

Desuniformidad del cultivo de cebolla: Efecto sobre la producción individual y el rendimiento

Juan Pablo D'Amico; Carolina Bellacomo; Verónica Caracotche; Luciano Orden

Informe Técnico de la EEA H. Ascasubi N° 42



Informe técnico. Estación Experimental Agropecuaria
Hilario Ascasubi

ISSN 0328-3399

Nº 42

Desuniformidad del cultivo de cebolla:
Efecto sobre la producción individual y el
rendimiento

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Estación Experimental Hilario Ascasubi

Ruta Nac. Nº 3 Km 794

(8142) Hilario Ascasubi.

Buenos Aires. Argentina

Julio 2015

<http://inta.gob.ar/ascasubi>

1. Introducción

En la zona del Valle Bonaerense del Río Colorado, la práctica generalmente adoptada para la implantación del cultivo de cebolla es la siembra a chorrillo en el lugar definitivo, sin que se realice la etapa de almácigo y trasplante.

Consecuentemente, la calidad de siembra y las condiciones que determinen la implantación, resultan críticas para el desarrollo del cultivo y su rendimiento.

Según Maroni y Gargicevich (1998) una adecuada labor de siembra se define como aquella en la cual la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas es uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población.

La variabilidad en la ubicación de la semilla puede estar dada por la falta de entrega, la entrega múltiple, la caída fuera del surco, el desplazamiento dentro del surco por rodado o el movimiento cuando son cubiertas con suelo (Panning *et al.* 2000). Al analizar un cultivo resulta evidente que la densidad poblacional estará condicionada por la relación entre las entregas múltiples y las fallas que se registren. Una mayor proporción de una u otra determinará un incremento o una disminución de la densidad del cultivo respectivamente.

La influencia de la irregularidad de los stands de plantas en el rendimiento de los cultivos ha sido evaluada en diversas especies como maíz (Nafziger 2006, Liu *et al.* 2004), girasol (Tesouro *et al.* 2009) y remolacha azucarera (Griepentrog 1998) entre otros. En la producción de cebolla no ha sido posible recabar información al respecto. Sin embargo está suficientemente documentada la relación entre la densidad poblacional, el tamaño de los bulbos producidos y el rendimiento del cultivo (Rumpel y Felczynski 2000; Visser y van der Berg 1998 y Hatridge-Esh y Bennett 1980). Existe consenso entre los investigadores que el aumento de la densidad poblacional se asocia con el incremento del rendimiento del cultivo y la disminución de la producción individual.

A diferencia de lo que ocurre en cultivos de grano, existe un umbral de tamaño por debajo del cual el bulbo no tiene valor comercial. En este mismo sentido, el principal mercado de exportación (Brasil) tiene preferencia por un tamaño intermedio de bulbo. Consecuentemente a la relación entre densidad y rendimiento comúnmente estudiada en otros cultivos se le incorpora un factor determinante que es la producción individual de cada planta cuantificada comúnmente por el diámetro del bulbo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de la irregularidad espacial y fenológica del stand de plantas sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo de cebolla.

2. Materiales y métodos

2.1. Procedimiento Experimental

La experiencia se realizó en un lote de 1,3 ha de la EEA H. Ascasubi. La siembra se realizó el 11 de Septiembre con una sembradora hortícola de 12 líneas separadas a 0,12 m equipada con dosificadores mecánicos de rodillo acanalado helicoidal.

La semilla empleada fue de la variedad *Grano de Oro* en una dosis de 6,4 kg/ha y la profundidad de siembra fue de 1,2 cm. En la misma labor de siembra se aplicó fertilizante Fosfato-diamónico en una dosis de 150 kg/ha incorporado en la entrelínea de siembra a 4 cm de profundidad. También se distribuyó una dosis de 10,6 kg/ha de insecticida Clorpirifos 50% EC en la misma línea de siembra. La labor se realizó a una velocidad de 2,8 km/h.

El cultivo fue conducido de acuerdo a las prácticas usuales de una producción comercial. Se realizó control químico de malezas y aplicación de fitosanitarios. Se realizó el aporte de 400 kg/ha de Urea al voleo en tres aplicaciones. A lo largo del ciclo productivo se realizaron 19 riegos que aportaron una lámina de aproximadamente 3000 mm.

El 4 de Diciembre, 84 días posteriores a la siembra y previo al inicio de la bulbificación se realizó la identificación de cada planta, registrando el estado de desarrollo y la separación a las vecinas en la línea de siembra. Para ello sobre lugares representativos del lote se seleccionaron al azar nueve sitios de muestreo constituidos por doce líneas de cultivo de un metro de longitud.

De acuerdo al tamaño de la planta y la cantidad de hojas, se estableció una escala para caracterizar el Estado I (EI) de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de los niveles que asume la variable Estado I (EI) en función de la cantidad de hojas.

Estado I	Cantidad de Hojas
1	2
2	3
3	4
4	5

De lugares externos a los sitios de muestreo se extrajeron plantas de similares características a las relevadas en cada uno de los cuatro estados. Sobre esas plantas se realizó la medición de la altura tomando la longitud desde el disco hasta el ápice de la hoja de mayor longitud. Posteriormente se determinó el peso seco del material previamente secado en estufa a 65 °C hasta peso constante.

La identificación de cada planta se mantuvo hasta la cosecha, realizada el 26 de Febrero (168 días desde la siembra). En esa oportunidad se clasificaron las plantas anteriormente identificadas de acuerdo a la escala de Estado II (EII) según la Tabla 2.

