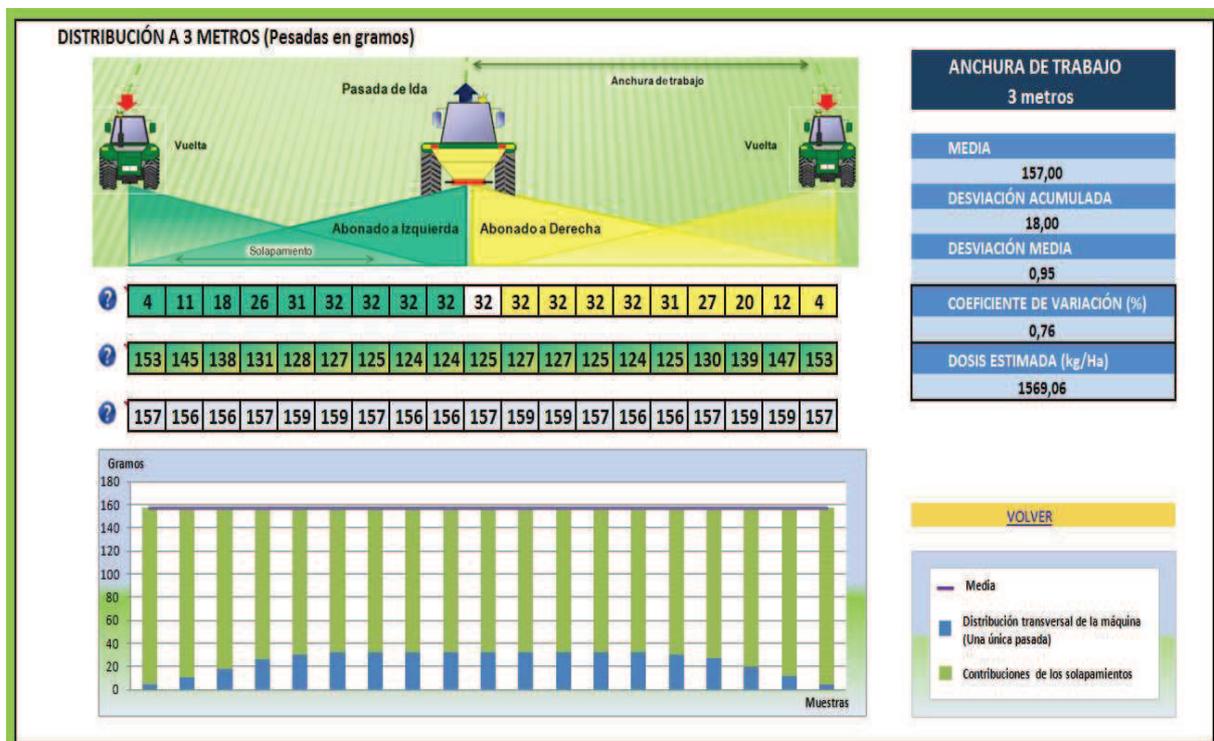


Figura A32. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

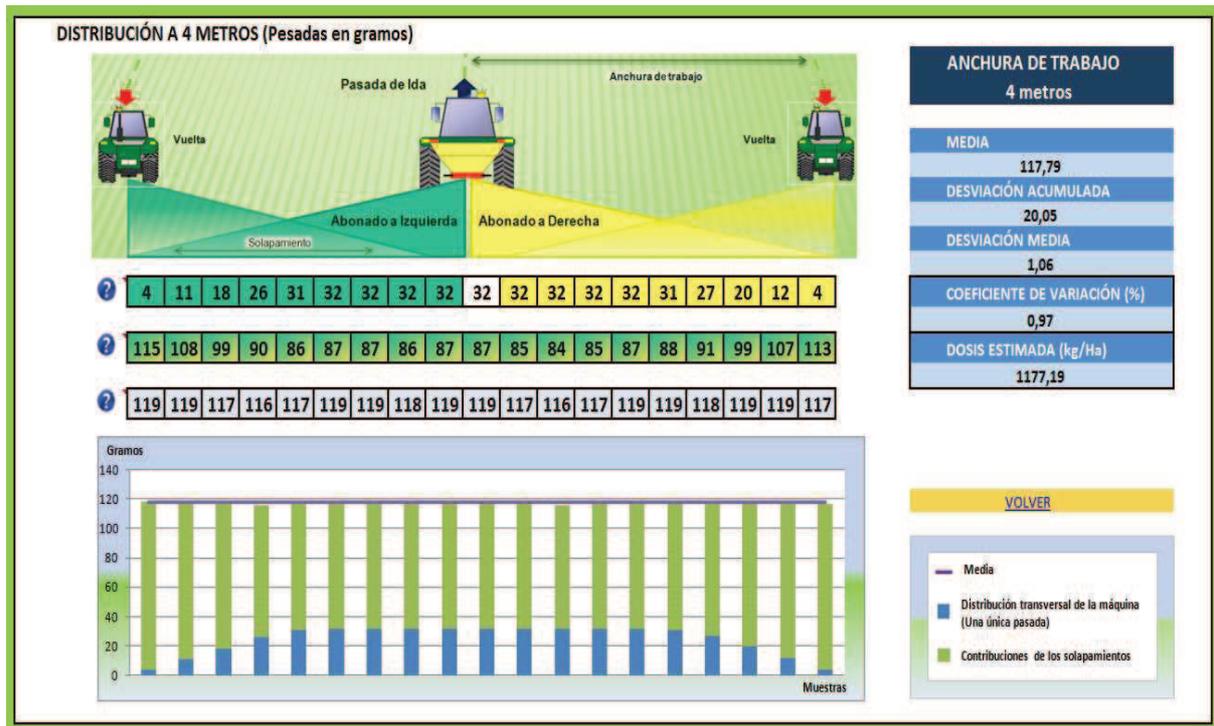


Figura A33. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

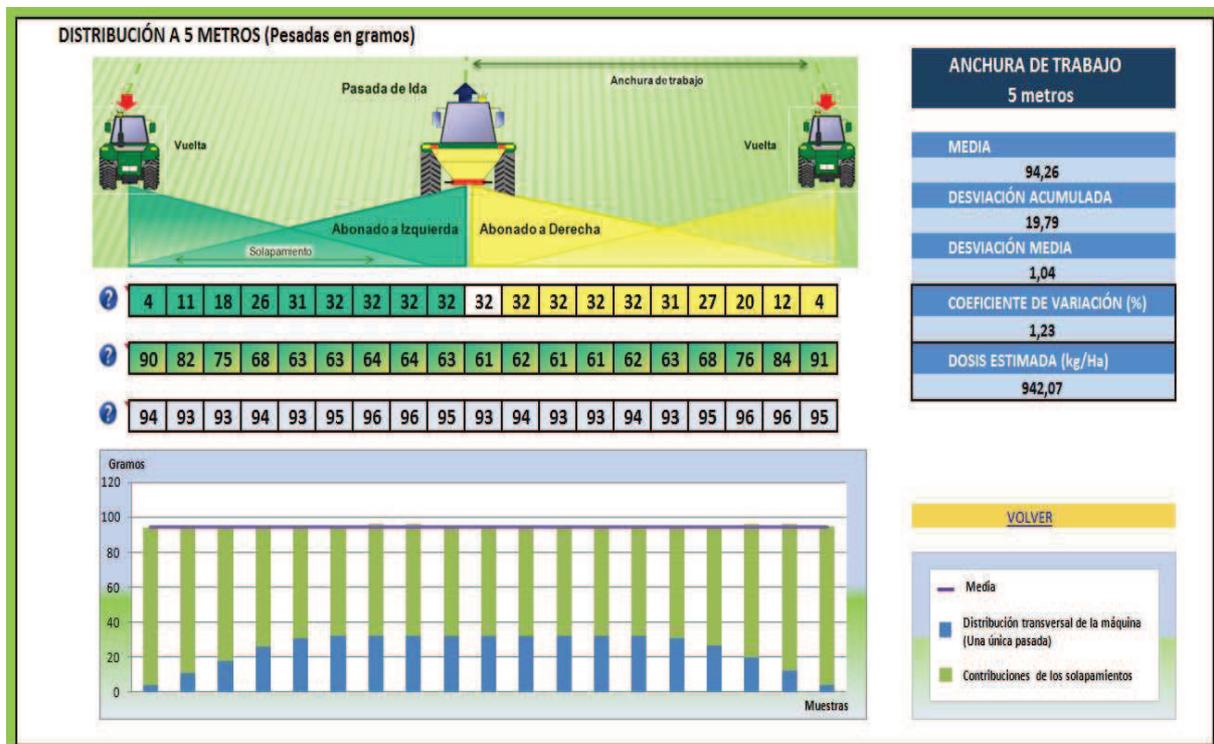


Figura A34. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

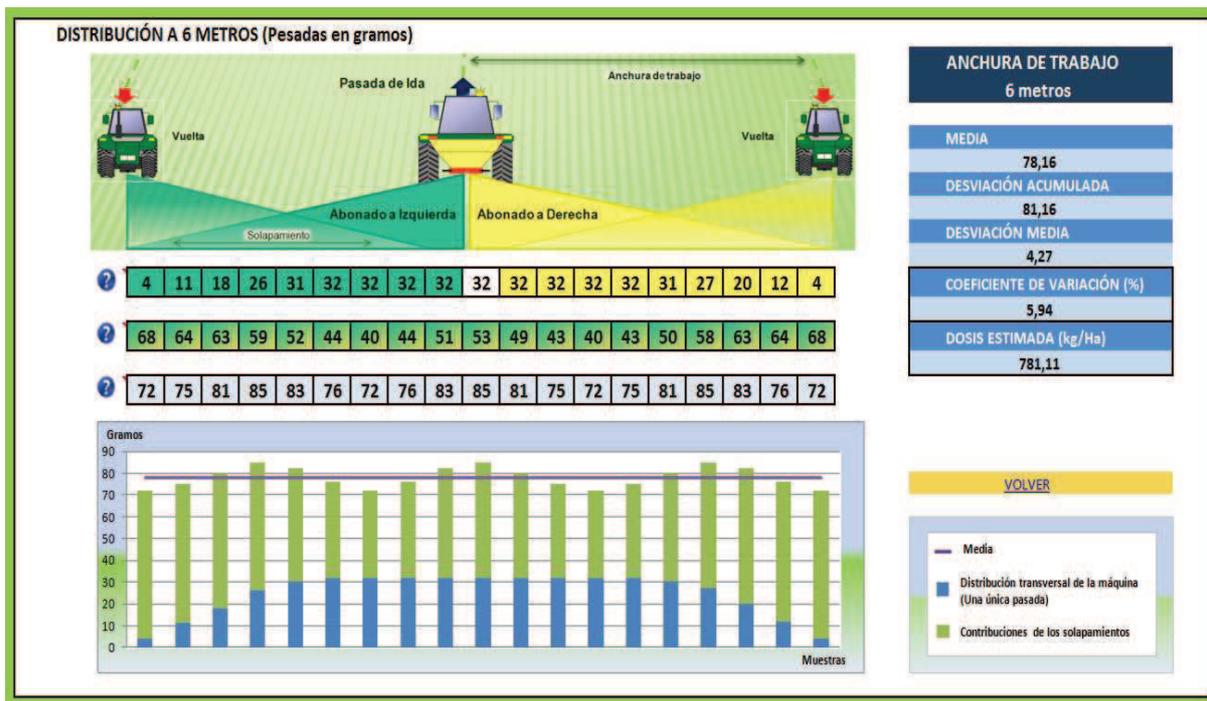


Figura A35. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

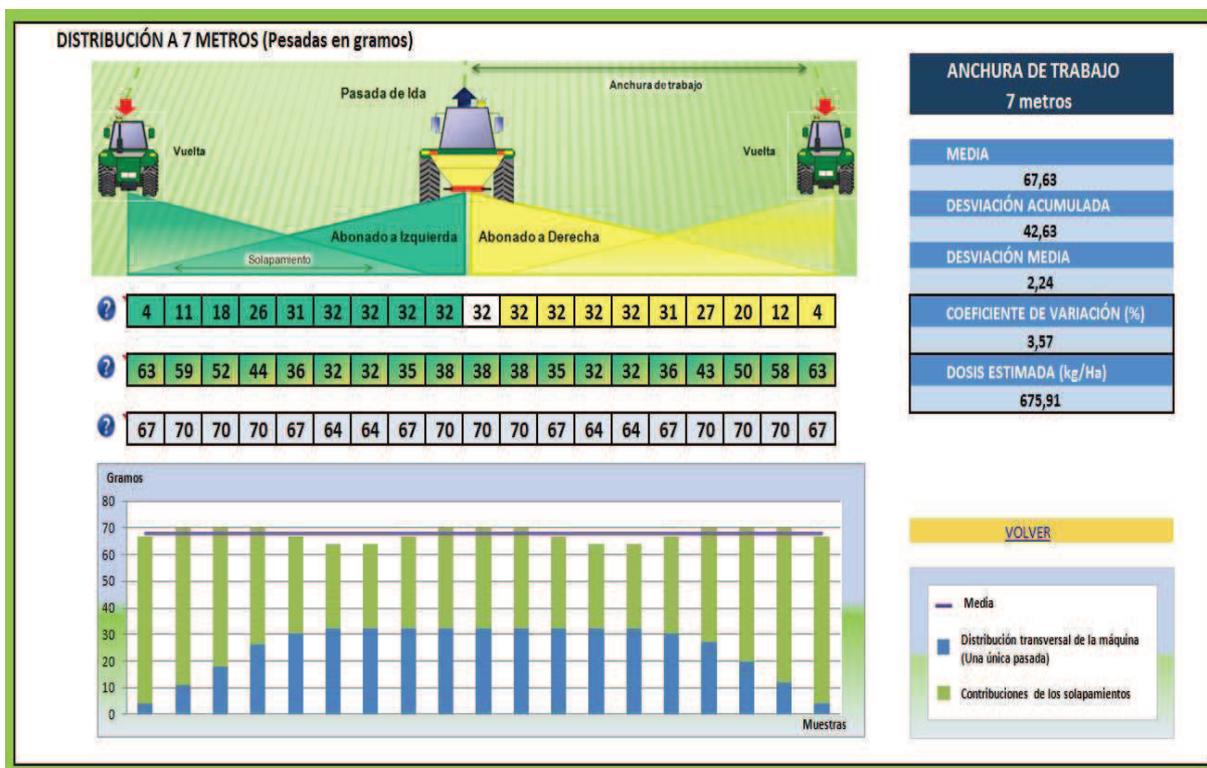


Figura A36. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

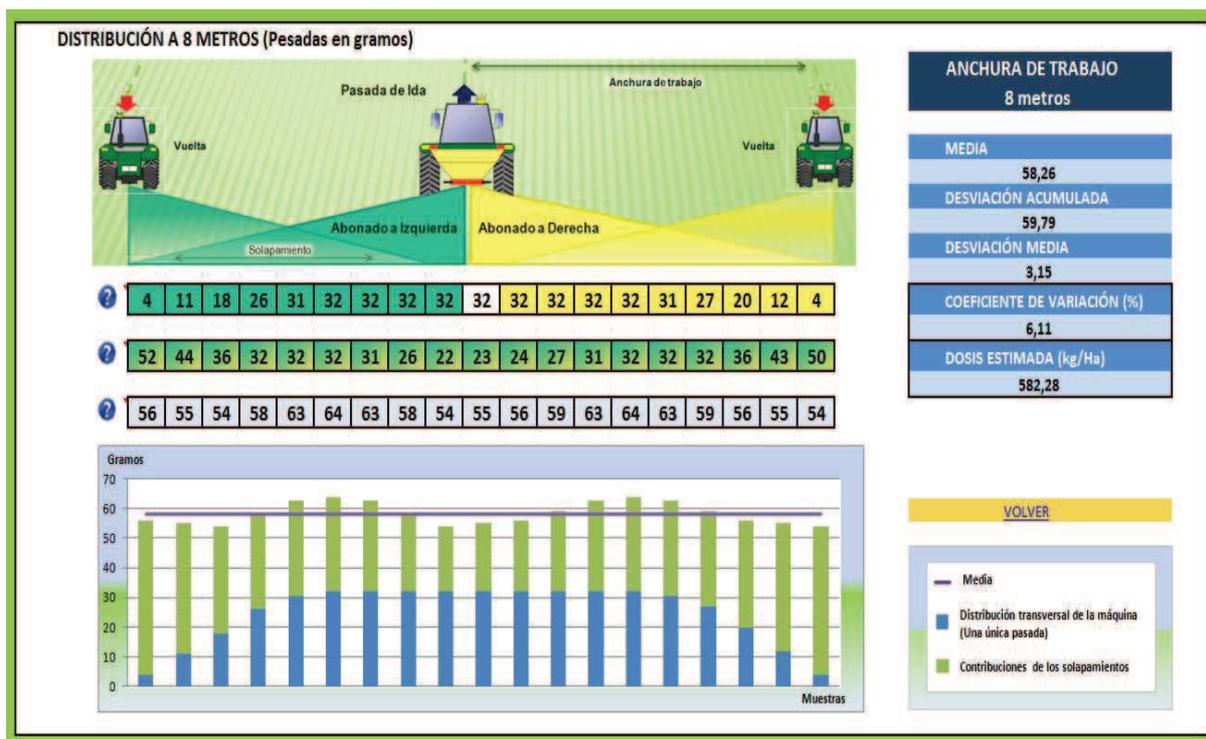


