

Evaluación de siembra de precisión a campo

Densidad objetivo: Es la densidad que el productor se propone sembrar de acuerdo a alguna recomendación del productor de la semilla y al ambiente en que se va a desarrollar el cultivo. Ej: 70000 semillas/ha. No obstante ello, puede ser que la máquina sembradora no cuente con una relación de transmisión que entregue esa cantidad de semillas y el productor deba elegir la que le parezca la más adecuada entre las opciones que le brinda la sembradora, por ejemplo, la sembradora ofrece dos relaciones de transmisión que brindan 68300 semillas/ha y 71500 semillas/ha. El productor elegirá la que le parezca más apropiada, la mayor si es que tiene mejor expectativa de acuerdo al ambiente o la menor en caso contrario.

Determinación de los metros lineales de surco que hay en una hectárea: para hacer esta determinación se considera una hectárea perfecta de 100m de lado. De acuerdo al distanciamiento entre los trenes de siembra variará la cantidad de surcos que entren en 100m. Por ejemplo, si los trenes están distanciados a 0,7m en 100m entrarán $100\text{m}/0,7\text{m} = 142,8 \approx 143$ surcos; si los trenes están distanciados a 0,52m en 100m entrarán $100\text{m}/0,52\text{m} = 192,3 \approx 192$ surcos. A su vez, cada uno de estos surcos tendrá una longitud de 100m por lo que los metros lineales de surco que habrá en una hectárea serán $143 * 100\text{m} = 14300\text{m}$ (con los trenes distanciados a 0,7m) ó $192 * 100\text{m} = 19200\text{m}$ (con los trenes distanciados a 0,52m).

Densidad de referencia: Es la densidad que efectivamente brinda la sembradora y con la que el productor efectivamente cuenta. El fabricante de la sembradora brinda esta información en una Tabla. En muchos casos esa tabla está pegada en una chapa en la sembradora de manera que el operario de la máquina pueda realizar la combinación de engranajes que le permita llegar a la densidad que ha elegido. De acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior las densidades de referencia podrían ser 68300 semillas/ha y 71500 semillas/ha para esa sembradora.

En algunas situaciones no se cuenta con la tabla de densidades de referencia brindada por el fabricante y se debe determinar la misma haciendo una marca en la placa de siembra y determinando la distancia que debe recorrer la sembradora para que esta placa gire una vuelta entera. Finalmente, se relaciona el número de alvéolos de la placa con la distancia recorrida. Por ejemplo, para determinar la densidad de referencia de una sembradora de plato horizontal con placa de 56 alvéolos y con trenes a 0,7m al hacer girar una vuelta la placa se recorren 11,3m. Es decir que en 11,3m la sembradora arrojará 56 semillas, por lo tanto en 14300m lineales de surco que hay en una hectárea arrojará una cantidad de semillas proporcional que se calcula por regla de tres:

En 11,3m -----56 semillas
En 14300m----- x = $14300\text{m} * 56 \text{ semillas} / 11,8\text{m}$

Densidad de referencia = **70867 semillas / ha**

Distanciamiento de referencia: se puede calcular relacionando los metros lineales de surco de una hectárea con la densidad de referencia. En el ejemplo que se estaba evaluando la relación sería:

$$D_{\text{ref}} (\text{cm}) = \text{metros de surco en una hectárea} * 100 (\text{cm/m}) / \text{densidad de referencia}$$

$$D_{\text{ref}} (\text{cm}) = 14300\text{m/ha} * 100 \text{ cm/m} / 70867 \text{ semillas/ha}$$

$$D_{\text{ref}} (\text{cm}) = 20,2\text{cm}$$

También se puede calcular relacionando la densidad de referencia, el espaciamiento entre surcos y la superficie de una hectárea.

$$D_{\text{ref}} (\text{cm}) = 10000 * 100 (\text{cm/m}) / e . \delta$$

D = distanciamiento entre semillas (m/semilla)

e = distancia entre hileras de cultivo (m)

δ = densidad de referencia (semillas/ha)

$$10000 = \text{constante (m}^2 / \text{ha)}$$

Ejemplo: 70867 semillas por ha de maíz a 0,7m entre hileras

$$D = (10000 \text{ m}^2/\text{ha} * 100\text{cm/m}) / (0,7\text{m} * 70867 \text{ semillas/ha})$$

$$D = 20,2 \text{ cm/semilla}$$

Número de semillas por metro lineal de surco: es el número de semillas que se deberían encontrar en un metro lineal de acuerdo a la densidad de referencia.

$$N = e . \delta / 10000$$

N = Número de semillas por metro lineal

e = distancia entre hileras de cultivo (m)