Tabla 2: Escala de los niveles que asume la variable Estado II (EII) en función de la condición de las plantas a cosecha.

Estado II	Característica
0	Planta faltante sin que se pueda encontrar vestigios de la misma.
1	Planta con crecimiento detenido, con vida o muerta recientemente.
2	Planta que no bulbificó.
3	Planta que generó bulbo.

Las plantas clasificadas 3 en la escala del Estado II fueron recolectadas individualmente manteniendo la identificación de cada una de ellas. Se colocaron en bolsas de red monofilamento para cebolla en un sitio con buena circulación de aire para asegurar el curado. Una vez cumplido este proceso se realizó el "descolado" extrayendo hojas secas y raíces.

Inmediatamente después del descolado se pesó individualmente cada bulbo, se realizó la medición del diámetro ecuatorial mayor y la clasificación de acuerdo al calibre según norma del MERCOSUR, Resolución IASCAV N° 88/95, presentado en la Tabla 3.

Tabla 3: Clasificación comercial de calibres de bulbo según norma MERCOSUR

Calibre	Diámetro mayor ecuatorial (mm)
2	> a 35 y hasta 50
3	> a 50 y hasta 70
4	> a 70 y hasta 90
5	> a 90

2.2. Diseño Estadístico

El diseño estadístico empleado fue completamente al azar. Similar diseño fue empleado por Martín *et al.* (2005) y Tesouro *et al.* (2009).

Figura 1: Imágenes de la labor de clasificación de las plantas de acuerdo al Estado II y recolección.



2.3. Variables

Las variables explicativas como así también las variables respuesta se clasificaron en variables individuales considerando cada planta y variables poblacionales considerando los sitios de muestreo.

2.3.1. Variables Explicativas Individuales

- Estado I (EI): Grado de crecimiento de la planta 84 días posteriores a la siembra de acuerdo a la escala de la Tabla 1.
- Distancia mayor (D): Distancia en milímetros a la planta vecina más distante en la línea de siembra.
- Distancia menor (d): Distancia en milímetros a la planta vecina más próxima en la línea de siembra.

- Separación media (Sepa EI): Se obtuvo promediando las distancias en centímetros que separan a la planta de sus vecinas más próximas en la línea de siembra (Fórmula 1). La notable variación observada en la cantidad de plantas vivas y en el nivel de desarrollo marcó la necesidad de establecer diferentes situaciones poblacionales en función de que considerara o no los individuos muertos o con escaso desarrollo, como activos competidores de las plantas que realmente tuvieron producción. En función de ello se consideraron también las variables Sepa EII y Sepa EIII.

Fórmula 1

$$Sepa = \frac{D + d}{2}$$

donde: D fue la distancia que la separa de su vecina más distante y d la que la separa de su vecina más próxima.

- Asimetría (C): A fin de caracterizar la posición de la planta dentro del espacio lineal que le corresponde (Sepa) se determinó un coeficiente de asimetría (Tesouro et al. 2009) de acuerdo con la fórmula 2.

Fórmula 2

$$C = 1 - \frac{D - \frac{D + d}{2}}{\frac{D + d}{2}} * 100$$

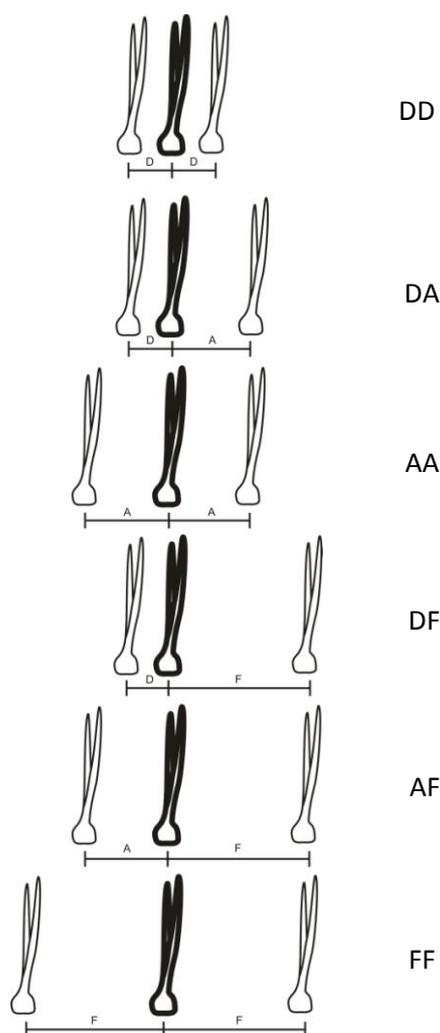
donde D es la distancia que la separa de su vecina más distante y d la que la separa de su vecina más próxima.

A partir de la relación entre las distancias que separaban al individuo de cada uno de sus vecinos es posible obtener una medida de desuniformidad espacial completamente dissociada de la densidad, lo que permitió estudiar separadamente los efectos de cada uno de estos dos factores.

- Condición: En función de las distancias que la separan de sus dos vecinas en la línea de siembra y de los criterios de la norma ISO 7256/1 se clasificó a cada individuo de acuerdo a si estaba separado por distancias consideradas Aceptable (A), Entrega Múltiple (D) o Falla (F). Dado que se consideraron las dos distancias, la identificación de cada una de las situaciones se realizó con dos letras indicando la clasificación de cada una de estas separaciones (Figura 2).