Figura A37. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

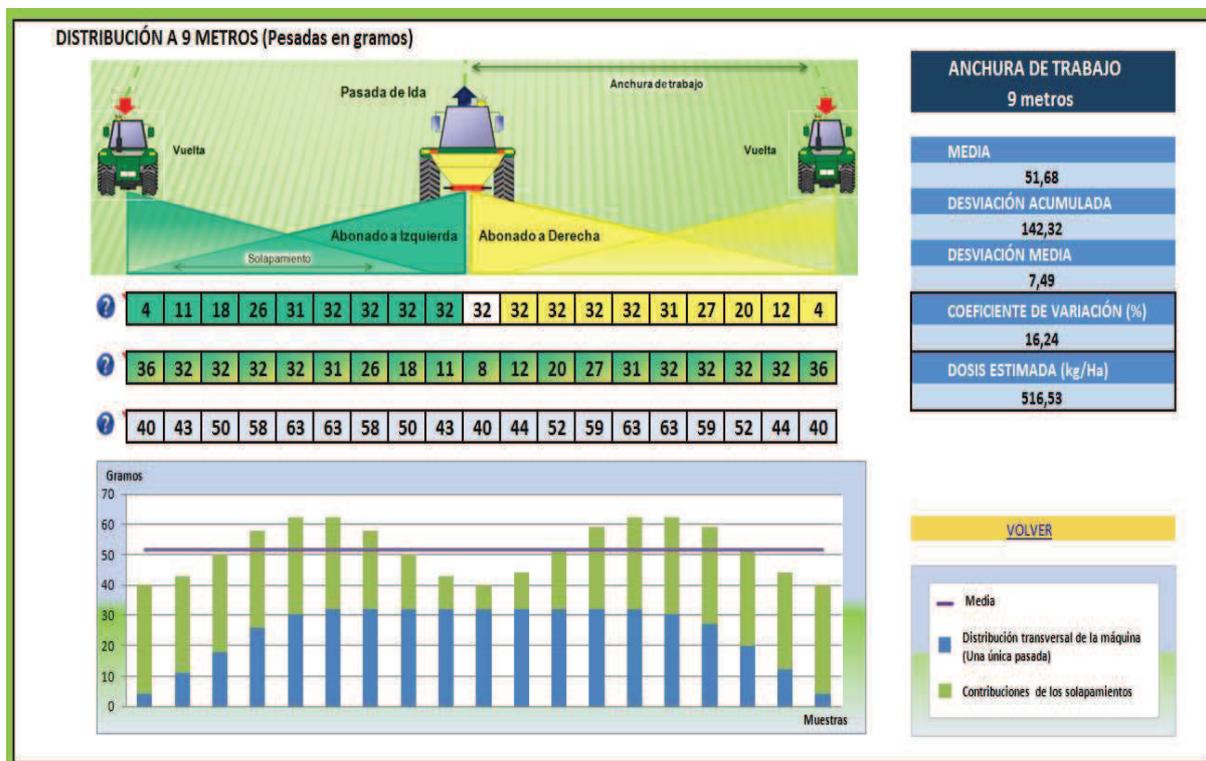


Figura A38. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

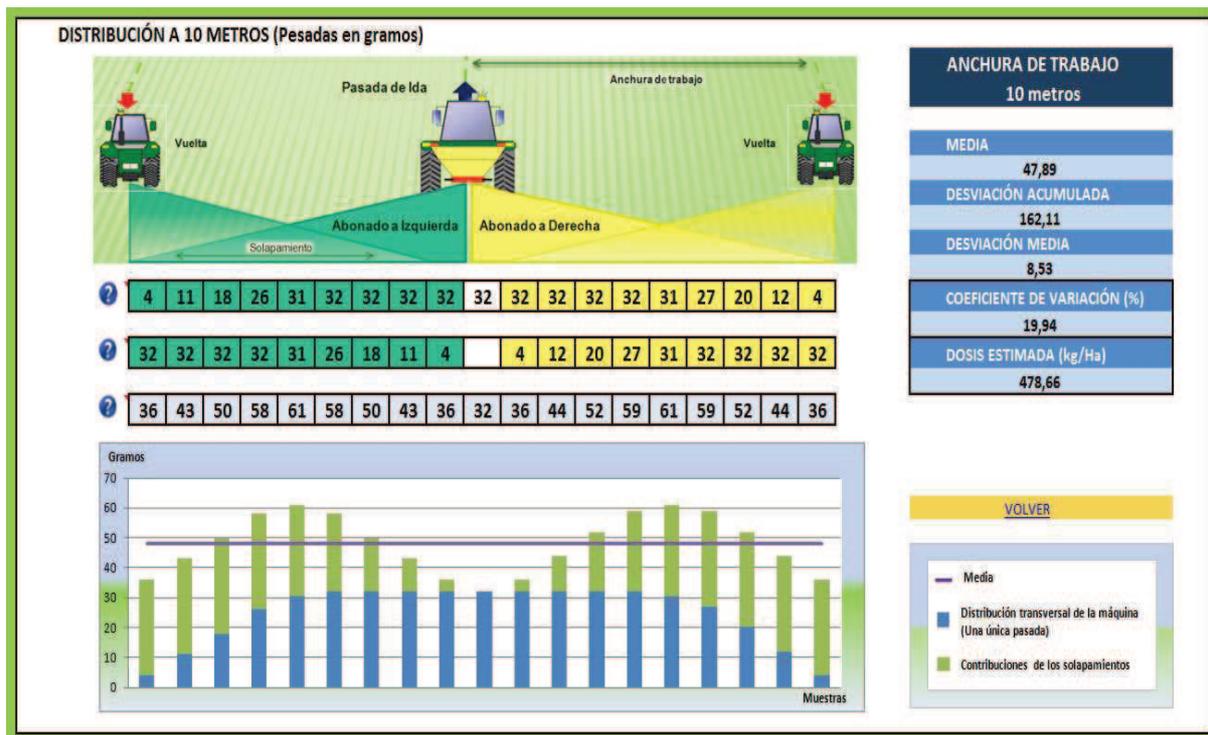


Figura A39. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

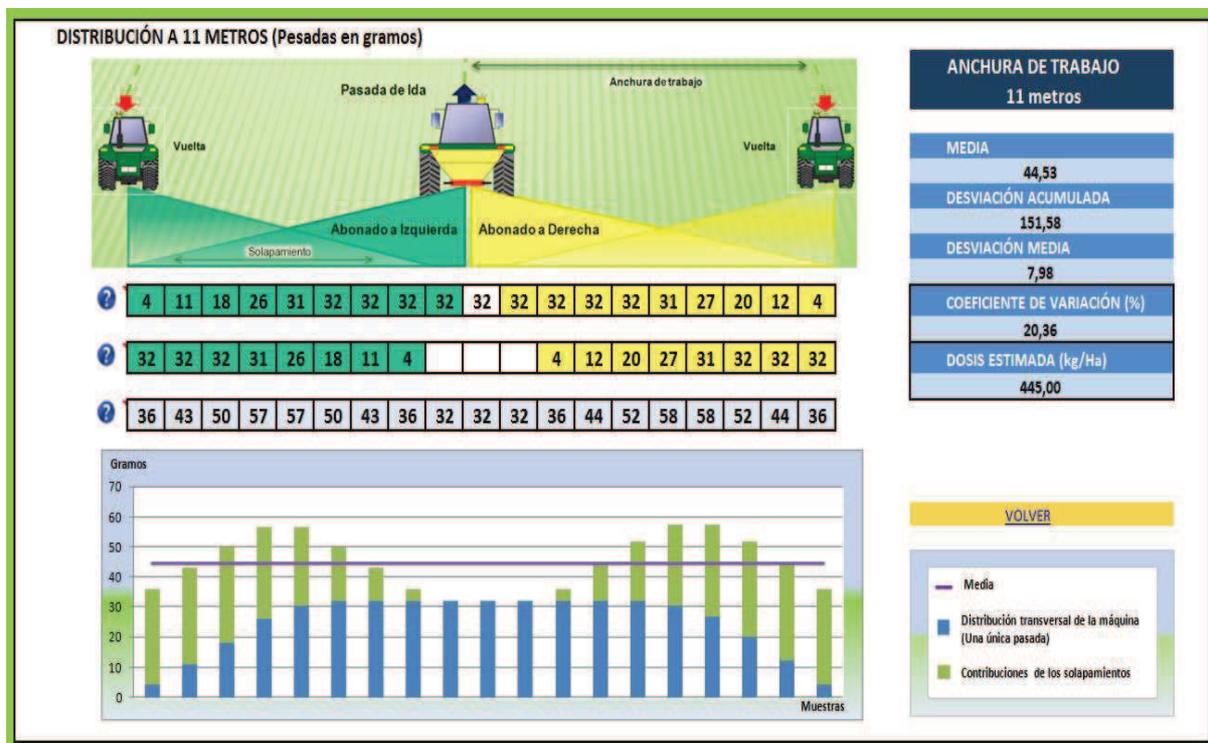


Figura A40. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

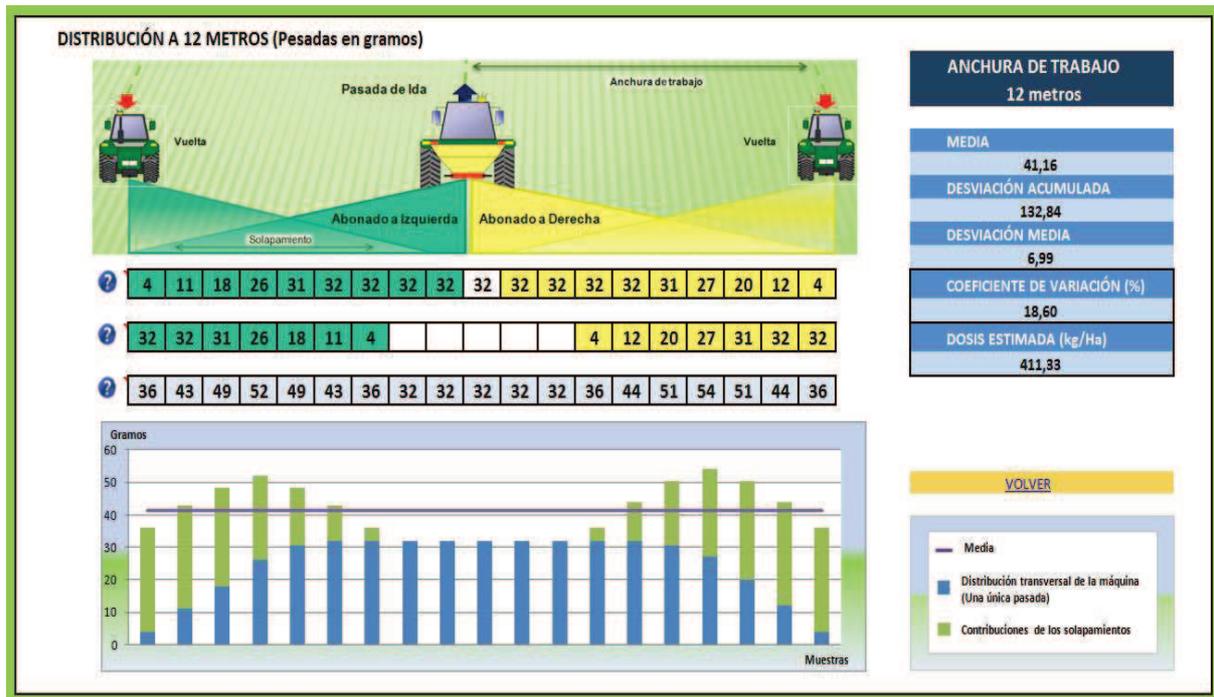


Figura A41. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

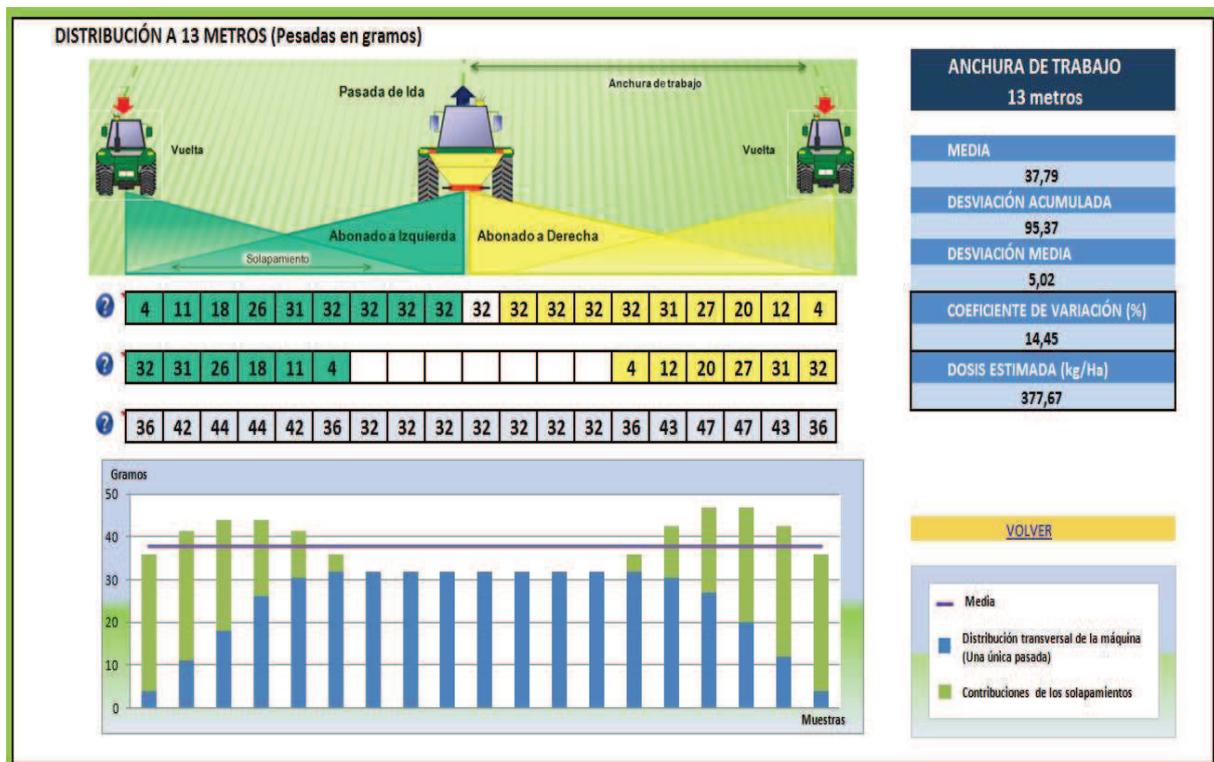