δ = densidad de referencia (semillas/ha)

$$10000 = \text{constante (m}^2 / \text{ha)}$$

Ejemplo: 70867 semillas por ha de maíz a 0,7m entre hileras

$$N = 0,7\text{m} * 70867 \text{ semillas/ha} / 10000 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$D = 4,96 \text{ semillas/m} \approx 5 \text{ semillas/m}$$

Distancia mayor en un 50% a la de referencia: Es el límite que se considera para diferenciar una semilla bien sembrada de una falla. Se calcula multiplicando la distancia de referencia por 1,5.

$$\text{Dist. +50\%} = D_{\text{ref}} * 1,5 = 30,3\text{cm}$$

Cuando los distanciamientos entre semillas superan los 30,3cm se considera falla. Si la distancia entre dos semillas supera 2,5 veces la distancia de referencia se considera falla doble, si la supera en 3,5 veces es una falla triple.

Distancia menor en un 50% a la de referencia: Es el límite que se considera para diferenciar una semilla bien sembrada de una duplicación. Se calcula multiplicando la distancia de referencia por 0,5.

$$\text{Dist. -50\%} = D_{\text{ref}} * 0,5 = 10,1\text{cm}$$

Cuando los distanciamientos entre semillas están por debajo de 10,1cm se considera duplicación.

Eventos distanciados correctamente (semillas bien sembradas): son las separaciones que se encuentran entre 0,5 y 1,5 veces la distancia de referencia. En nuestro ejemplo serían las semillas que se encuentran separadas entre 10,1 y 30,3cm.

$$0,5 D_{\text{ref}} \leq \text{Separación correcta} \leq 1,5 D_{\text{ref}}$$

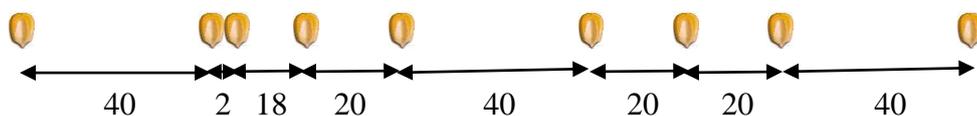
$$0,5 * 20,2\text{cm} \leq \text{Separación correcta} \leq 1,5 * 20,2\text{cm}$$

$$10,1\text{cm} \leq \text{Separación correcta} \leq 30,3\text{cm}$$

Número de fallas: Es el número de eventos (distanciamientos registrados) que superan en 1,5 veces la distancia de referencia.

Número de duplicaciones: Es el número de eventos (distanciamientos registrados) que están por debajo de 0,5 veces la distancia de referencia.

Eventos totales: Es el número de eventos (distanciamientos) registrados en una determinación

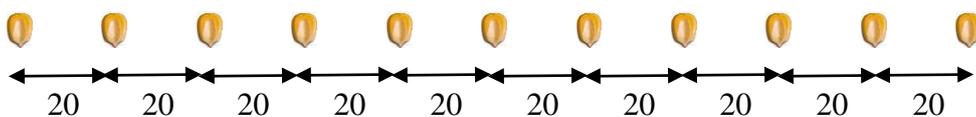


En la imagen se observan 8 eventos (distanciamientos). Hay un espaciado muy chico (duplicación) y 3 espaciados excesivos (fallas)

Eventos corregidos: Es el número de distanciamientos que deberíamos haber contabilizado si no hubiesen existido fallas ni duplicaciones. Se calcula sumándole a los eventos totales el número de fallas y restándole el número de duplicaciones.

$$\text{Eventos corregidos: } \text{Eventos totales} + \text{fallas} + \text{fallas dobles} * 2 - \text{duplicaciones}$$

En el ejemplo anterior se calcularía como 8 eventos +3 fallas – 1 duplicación = 10 eventos. En la imagen de abajo se observa como se hubiesen encontrado las semillas si no hubiesen existido fallas ni duplicaciones.



% de fallas: Es el número de fallas dividido el número de eventos corregidos expresado en porcentaje

En el ejemplo de la imagen superior se observaron 3 fallas y el número de eventos corregidos era de 10 por lo que el porcentaje de fallas es del 30%. Si se hubiese tomado como denominador el número de eventos sin corregir (8) el porcentaje erróneamente calculado sería $3/8 = 37,5\%$.

% de duplicaciones: Es el número de duplicaciones dividido el número de eventos corregidos expresado en porcentaje.

En el ejemplo de la imagen superior se observó una duplicación y el número de eventos corregidos fue de 10 por lo que el porcentaje de duplicaciones es del 10%. Si se hubiese tomado como denominador el número de eventos sin corregir (8) el porcentaje erróneamente calculado sería $1/8 = 12,5\%$.