El criterio de la Norma ISO 7256/1 considera como Aceptable (A) a todo aquel espaciamiento en la línea de siembra de entre 0,5 Xref y 1,5 Xref, siendo la distancia de referencia (Xref) la separación teórica entre semillas. La Duplicación o entrega múltiple (D) se corresponde con los espaciamientos menores a 0,5 Xref y la Falla con las separaciones superiores a 1,5 Xref.

Figura 2: Esquema de la ubicación de las plantas y su correspondiente clasificación, de acuerdo a la variable Condición: DD, DA, AA, DF, AF y FF respectivamente.



2.3.2. Variables Explicativas Poblacionales

- Estado I medio (Elmed): Promedio de los niveles de desarrollo registrados 84 días posteriores a la siembra de acuerdo a la escala de la Tabla 1.
- Separación media entre plantas (SepaMed): Fue promedio de distanciamientos entre plantas vecinas en la línea de cultivo expresada en metros.
- Densidad (Dens): Cantidad de plantas por unidad de área registradas en 84 días posteriores a la siembra, expresada cantidad de plantas por hectárea (pl/ha).
- Índices ISO: De acuerdo al criterio de la mencionada norma ISO se calculan los porcentajes de espaciamentos Aceptables (%A), Duplicaciones (%D) y Fallas (%F). Luego, con esos porcentajes se estimaron los índices correspondientes según las fórmulas 3, 4 y 5.

Fórmula 3

$$\text{Índice A} = \frac{\%A}{(0,5 * \%D + \%A + 2 * \%D)}$$

Fórmula 4

$$\text{Índice D} = \frac{0,5 * \%D}{(0,5 * \%D + \%A + 2 * \%F)}$$

Fórmula 5

$$\text{Índice F} = \frac{2 * \%F}{(0,5 * \%D + \%A + 2 * \%F)}$$

De acuerdo con las fórmulas resulta evidente que los índices no reflejan directamente la proporción de espaciamientos aceptables y de anomalías de distribución. En cierta forma representaban la proporción del espacio ocupado por cada una de estas tres.

Dado que la sembradora empleada en esta experiencia contaba con dosificadores de entrega a chorrillo la distancia de referencia (Xref) fue estimada considerando la cantidad promedio de semilla dosificada a lo largo de una distancia conocida de línea de siembra (Fórmula 6).

Fórmula 6

$$X_{ref} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Cantidad de semillas}}$$

En función de las características físicas de la semilla y la dosis, la densidad equivalente de siembra teórica fue 1.393016,34 semillas/ha y la distancia de referencia Xref fue 53,84 mm.

2.3.3. Variables Respuesta Individuales

- Estado II (EII): Presencia y condición de la planta al momento de la cosecha y luego de 168 días desde la siembra de acuerdo a la escala de la Tabla 2.
- Peso individual (Prod) expresada en g.
- Diámetro ecuatorial del bulbo (Diam): Diámetro máximo expresado en mm.

2.3.4. Variables Respuesta Poblacionales

- Rendimiento de cultivo (Rend): Peso de bulbo producido por unidad de área expresado en kg/ha.

3. Resultados y Discusión

3.1. Efecto sobre la producción individual

3.1.1. Crecimiento de las plantas

En el relevamiento del Estado I realizado 84 días posteriores a la siembra se contabilizaron 1379 plantas en total. El 45% de las observaciones correspondieron a plantas con cuatro hojas y cerca de 27 cm de longitud (Estado I: 3) mientras que un 40% a plantas presentaron 3 hojas y 16 cm de longitud (Estado I: 2). En la Tabla 4 se presentan la longitud y el peso seco promedio de las plantas clasificadas en cada nivel, la cantidad de individuos observados y las proporciones que representan respecto del total.

Tabla 4: Peso seco, largo de las plantas y cantidad de plantas registradas para cada nivel de la variable Estado I.

Estado I	Largo (cm)	Peso seco (g)	%
1	9,40	0,035	5,87
2	16,20	0,241	39,09
3	27,10	0,422	45,39
4	38,20	1,791	9,64

Figura 3: Nivel de crecimiento de las plantas y clasificación según el Estado I. **Izquierda:** EI: 1; **Derecha:** EI:2.



Figura 4: Nivel de crecimiento de las plantas y clasificación según el Estado I. **Izquierda:** El: 3; **Derecha:** El:4.



El segundo relevamiento del cultivo realizado al estado de cosecha y luego de haber transcurrido 168 días desde la siembra permitió determinar que sólo el 65% de las plantas presentes en el relevamiento del Estado I llegaron a producir bulbo. Un 20% correspondieron a plantas muertas o con crecimiento detenido y un 15% a plantas que crecieron sin producir bulbo (Tabla 5).

Tabla 5: Cantidad de plantas y porcentajes registrados para cada nivel de la variable Estado II.

Estado II	n	%
0	184	13,34
1	85	6,16
2	213	15,45
3	897	65,05

La proporción de plantas muertas (EII: 0) o con crecimiento detenido (EII: 1) resultó mayor a lo informada por otros autores. En cultivos trasplantados y regados por goteo, Lipinski *et al.* (2002) reportan que las poblaciones presentan una disminución de entre 1,5% y 8,0% desde su establecimiento hasta cosecha.

La asociación entre estas variables presentó significancia estadística ($p < 0,0001$) y un coeficiente de correlación de *Paerson* de 0,26.

Tabla 6: Composición porcentual de la variable EI en función de los diferentes niveles que asume la variable EII.