Figura A42. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

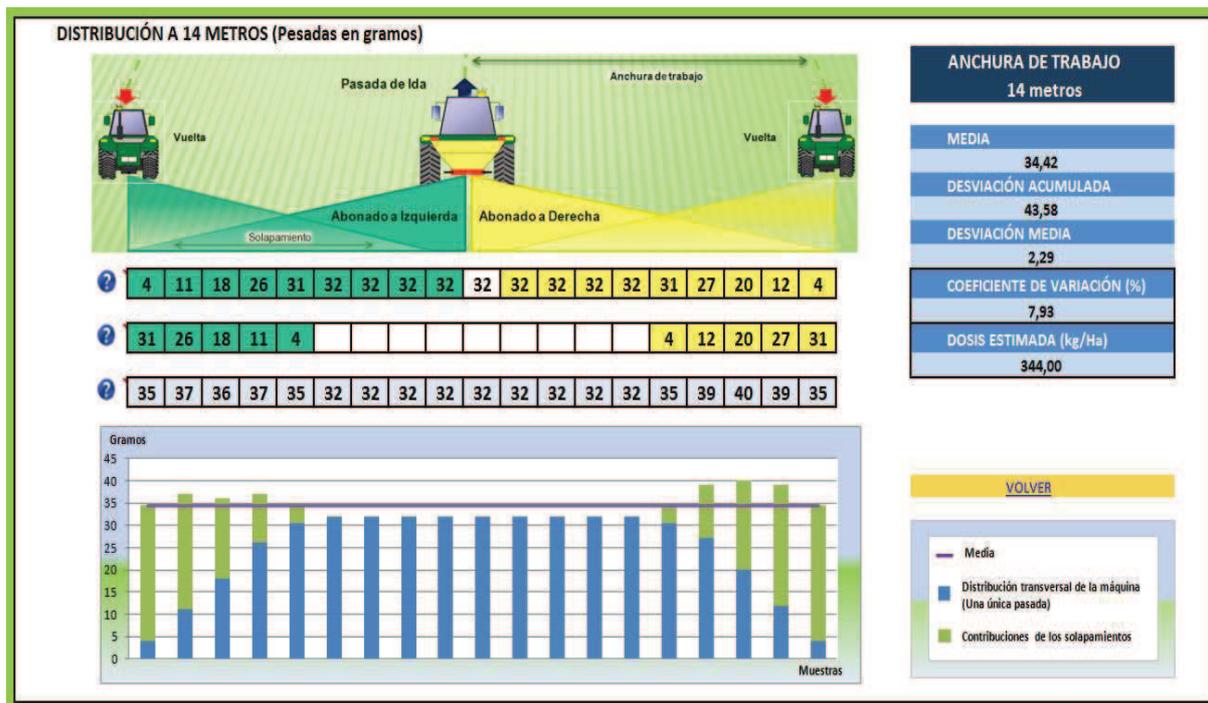


Figura A43. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

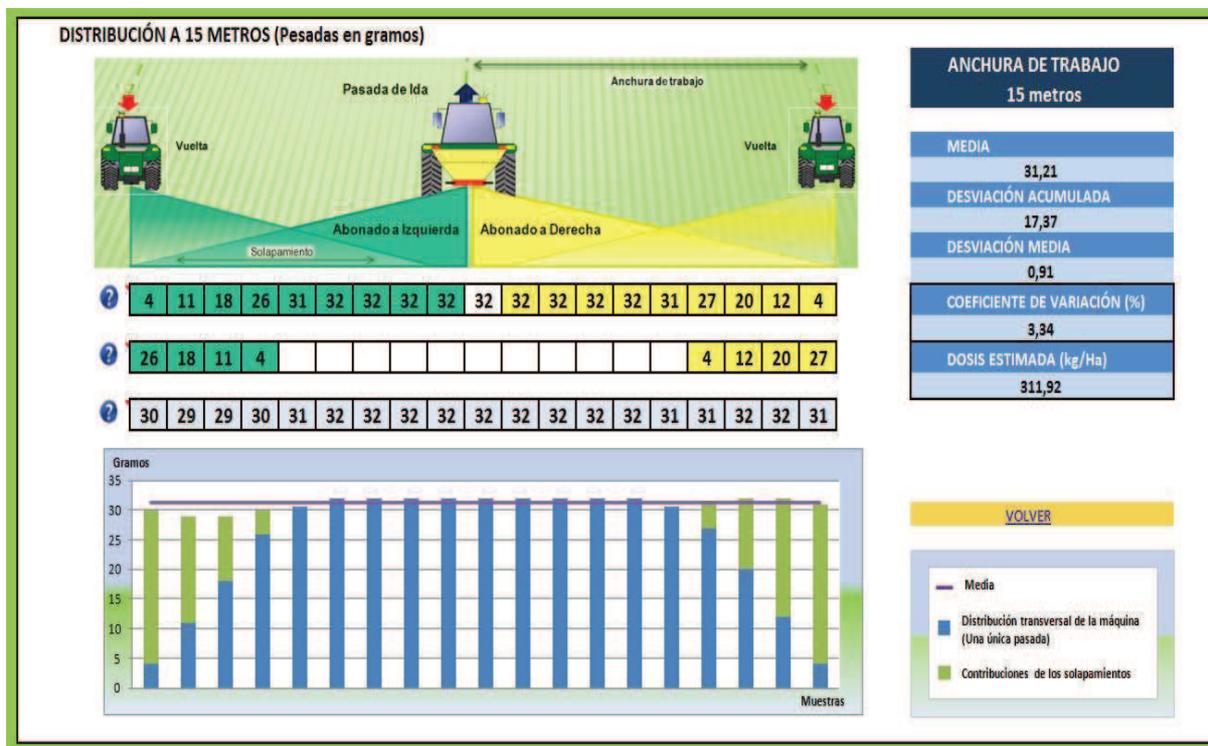


Figura A44. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

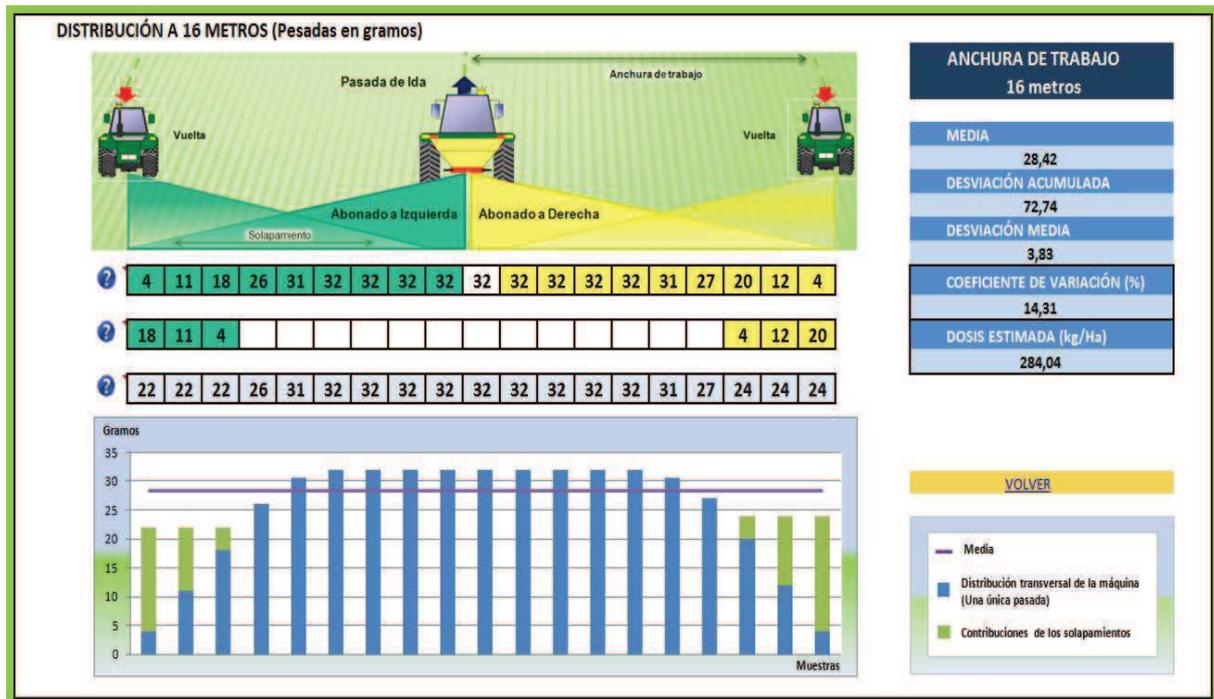


Figura A45. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

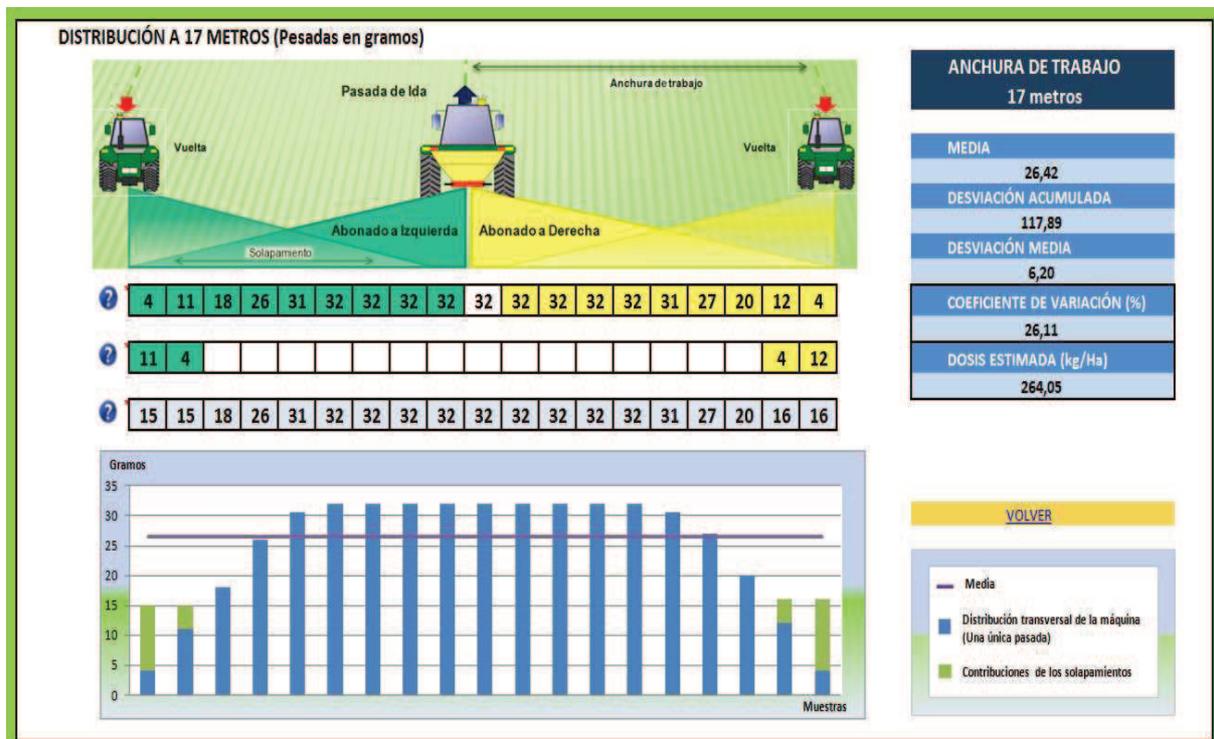


Figura A46. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

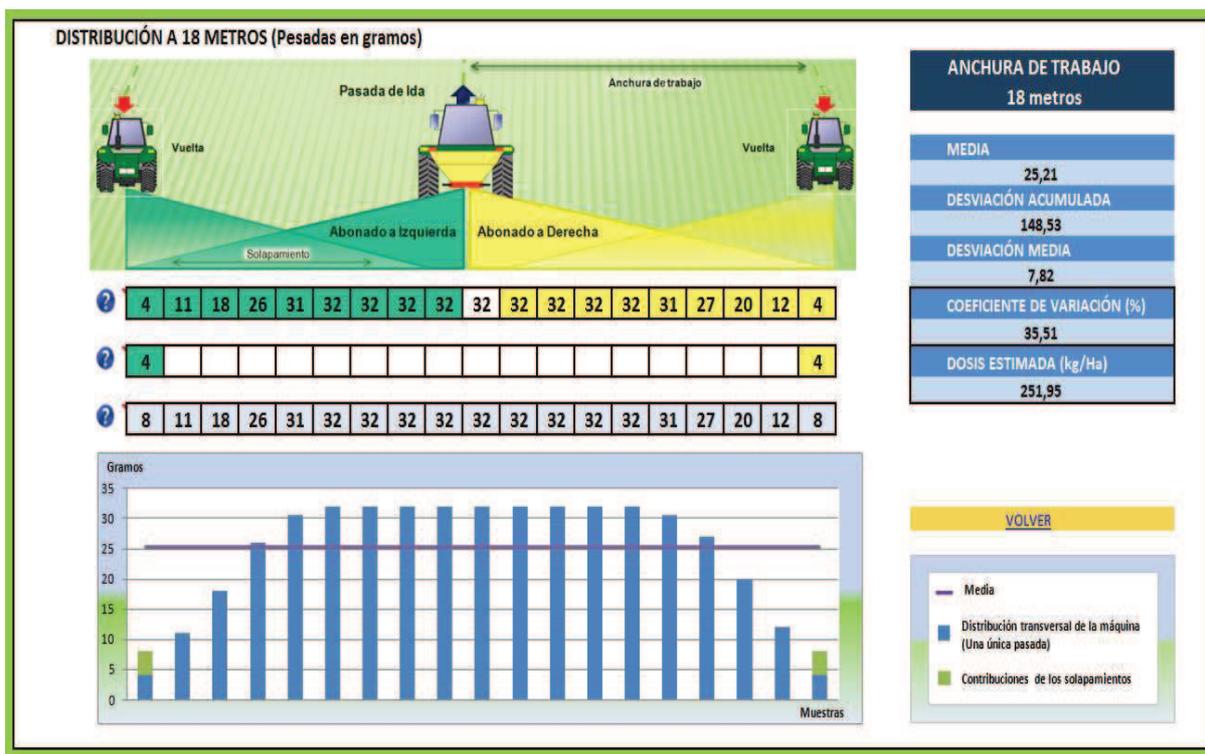