Densidad real: Se calcula a partir del número de semillas encontradas al descubrir un número determinado de metros lineales de surco y llevar ese valor a semillas por hectárea. Cuando se evalúa la distribución de siembra con trenes separados a 0,7m suelen evaluarse 14,3m lineales de surco de manera de posteriormente facilitar el cálculo de semillas por hectárea al multiplicar el valor de semillas encontradas por mil. Por ejemplo si se contabilizan 65 semillas en 14,3m de surco la densidad real será de 65000 semillas/ha.

Densidad corregida: Es la densidad con la que se está sembrando efectivamente en el momento. Se calcula con el número de eventos corregidos y los metros lineales evaluados. Por ejemplo si en 14,3m se contabilizaron 65 semillas, 7 fallas y 3 duplicaciones el número de eventos corregidos será $65+7-3 = 69$ semillas en 14,3m. Por lo que en 14300m habría 69000 semillas.

La densidad corregida se compara con la densidad de referencia y la densidad corregida no debería diferir en +/- 5% de la de referencia.

En el ejemplo que se veía, donde la densidad de referencia era de 70867 semillas por hectárea los límites serán

$$\begin{aligned} \text{Límite inferior} &= D_{\text{ref}} * 0,95 = 70867 * 0,95 = 67323 \text{ semillas/ha} \\ \text{Límite superior} &= D_{\text{ref}} * 1,05 = 70867 * 1,05 = 74410 \text{ semillas/ha} \end{aligned}$$

Por lo tanto la densidad corregida (de 69000 semillas/ha) se encuentra dentro de los límites aceptables.

Grado de precisión

Se evalúa de dos maneras: a) a partir del desvío estándar del distanciamiento de las semillas bien sembradas (eventos distanciados correctamente). Cuanto menor es el desvío mayor es la precisión alcanzada y b) considerando el % de eventos (de las semillas bien sembradas) que caen dentro del segmento +/- 25% de la distancia de referencia. Se considera aceptable cuando al menos el 70% de las semillas correctamente sembradas se encuentran en un +/-25% de la distancia de referencia.

Dist. +25%: Es igual a un 1,25 de la distancia de referencia. Es el límite superior de los eventos que se consideran aceptablemente distanciados. En el ejemplo visto el valor sería de $1,25 * 20,2\text{cm} = 25,25\text{cm}$.

Dist. -25%: Es igual a un 0,75 de la distancia de referencia. Es el límite inferior de los eventos que se consideran aceptablemente distanciados. En el ejemplo visto el valor sería de $0,75 * 20,2\text{cm} = 15,15\text{cm}$.

Población dentro de la tolerancia: Es el porcentaje de eventos de las semillas bien sembradas (que ocupan el rango $0,5D_{\text{ref}} < X < 1,5D_{\text{ref}}$) que se encuentran dentro del rango $0,75 D_{\text{ref}} < X < 1,25 D_{\text{ref}}$. La expresión de cálculo sería:

$$\text{Población dentro de la tolerancia} = \frac{\text{eventos entre } 0,75 D_{\text{ref}} < X < 1,25 D_{\text{ref}}}{\text{eventos entre } 0,5 D_{\text{ref}} < X < 1,5 D_{\text{ref}}} * 100$$

Ejemplo práctico

Se evaluó una siembra de maíz a 0,7m entre hileras determinando los distanciamientos entre semillas en 14,3m de surco. La densidad de referencia seleccionada en la sembradora fue de 70000 semillas/ha.

Los 63 eventos registrados fueron los siguientes

Evento	Distancia (cm)	Evento	Distancia (cm)
1	22	33	22
2	20	34	19
3	18	35	23
4	18	36	13
5	22	37	20
6	23	38	17
7	35	39	20
8	20	40	22
9	16	41	23
10	24	42	20
11	16	43	61
12	21	44	37
13	24	45	38
14	53	46	21
15	12	47	16
16	36	48	20
17	18	49	18
18	14	50	23
19	22	51	38
20	22	52	18
21	20	53	21
22	14	54	20
23	14	55	17
24	23	56	23
25	19	57	4
26	20	58	14
27	20	59	17
28	17	60	16
29	21	61	22
30	21	62	40
31	18	63	13
32	57		

Cálculo del distanciamiento de referencia:

$$D_{\text{ref}} = (14300\text{m/ha} * 100\text{cm/m}) / 70000 \text{ semillas/ha}$$

$$D_{\text{ref}} = 20,4\text{cm}$$

Distancia mayor en un 50% a la de referencia: Los distanciamientos mayores a este valor serán fallas

$$\text{Dist. +50\%} = D_{\text{ref}} * 1,5 = 30,6\text{cm}$$

Hay 9 distanciamientos mayores a este valor. Son los eventos 7, 14, 16, 32, 43, 44, 45, 51 y 62.