		Estado I			
		1 (2 hojas)	2 (3 hojas)	3 (4 hojas)	4 (5 hojas)
Estado II	0 (Plantas muertas)	29,63	17,44	10,06	2,26
	1 (Plantas c/ crec. detenido)	7,41	5,94	5,75	8,27
	2 (Plantas que no bulbificaron)	39,51	24,49	7,35	2,26
	3 (Plantas que bulbificaron)	23,46	52,13	76,84	87,22
Total		100	100	100	100

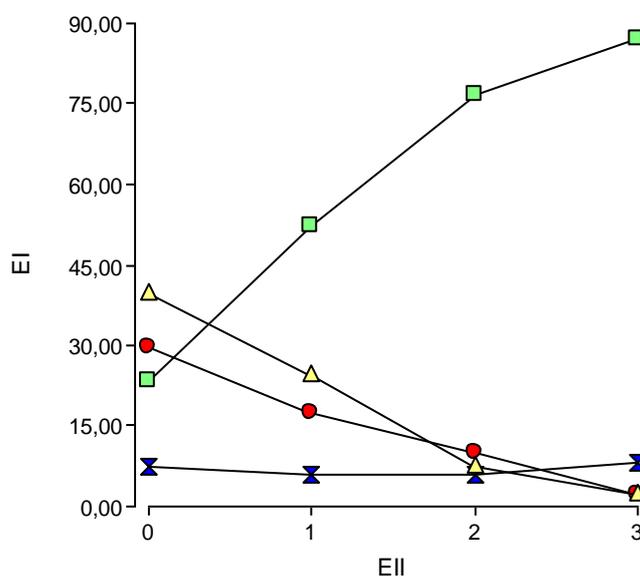


Figura 5: Composición porcentual de cada nivel de Estado I (EI) de acuerdo a la proporción de los niveles de Estado II (EII). Círculos EII: 0; Triángulo doble: EII: 1; Triángulo simple: EII: 2; Cuadrado: EII: 3.

Analizando la información de cada fila de datos de la Tabla 6 surge que prácticamente un 30% de las plantas que tenían dos hojas en la observación del Estado I fue registrado como faltante al momento de la cosecha. Esta alta proporción de plantas perdidas disminuyó progresivamente a medida que se observan los grupos de plantas que mostraron mayor crecimiento inicial hasta llegar a valores cercanos al 2%.

Similares variaciones mostraron las proporciones de plantas crecidas que no bulbificaron (EII: 2). Prácticamente el 40% de las plantas ubicadas con menor crecimiento inicial llegaron a cosecha sin producir bulbo.

Como contrapartida a estas variaciones se observó que el porcentaje de plantas que registraron producción de bulbo (EII: 3) fue superior en los grupos de plantas con mayor crecimiento inicial.

Estos comportamientos se asociaron al criterio de que un inadecuado crecimiento del cultivo en los estadios iniciales compromete la densidad poblacional a cosecha y la producción de bulbo.

El porcentaje de plantas con crecimiento detenido (EI: 1) resultó con escasas variaciones en todos los agrupamientos de EI, mostrando una cierta independencia del crecimiento inicialmente observado.

3.1.2. Efecto del crecimiento inicial de las plantas (EI) sobre la producción individual

El peso medio de todos los bulbos recolectados fue de 89,47 g, mientras que el Diámetro ecuatorial presentó una media de 53,64 mm (Tabla 7).

Tabla 7: Estadística descriptiva de las variables Producción (Prod) y Diámetro ecuatorial (Diam). **Media:** valor medio; **DE:** Desvío Estándar, **CV:** Coeficiente de Variación, **Mín:** Mínimo valor registrado; **Máx:** Máximo valor registrado.

Variable	Prod (g)	Diam (mm)
Media	89,47	52,64
DE	63,27	14,33
CV (%)	70,72	27,22
Mín.	9,30	22,79
Máx.	351,60	101,01

La producción individual registró una variabilidad muy importante, con un CV de 70,72% y una relación máximo/mínimo cercana a 40 (Tabla 7).

El diámetro ecuatorial de los bulbos presentó un valor medio prácticamente coincidente con el límite que divide los calibres comerciales 2 y 3. Esta posición del valor medio en la clasificación comercial determinó que la mitad de los bulbos cosechados carecerán de valor o tendrán valor comercial muy bajo por su reducido tamaño.

La producción individual de las plantas resultó afectada por el estado de crecimiento registrado 84 días posteriores a la siembra.

El análisis de varianza para el peso del bulbo y el diámetro ecuatorial tomando como variable clasificatoria el estado inicial EI determinó tres grupos homogéneos para cada una de estas dos variables (Tabla 8).

Tabla 8: Análisis de la varianza de la Producción individual (Prod) y el Diámetro ecuatorial (Diam) en función de la variable clasificatoria Estado I (EI). Letras iguales en la columna corresponden a grupos homogéneos. Dms: Diferencia mínima significativa. Test de Tukey 5%

Estado I	Prod (g)	Diam (mm)
2	55,84 a	44,28 a
1	58,53 a	44,70 a
3	93,71 b	54,29 b
4	159,47 c	67,89 c
	Dms: 20,40 g	Dms: 4,58 mm

Las plantas con menor nivel de crecimiento inicial no mostraron diferencias significativas entre sí para el peso del bulbo y su diámetro ecuatorial, generando una producción clasificada comercialmente como Calibre 2.