Figura A47. Diagrama de distribución transversal del perfil trapezoidal para anchuras de trabajo de 19 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

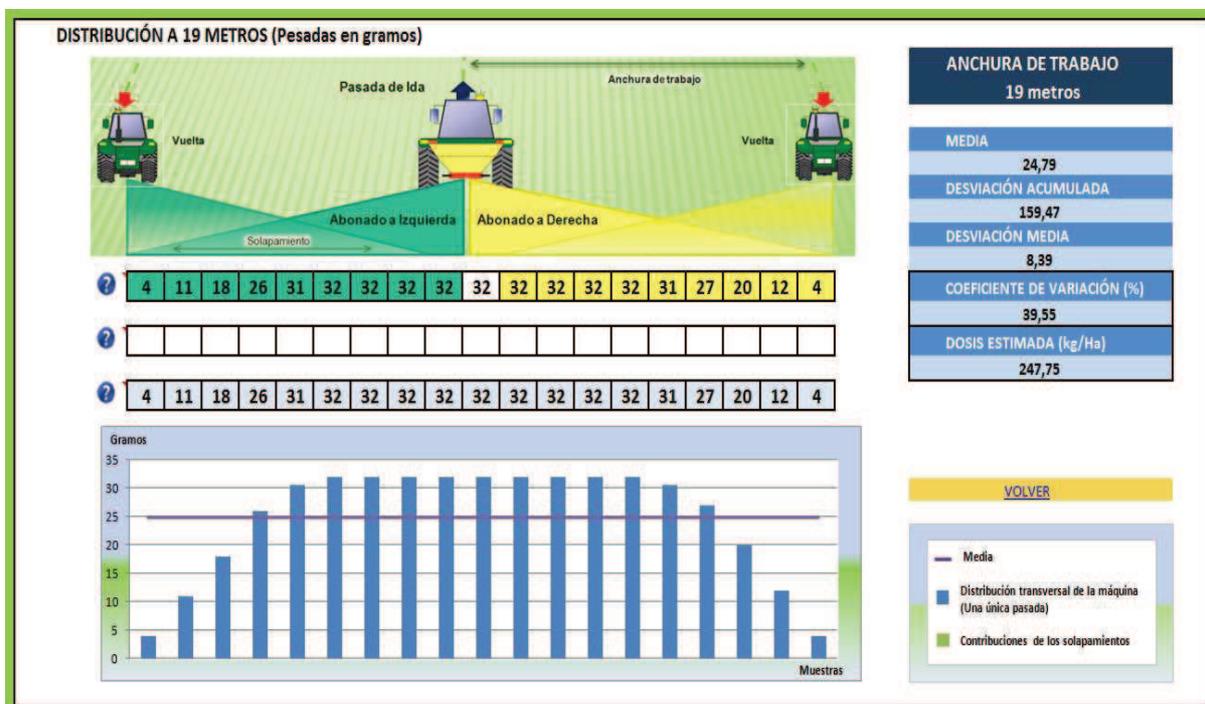


Figura A50. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 1 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

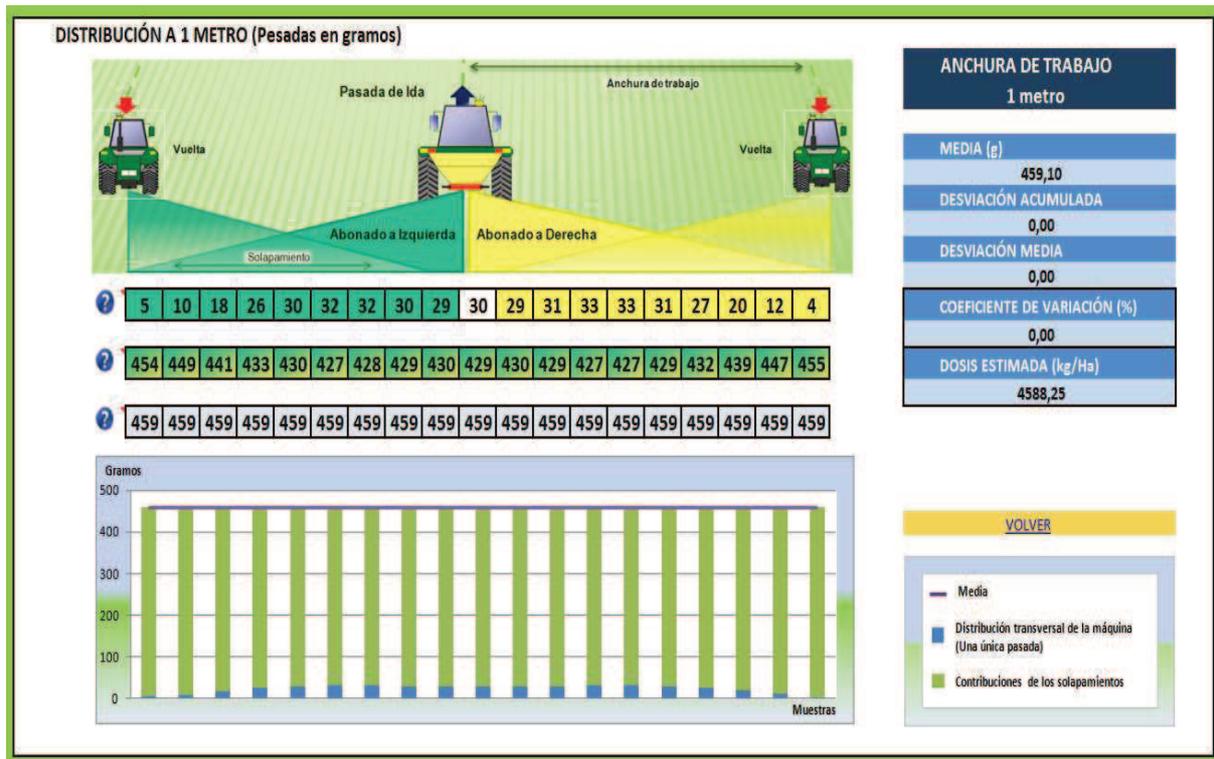


Figura A51. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 2 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

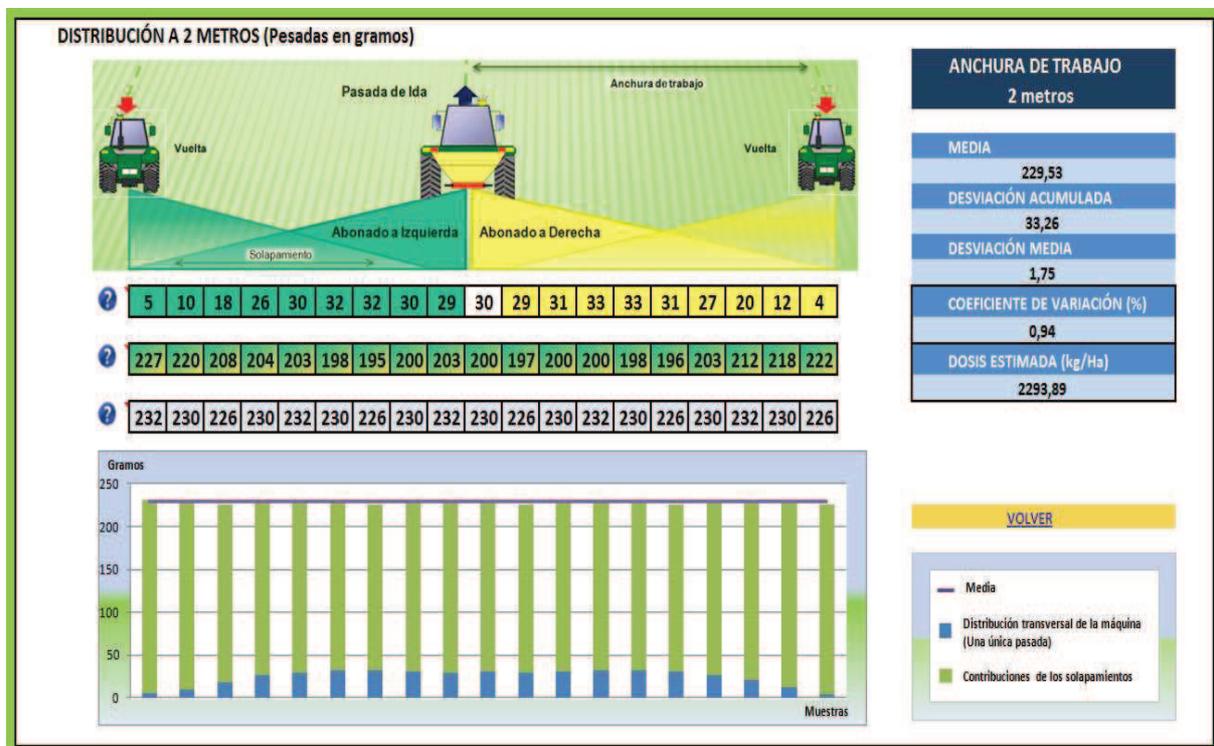


Figura A52. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 3 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