Obsérvese que los eventos 14, 32 y 43 corresponden a fallas dobles ya que estos eventos caen en el intervalo $+2,5 / +3,5$ de la distancia de referencia: (51,0cm – 71,4cm)

Distancia menor en un 50% a la de referencia: Los distanciamientos menores a este valor serán duplicaciones

$$\text{Dist. } -50\% = D_{\text{ref}} * 0,5 = 10,2\text{cm}$$

Hay un único valor por debajo que es el evento 57

Eventos distanciados correctamente (semillas bien sembradas): son las separaciones que se encuentran entre 0,5 y 1,5 veces la distancia de referencia.

$$0,5 D_{\text{ref}} \leq \text{Separación correcta} \leq 1,5 D_{\text{ref}}$$

$$0,5 * 20,2\text{cm} \leq \text{Separación correcta} \leq 1,5 * 20,2\text{cm}$$

$$10,2\text{cm} \leq \text{Separación correcta} \leq 30,6\text{cm}$$

Corresponde a todos los eventos salvo los correspondientes con duplicaciones, fallas y fallas dobles. Totalizan 53 eventos.

Número de fallas: Hay 6 fallas simples y 3 fallas dobles.

Número de duplicaciones: Hay una duplicación.

Eventos totales: 63

Eventos corregidos: Es el número de distanciamientos que deberíamos haber contabilizado si no hubiesen existido fallas ni duplicaciones. Se calcula sumándole a los eventos totales el número de fallas y restándole el número de duplicaciones.

Eventos corregidos: Eventos totales + fallas + fallas dobles * 2 – duplicaciones

$$\text{Eventos corregidos: } 63 + 6 + 3 * 2 - 1$$

$$\text{Eventos corregidos: } 74$$

% de fallas: fallas + fallas dobles * 2 * 100 / eventos corregidos

$$\% \text{ de fallas} = 6 + 3 * 2 / 74 = 12 / 74$$

$$\% \text{ fallas} = 16\%$$

% de duplicaciones: duplicaciones * 100 / eventos corregidos

$$\% \text{ de duplicaciones} = 1 / 74 = 1\%$$

Densidad real: En los 14,3m se contabilizaron 63 eventos por lo tanto la densidad real es de 63000 semillas/ha.

Densidad corregida: La cantidad de eventos corregidos es de 74 por lo tanto la densidad corregida es de 74000 semillas/ha.

La densidad corregida se compara con la densidad de referencia y la densidad corregida no debería diferir en +/- 5% de la de referencia.

En este caso, donde la densidad de referencia es de 70000 semillas por hectárea los límites serán

$$\text{Límite inferior} = D_{\text{ref}} * 0,95 = 70000 * 0,95 = 66500 \text{ semillas/ha}$$

$$\text{Límite superior} = D_{\text{ref}} * 1,05 = 70000 * 1,05 = 73500 \text{ semillas/ha}$$

Por lo tanto la densidad corregida (de 74000 semillas/ha) se encuentra un poco por encima del límite superior aceptado.

Población dentro de tolerancia: Es el número de eventos bien sembrados (que se encuentran entre 0,5 y 1,5 veces el distanciamiento de referencia)

Grado de precisión

Dist. +25%: En nuestro caso el valor es de $1,25 * 20,4\text{cm} = 25,5\text{cm}$.

Dist. -25%: En nuestro caso el valor sería de $0,75 * 20,4\text{cm} = 15,3\text{cm}$.

Población dentro de la tolerancia: Los eventos entre 15,3 y 25,5cm totalizan 46. Sólo 7 de los 53 eventos correctamente sembrados (entre 0,5 y 1,5 de la distancia de referencia) se encuentran por fuera del rango 0,75 y 1,25 de la distancia de referencia.

$$\text{Población dentro de la tolerancia} = \frac{\text{eventos entre } 0,75 D_{\text{ref}} < X < 1,25 D_{\text{ref}}}{\text{eventos entre } 0,5 D_{\text{ref}} < X < 1,5 D_{\text{ref}}} * 100$$

$$\text{Población dentro de la tolerancia} = 46 * 100 / 53 = 87\%$$

Es un valor mayor al 70% propuesto por Maroni como límite inferior de referencia.

Histograma de los datos: La representación gráfica de los eventos registrados es la siguiente