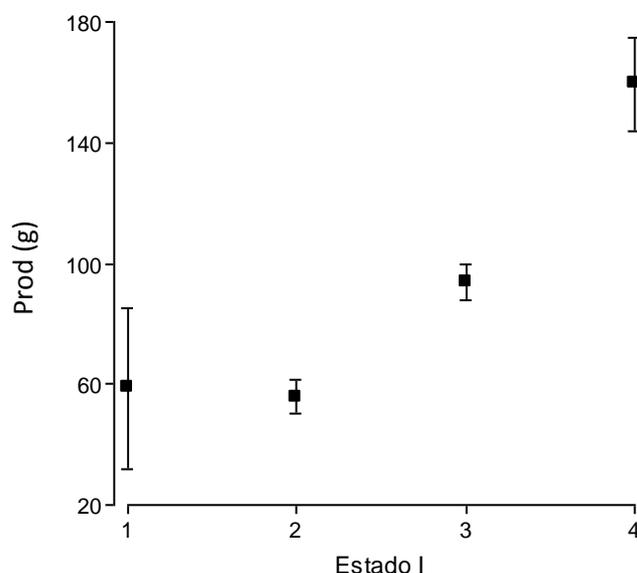


Figura 6: Valores medios de (Prod) de acuerdo al Estado I. Las barras señalan los intervalos de confianza para la media con un 95% de confianza.

Las plantas agrupadas en EI: 3 presentaron un diámetro medio ubicado dentro del calibre comercial 3 mientras que las de mayor desarrollo (EI: 4) mostraron un diámetro medio estadísticamente igual a 70 mm que es el límite inferior para el diámetro del calibre comercial 4.

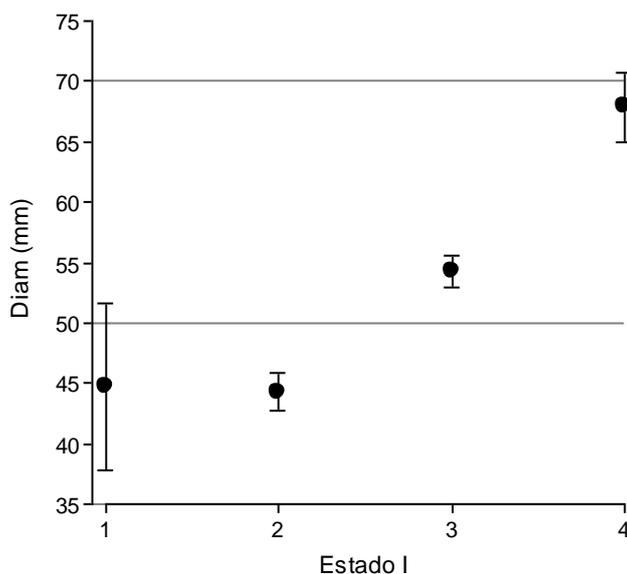


Figura 7: Valores medios del Diámetro Ecuatorial (Diam) de acuerdo al Estado I. Las barras señalan los intervalos de confianza para la media con un 95% de confianza. Las líneas horizontales señalan los límites de la clasificación comercial de tamaños de acuerdo a la Norma MERCOSUR de la tabla 3.

Mediante una análisis de regresión lineal, la variable independiente EI explicó cerca de la cuarta parte de la variabilidad presentada por la producción individual (R^2 : 0,24; $p < 0,0001$; $\text{Prod} = 44,62 \text{ EI} - 34,27$) y el diámetro ecuatorial (R^2 : 0,26; $p < 0,0001$; $\text{Diam} = 10,52 \text{ EI} + 23,50$).

3.1.3. Espaciamiento entre plantas

El espaciamiento entre plantas estimado a partir de las distancias a las vecinas en la línea de siembra, constituye una cuantificación de la disponibilidad de espacio.

3.1.3.1. Separación media en EI (Sepa EI)

La Sepa EI presentó un valor medio que no tubo coincidencia estadística con la separación teórica de 53,84 mm (t : 2,19 p : 0,0289) (Tabla 9). La dispersión de los valores registrados en torno a esta media arrojó un CV cercano al 85%. En términos de magnitud esta gran variabilidad permite observar que la planta con mayor distanciamiento promedio a sus vecinas contó con 135 veces más espacio que la ubicada entre dos vecinas a la menor distancia registrada.

Tabla 9: Estadística descriptiva de las variables Separación media (Sepa EI), Distancia a la vecina más alejada (D) y distancia a la vecina más próxima (d). **Media:** valor medio; **DE:** Desvío Estándar, **CV:** Coeficiente de Variación, **Mín:** Mínimo valor registrado; **Máx:** Máximo valor registrado.

Variable	Sepa EI (mm)	D (mm)	d (mm)
Media	58,90	89,86	29,01
DST	49,16	79,53	32,20
CV %	83,46	88,50	110,98
Mín.	2,50	5,00	1,00
Máx.	337,00	500,00	220,00

3.1.3.2. Separación media en EII (Sepa EII y Sepa EIII)

Dado que en el segundo relevamiento se observó alrededor de un 13 % de plantas faltantes, y que la ausencia de restos vegetales condujo a estimar que la mortandad de las mismas había sido temprana, se estimaron los parámetros de la distribución poblacional al momento de la cosecha considerando únicamente las plantas cuyos niveles de EII fueran 1, 2 y 3 (Sepa EII).

Considerando que las plantas con crecimiento detenido pudieran no haber interferido en la producción de las vecinas que continuaron el ciclo normalmente se realizó la determinación de la separación media (Sepa EIII) considerando únicamente las plantas cuyos niveles de EII fueran 2 y 3.

La estadística descriptiva de las variables Sepa EII y Sepa EIII se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Estadística descriptiva de las variables Separación media (Sepa EI y Sepa EII), Distancia al vecino más alejado (D) y distancia al vecino más próximo (d). **Media:** valor medio; **DE:** Desvío Estándar, **CV:** Coeficiente de Variación, **Mín:** Mínimo valor registrado; **Max:** Máximo valor registrado.