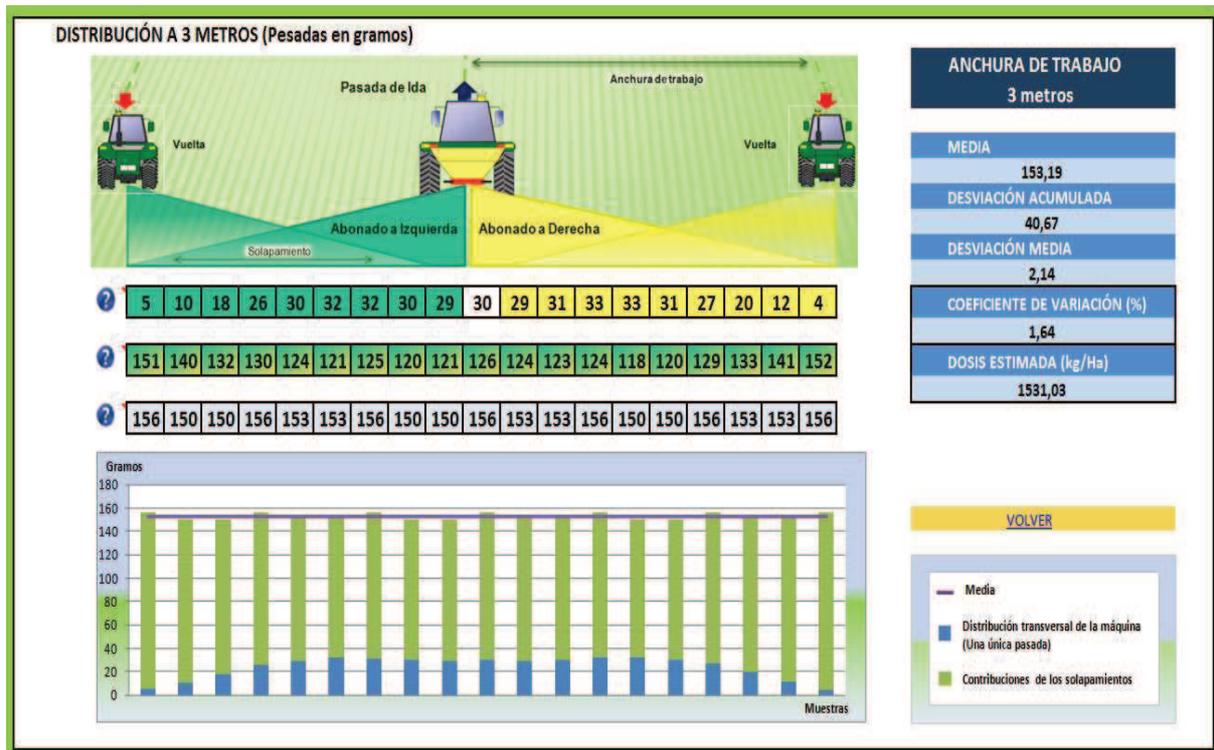


Figura A53. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 4 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

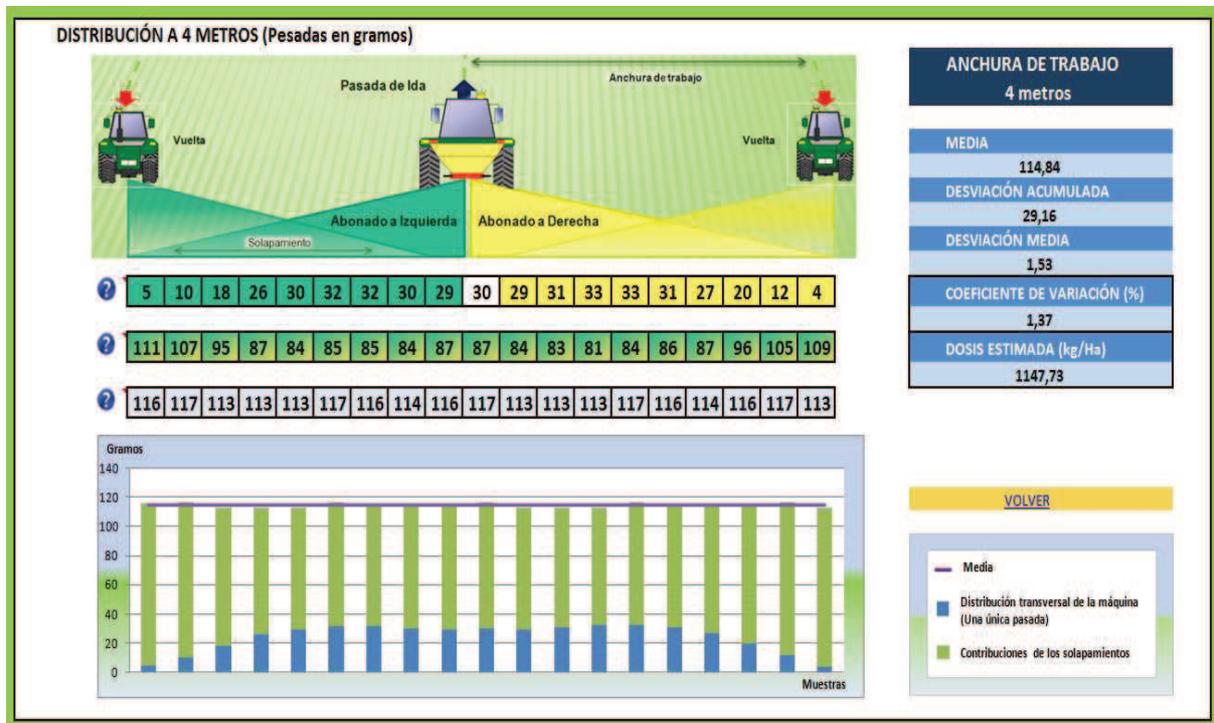


Figura A54. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 5 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

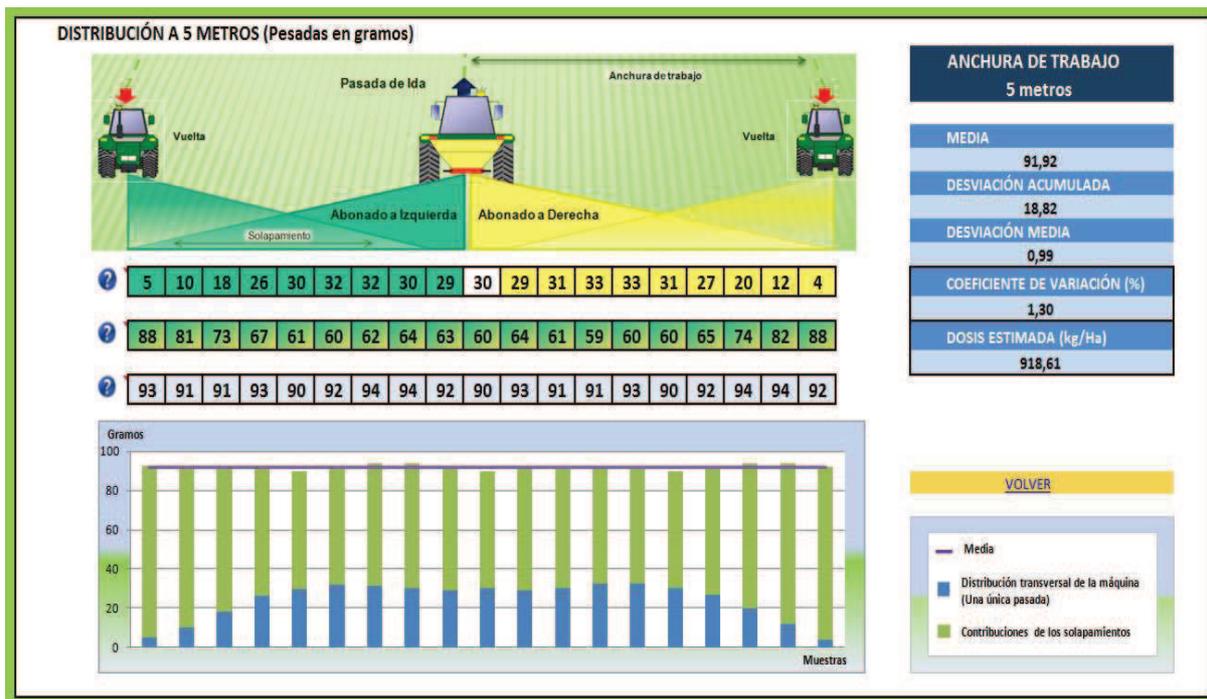


Figura A55. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 6 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

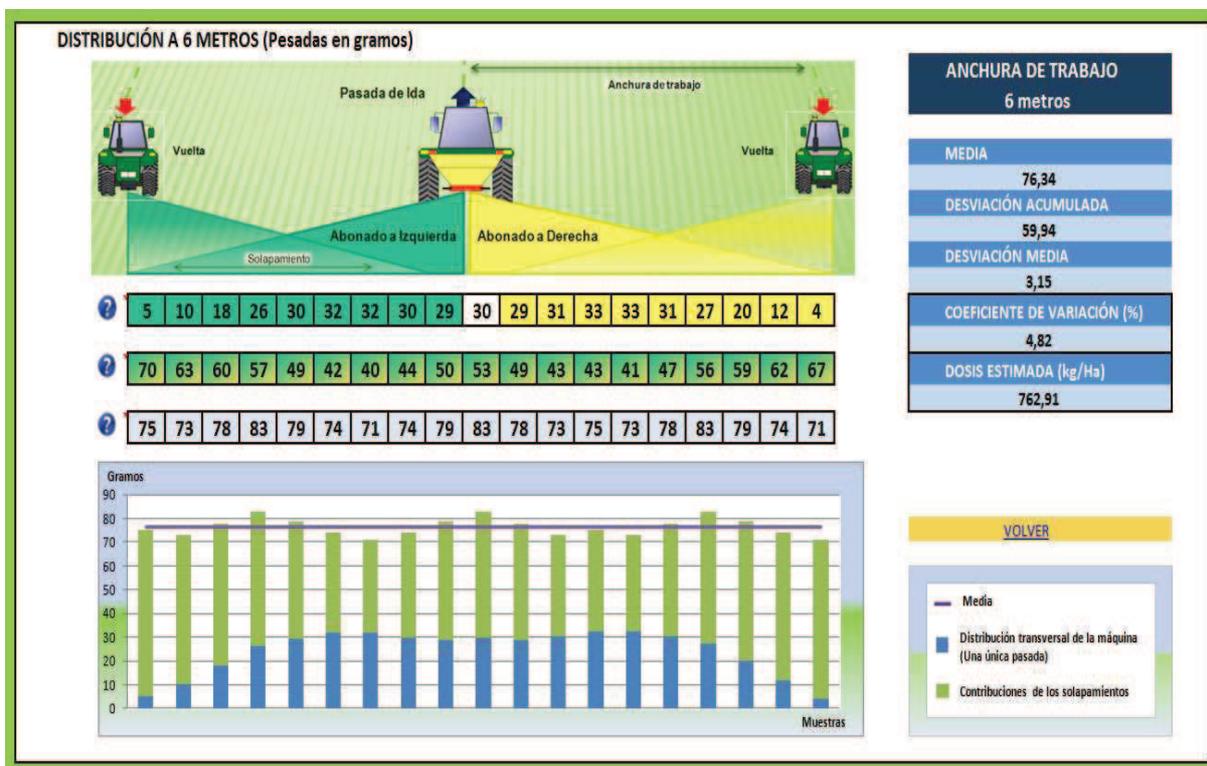


Figura A56. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 7 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

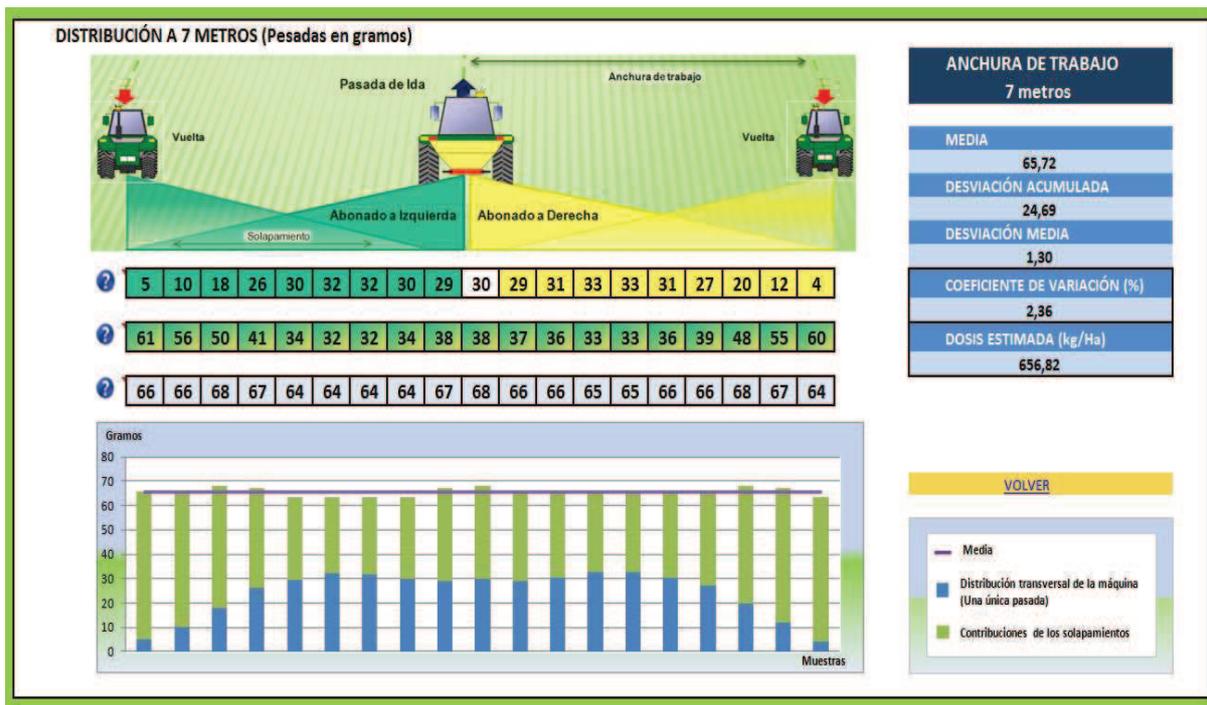


Figura A57. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 8 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

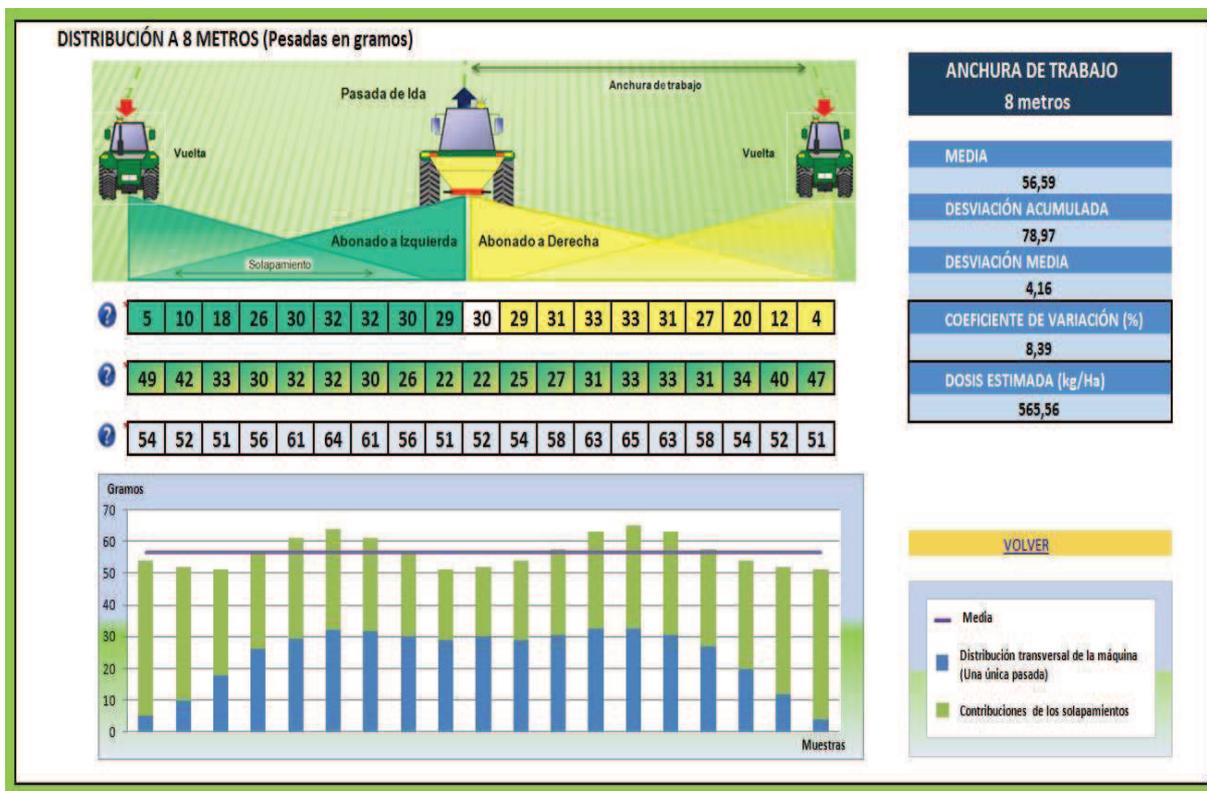


Figura A58. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 9 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

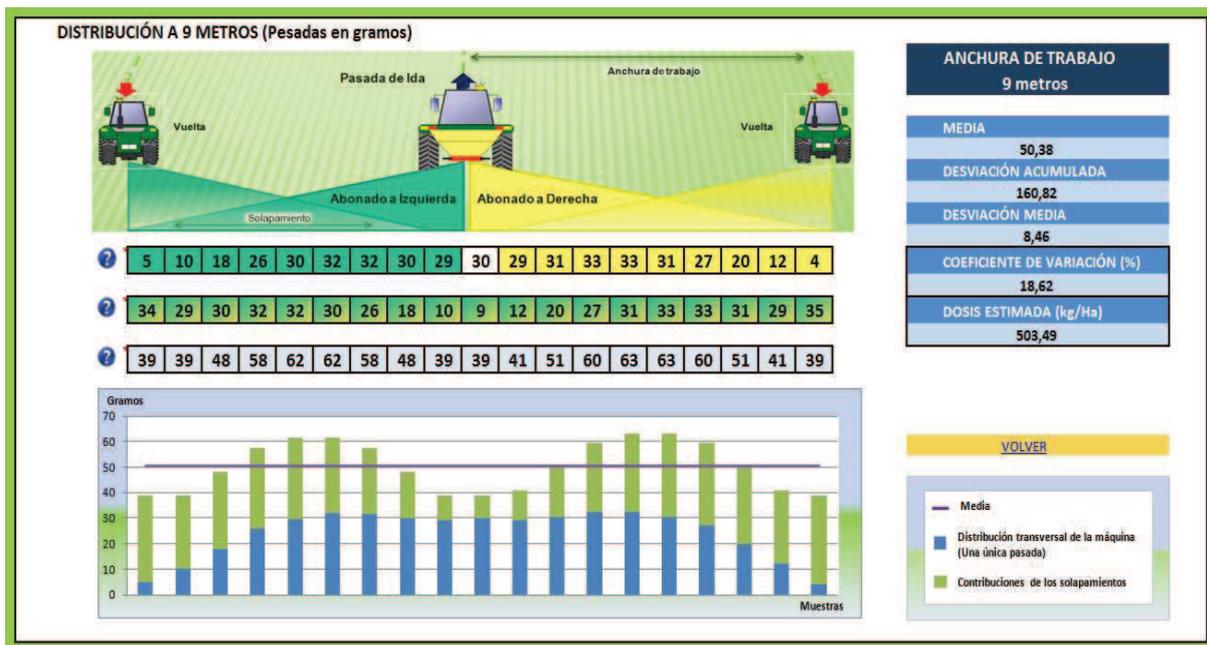


Figura A59. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 10 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

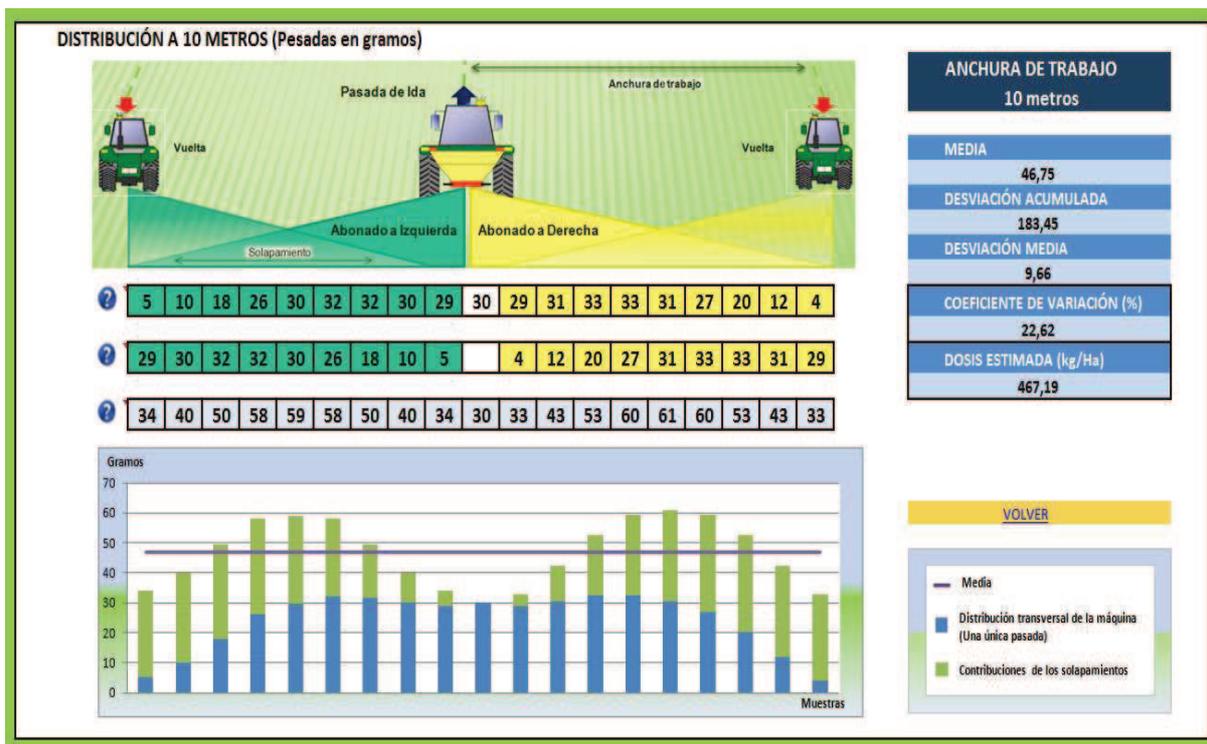


Figura A60. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 11 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

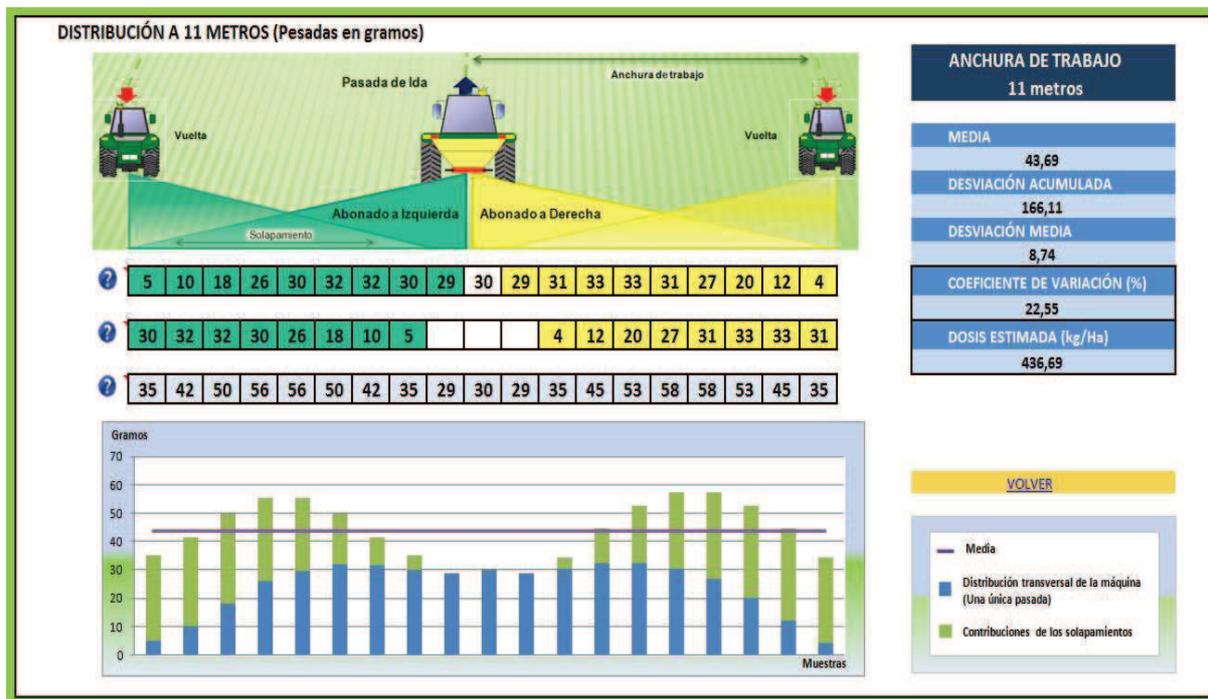


Figura A61. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 12 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

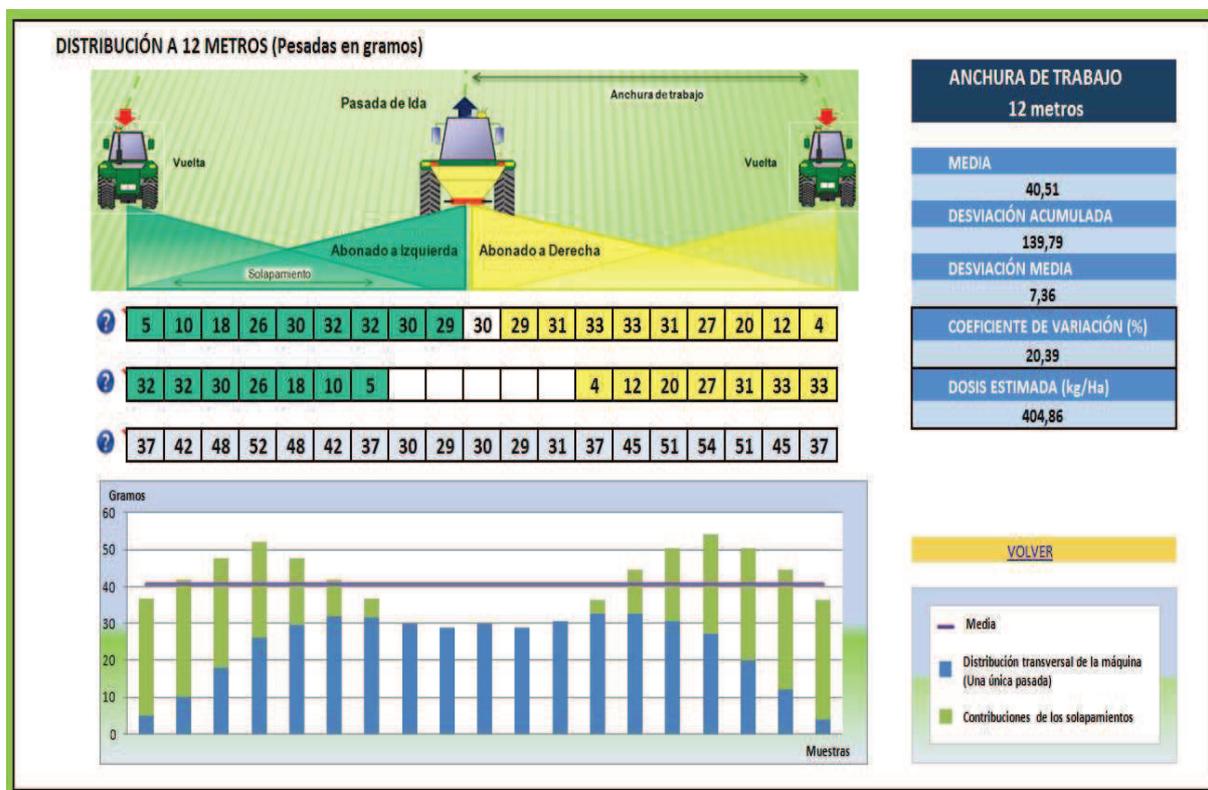


Figura A62. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 13 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