Variable	Sepa EII (mm)	Sepa EIII (mm)
Media	61,99	65,35
DST	59,44	62,52
CV %	95,89	95,67
Mín. (mm)	2,50	2,50
Máx. (mm)	475,00	475,00

La consideración de una población comparativamente menor repercutió en la magnitud de la separación media en cada estado. En efecto, la Sepa EIII resultó un 5 % superior a la Sepa EII y ésta Sepa EII resultó un 8% superior a la Sepa EI que es en definitiva la cantidad de espacio con que contaban las plantas una vez logrado el pleno establecimiento del cultivo.

3.1.4. Efecto de la separación media sobre la producción individual

La producción individual resultó dependiente del espacio disponible observado en los estadios iniciales del crecimiento vegetativo (Tabla 11). Sin embargo el modelo de regresión que logró mejor ajuste no tuvo valor predictivo. (Tabla 11 y Figura 8).

Tabla 11: Análisis de regresión entre la separación media (Sepa EI) y la producción individual (Prod). **R²:** Coeficiente de determinación; **b** y **Cte:** Estimadores de los parámetros de la regresión.

Variable Independiente	R ²	b	Cte.	p
Prod	0,01	0,11	83,20	0,0250

Con el empleo de las otras variables de espacio calculadas, Sepa EII y Sepa EIII, no se mejoró el ajuste. En efecto el modelo de regresión lineal simple con Sepa EII no tuvo significancia estadística y el que incluye a Sepa EIII tuvo significancia pero con una valor de p superior al observado con Sepa EI.

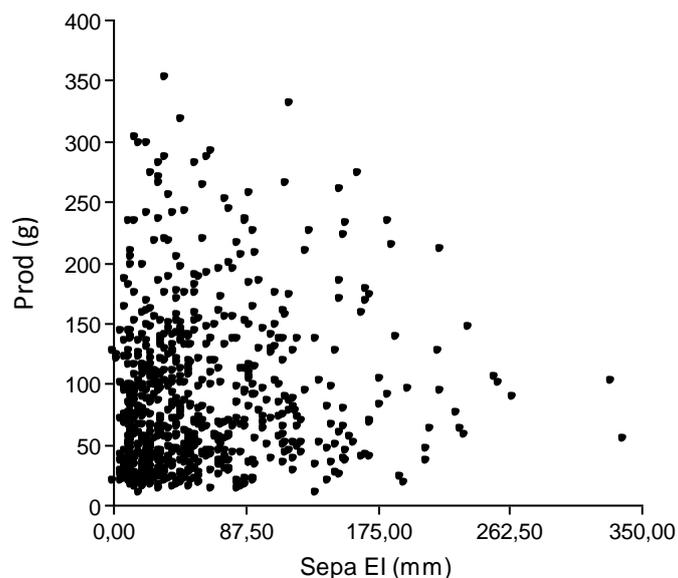


Figura 8: Respuesta de la producción individual (Prod) al espacio disponible representado por la Separación media (Sepa EI). Prod = 0,11 Sepa EI+ 83,20. R² 0,01 p=0,0250.

La inclusión del coeficiente de asimetría C en el modelo anteriormente utilizado para evaluar la respuesta de la producción individual (Prod) a las variaciones de la separación media (Sepa) no logró significancia ($p=0,8413$).

De la clasificación en función de la variable Condición surgieron seis grupos de individuos. Uno de estos, Condición AA, constituyó el 12% de los individuos de la muestra y de plantas que están separadas de sus vecinas en la línea de siembra por dos distanciamientos considerados aceptables. El grupo AF representó el 14 % de la muestra y estuvo integrado por plantas con a una de sus vecinas separada por una distancia aceptable y a la otra por una falla. El 28% de los individuos correspondieron a la condición AD, con plantas con una de sus separaciones aceptable y la otra considerada duplicación. Cerca del 22% de las plantas presentaron distanciamientos considerados duplicación respecto de sus vecinas en la línea de siembra, una condición DD. El quinto grupo de Condición DF, reunió el 18% de las plantas separadas de sus vecinas por un distanciamiento considerado una falla, siendo el otro una duplicación. Por último el 7% de los individuos mantuvo distanciamientos mayores y se ubicaron dentro de la clasificación FF.

Naturalmente, cada una de estas cuatro condiciones agrupan individuos con distintos espacios disponibles, pero también con distintas posiciones relativas dentro de ese espacio con que cuentan. En las siguientes figuras se presentan los valores medios de Sepa EI, y C para cada condición.

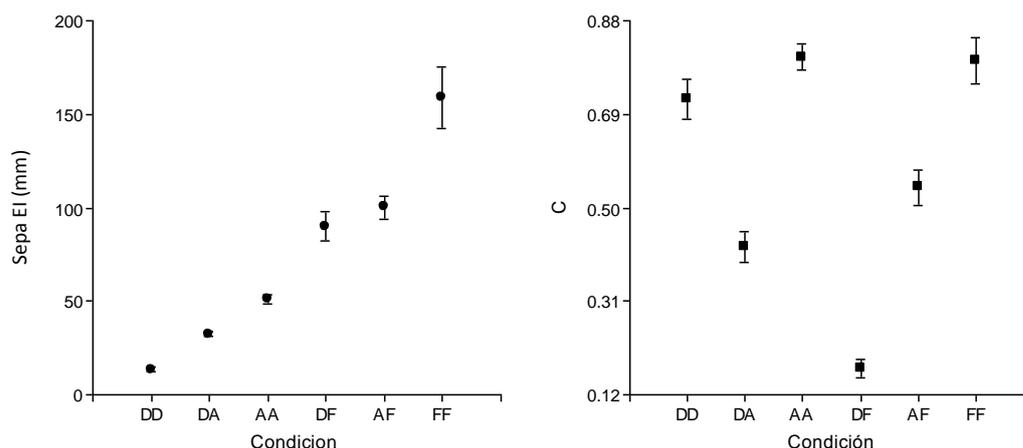


Figura 9: Valores medios de la Separación media (Sepa EI) y el Coeficiente de asimetría (C) de acuerdo a la variable clasificatoria Condición. Las barras señalan los intervalos de confianza para la media con un 95% de confianza.