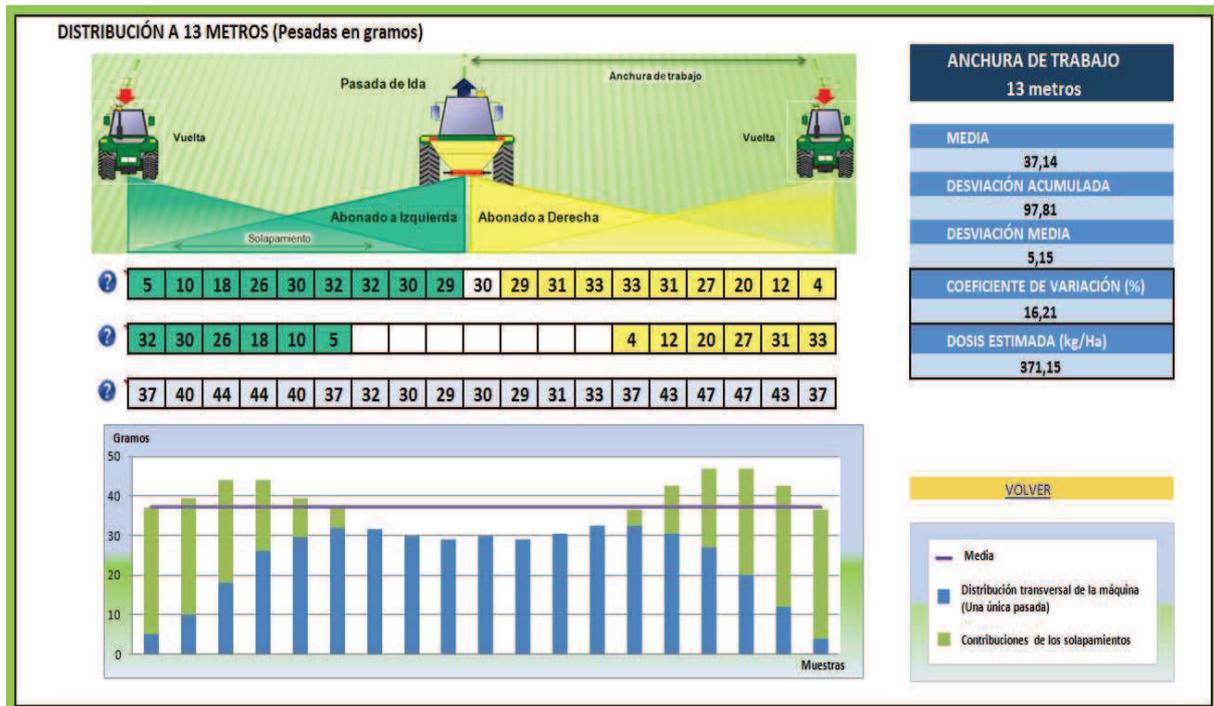


Figura A63. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 14 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

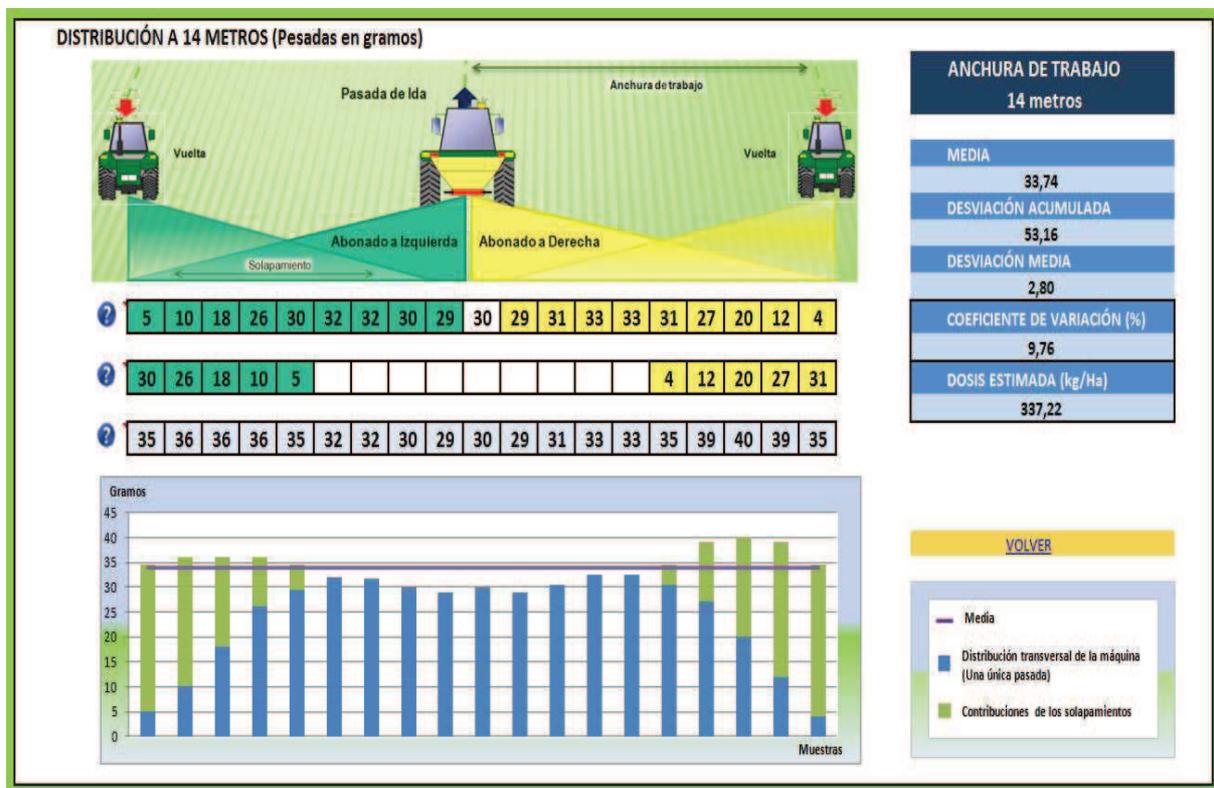


Figura A64. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 15 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

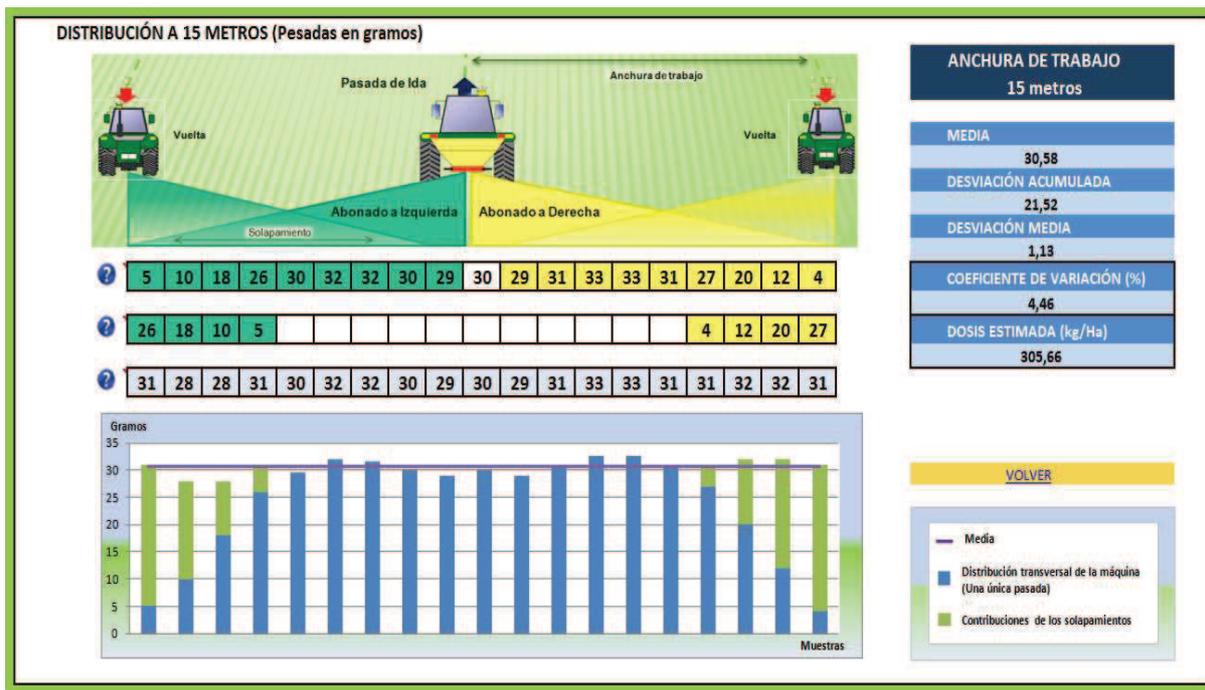


Figura A65. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 16 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

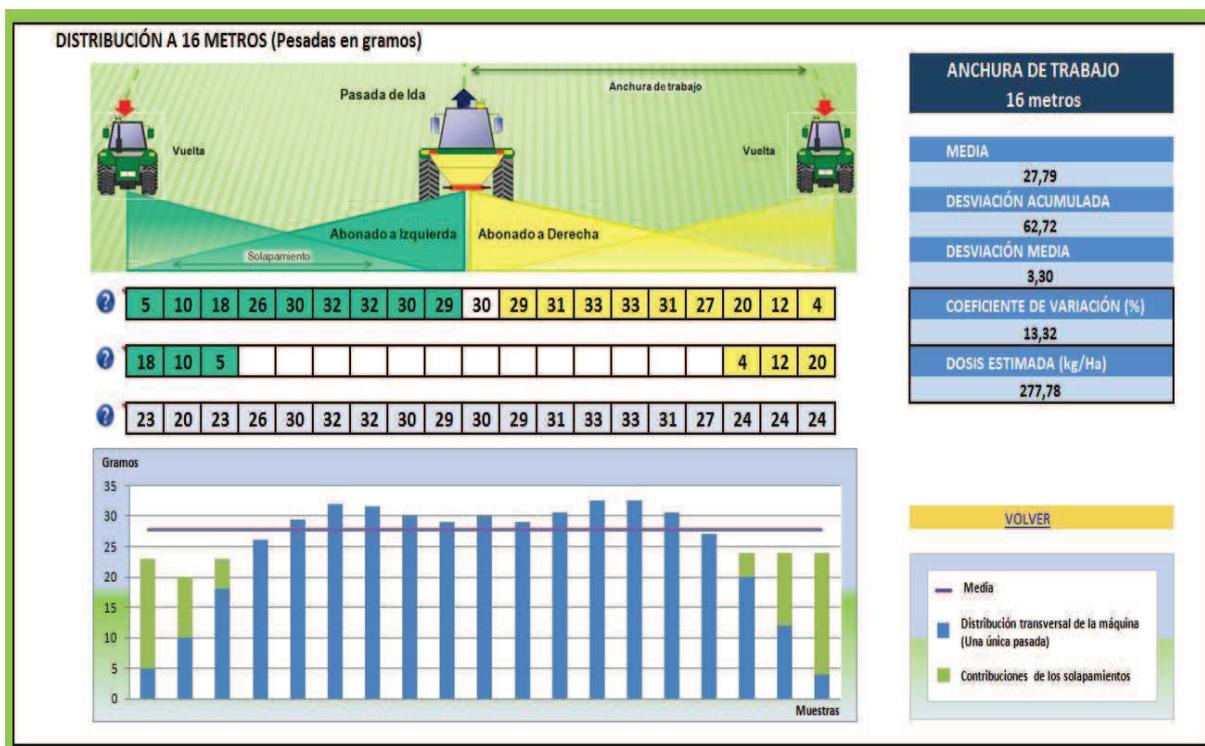


Figura A66. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 17 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