Respecto de la condición ideal AA, que presentó una media cercana a los 50 mm, la cantidad de espacio es mayor en los grupos de plantas con al menos un espaciamiento Falla (Figura 9). El grupo FF registró una Sepa de 160 mm mientras que para las condiciones AF y DF se observaron valores de 100 mm y 90 mm respectivamente. Por el contrario los agrupamientos con al menos una separación D presentaron valores medios menores. En efecto, las condiciones DA y DD alcanzaron medias de 32 mm y 13 mm respectivamente.

Los niveles que asume la asimetría fueron elevados en los grupos AA, DD y FF, lo que reflejó la equidistancia de los vecinos de la línea de siembra. En DA y AF la simetría adquirió valores intermedios. Por último, el grupo de plantas DF presentó los valores más bajos de C.

Tabla 12: Valores medios de las variables Separación media (Sepa EI), Coeficiente de asimetría (C) y Producción Individual (Prod) para nivel de la variable clasificatoria Condición. **Media:** Valor medio de la variable; **Diferencia%:** Diferencia porcentual respecto del valor que asume la variable en la condición AA.

Condición	Sepa EI (mm)		C	Prod (gr)	
	Media	Diferencia %	Media	Media	Diferencia %
DD	13,50	-73,72	0,72	83,51	-13,73
DA	32,21	-37,31	0,42	83,22	-14,04
AA	51,38	0	0,80	96,81	0
DF	90,11	+75,38	0,17	98,17	+1,36
AF	100,11	+94,84	0,54	102,48	+5,53
FF	158,97	+201,40	0,79	72,82	-24,78

Los mayores niveles de producción individual se ubicaron próximos a los 100 g y se registraron en los grupos AF, DF y FF que no se diferenciaron estadísticamente entre sí. Las plantas en condición DA y DD presentaron una producción individual de 83 g. Por

su parte, el grupo de plantas en condición FF registró la menor producción con un valor cercano a los 73 g.

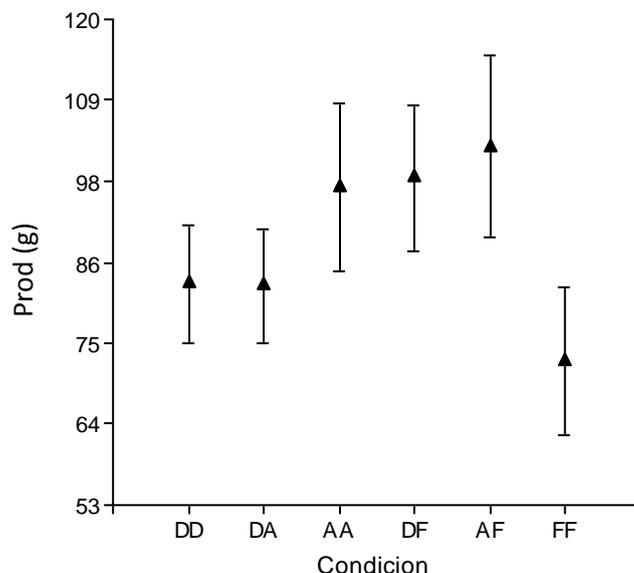


Figura 10: Valores medios de la Producción Individual (Prod) de acuerdo a la variable clasificatoria Condición. Las barras señalan los intervalos de confianza para la media con un 95% de confianza.

La ausencia de una relación entre la producción, la cantidad de espacio y la simetría observada en los análisis de regresión, también se vio reflejada en las comparaciones realizadas en función de la variable clasificatoria Condición.

Estos resultados son contradictorios con gran parte de la bibliografía revisada. Diversos investigadores consideran que un menor espaciamiento entre plantas se asocia con una menor producción individual. Sin embargo, aunque las variaciones se hayan dado en ese sentido, no ocurrieron en la misma proporción. Para DD y DA una disminución del espacio en un 73% y un 40% respectivamente sólo ocasionó una merma de la producción cercana al 14% en ambos casos (Tabla 12 y Figura 11).

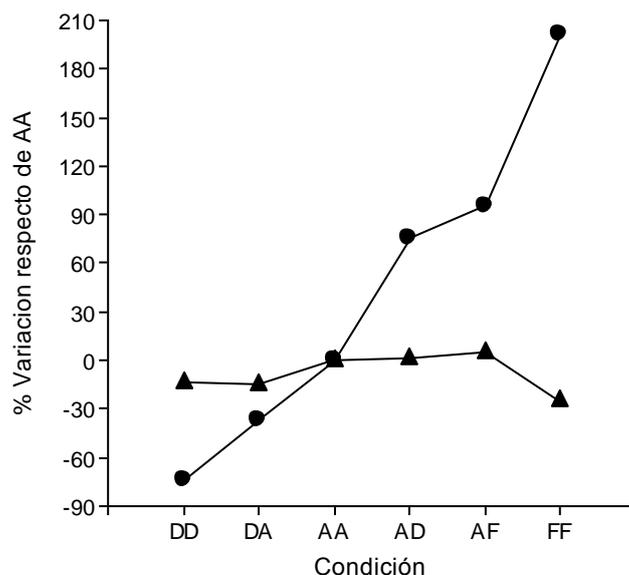


Figura 11: Variaciones porcentuales de la Producción individual (Prod) y la Separación media (SepaEI) en cada Condición respecto a la condición AA. Círculo: Prod; Triángulo: Prod.