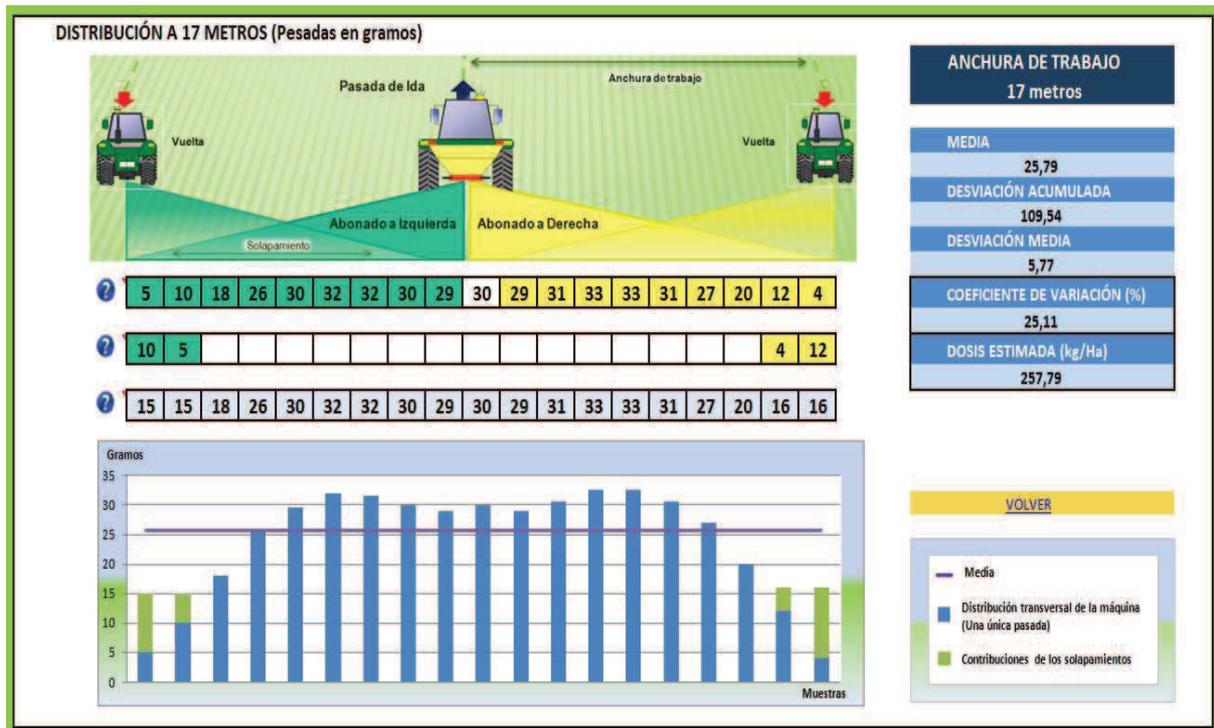


Figura A67. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 18 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.

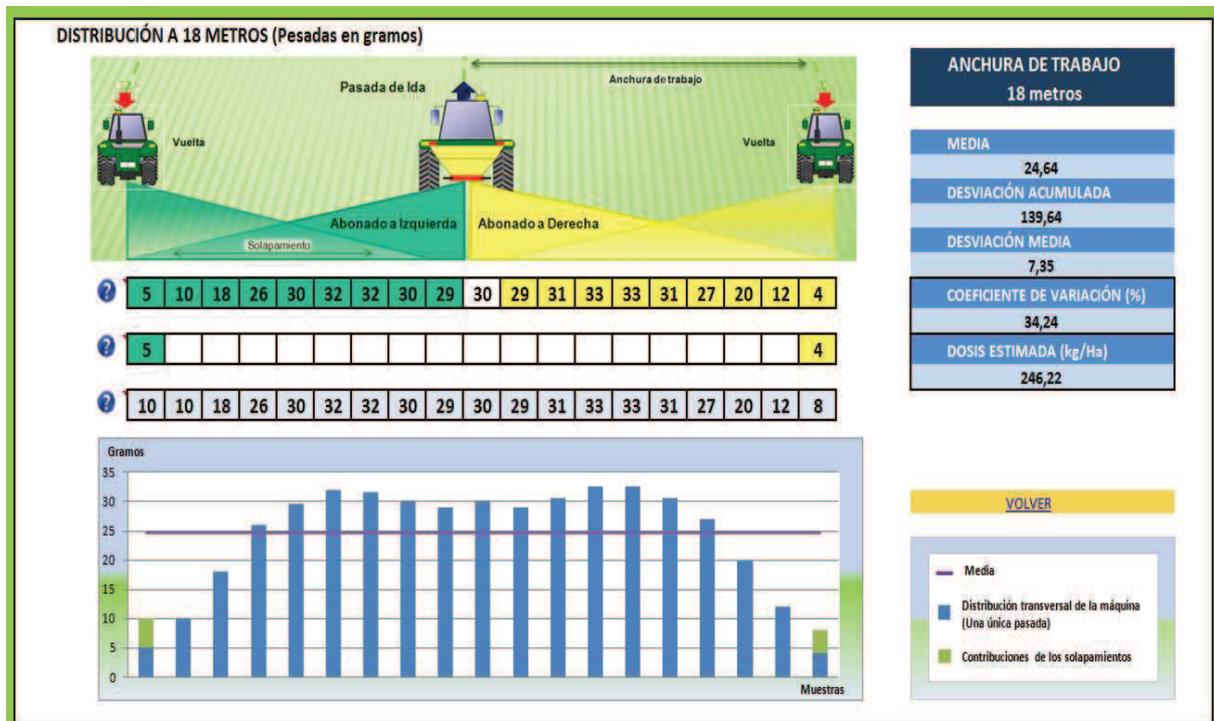
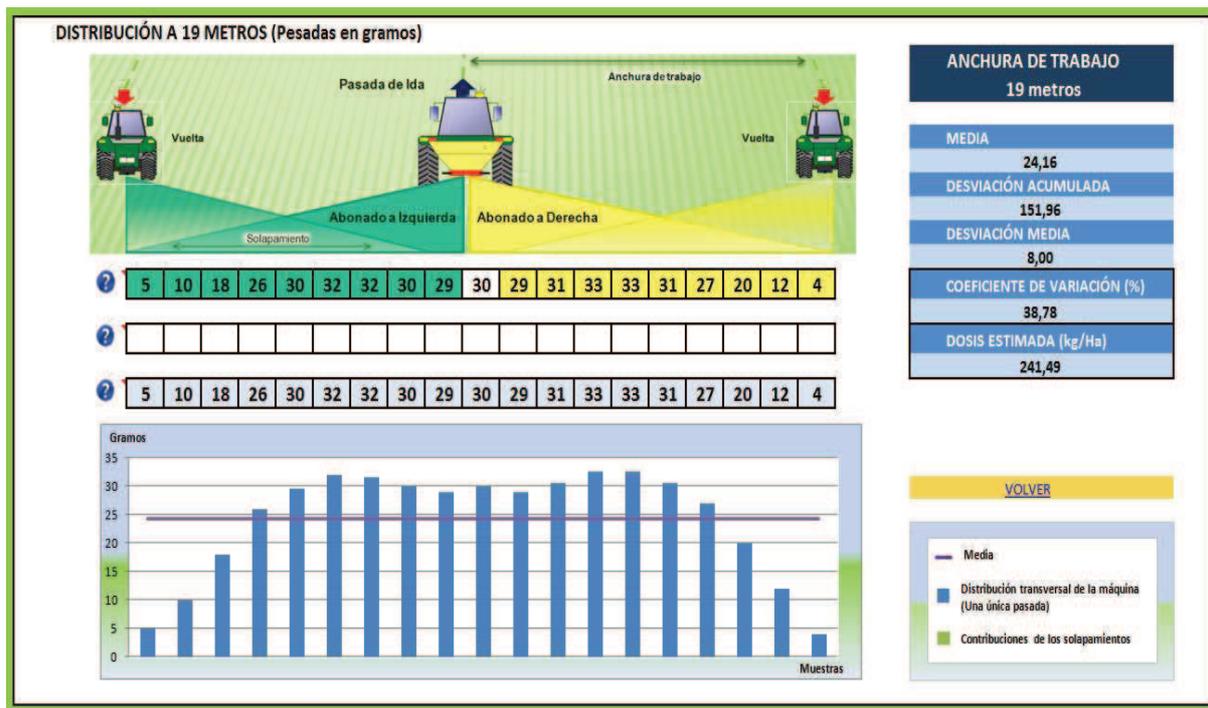


Figura A68. Diagrama de distribución transversal del perfil de doble cresta para anchuras de trabajo de 19 metros, considerando las contribuciones de abonado de los solapamientos que se dan para la anchura de trabajo propuesta.



Ejemplo 2. Cálculos de distribución en los bordes de la parcela, donde no interfieren los solapamientos.

Figura A69. Pantalla principal para introducir los datos del ensayo en el borde.

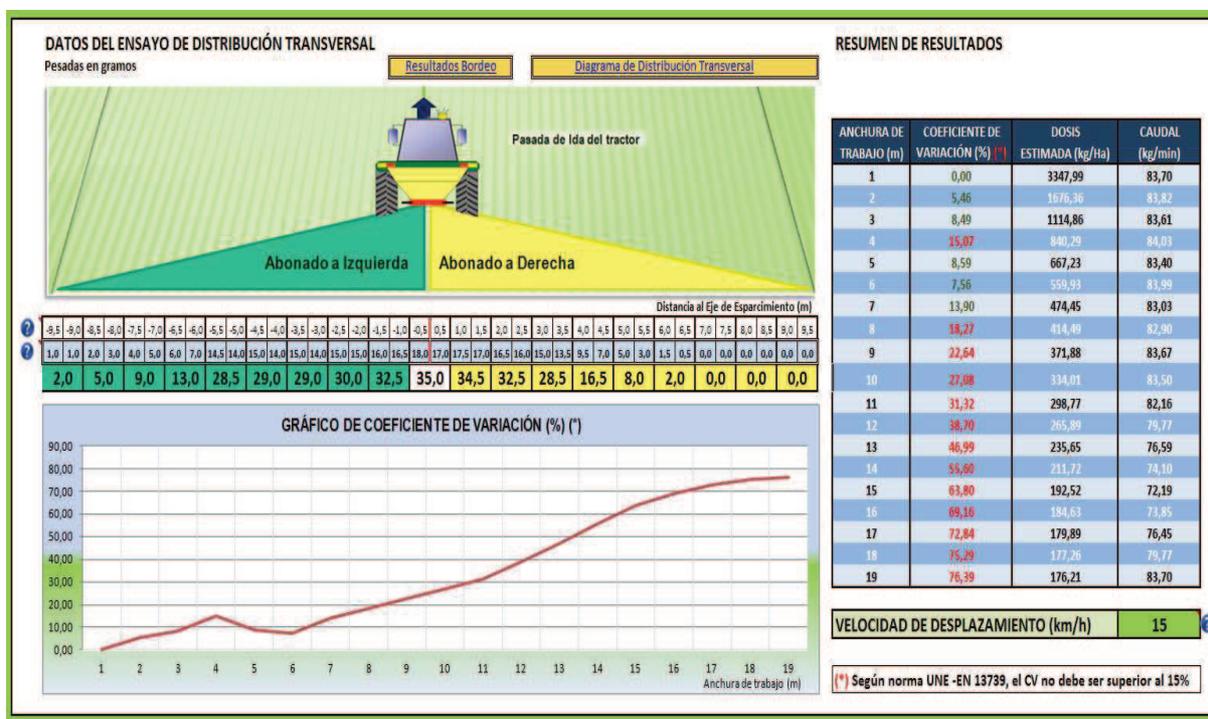


Figura A70. Diagrama de distribución transversal para el ejemplo del bordeo.

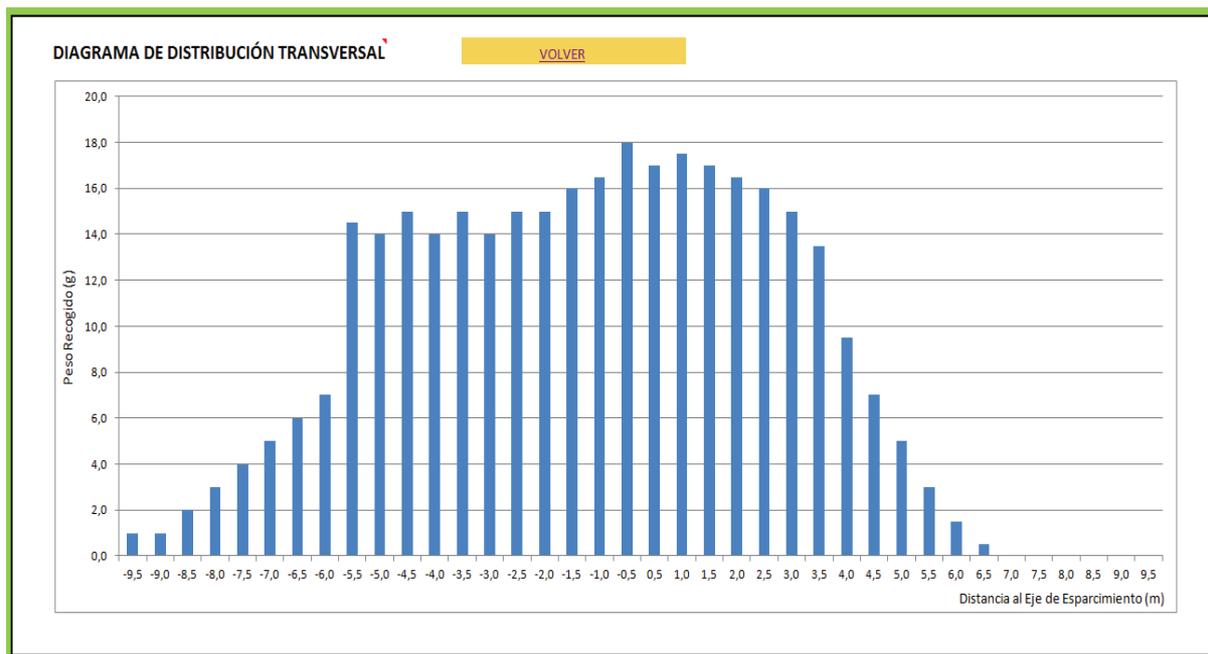


Figura A71. Pantalla de resultados del bordeo a la derecha.