Un comportamiento similar se registró con el aumento de la producción ante incrementos en el espaciamiento. Mientras que la cantidad de espacio se incrementó en un 75% y un 95% para DF y AF respectivamente, los valores de producción solo se incrementaron en un 1,5% y un 5,5% en cada caso.

Una particularidad se dio con el grupo FF. En este caso, el incremento de la cantidad de espacio no repercutió en un aumento de la producción que por el contrario, se vio disminuido en un 25% respecto e AA.

En función de estas respuestas observadas puede presumirse que en el lote donde se llevó a cabo el estudio pudieron darse diferencias en la calidad del ambiente a nivel de micro sitio o entorno cercano de cada planta.

La calidad de micro sitio puede haber sido también responsable de una gran proporción de las fallas. De ese modo podría explicarse porque una mayor cantidad de espacio disponible no se tradujo en una mayor disponibilidad de recursos. Del mismo modo una mejor calidad de sitio sería la responsable de niveles productivos elevados en plantas que se encontraban muy próximas entre sí.

A la luz de los resultados obtenidos en el análisis a nivel de individuo, sólo es posible establecer una relación clara y unívoca entre el desarrollo inicial de las plantas con la supervivencia y la producción individual lograda por ellas.

En cierta forma el desarrollo vegetativo que la planta adquiere en los estadios iniciales del cultivo va a condicionar su performance productiva en mayor medida que el distanciamiento a sus vecinos en la línea de siembra.

3.2. Efecto sobre el rendimiento poblacional

3.2.1 Crecimiento del cultivo

A nivel de sitio, las plantas presentaron valores de entre 2,25 y 2,85 (Tabla 13). Considerando la escala presentada en la Tabla 4, la planta promedio observada en cada sitio presentó entre 3 y 4 hojas. La variabilidad observada tubo niveles de CV próximos al 30%.

Tabla 13: Principales parámetros de la variable Estado I medio: **Elmed:** Estado I medio. **DST:** Desvío Estándar de Elmed. **CV:** Coeficiente de Variación de Elmed.

Sitio	Elmed	DST	CV (%)
1	2,61	0,82	31,63
2	2,25	0,72	32,16
3	2,76	0,78	28,16
4	2,35	0,64	27,06
5	2,34	0,59	25,38
6	2,66	0,71	26,82
7	2,85	0,80	27,94
8	2,79	0,70	24,97
9	2,40	0,65	27,17

3.2.2. Efecto del crecimiento inicial del cultivo (Elmed) sobre el rendimiento.

El rendimiento resultó afectado por el grado de desarrollo alcanzado durante las etapas iniciales del cultivo. El modelo de regresión lineal simple con Elmed como variable independiente explicó cerca del 70% de la variabilidad observada para Rendimiento (Figura 12).

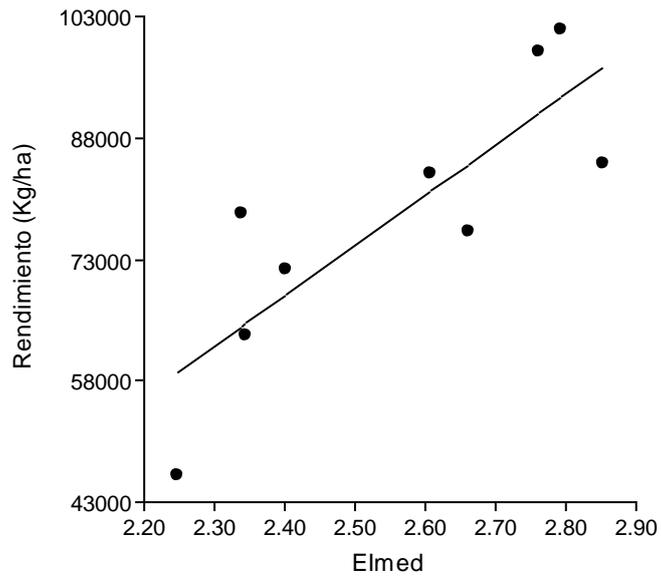


Figura 12: Respuesta del Rendimiento al Estado I medio (Elmed). Rend= 62338,20 Elmed – 81127,81. R²= 0,69. p=0,0055.

La inclusión de medidas de dispersión en el análisis precedente no alcanzó significancia estadística en ningún caso (DST p: 0,2139 y CV p: 0,1849). Tampoco se registró relación alguna entre la variabilidad de Elmed y la de las medidas de dispersión mencionadas, lo que descarta la colinealidad de las variables independientes.

Este comportamiento puso en evidencia la gran sensibilidad que la performance del cultivo tiene respecto del nivel de desarrollo alcanzado en los estados iniciales. En cierta medida, el desarrollo de la estructura vegetativa alcanzado durante la etapa previa al inicio de la bulbificación va a condicionar el rendimiento independientemente de la uniformidad de la población.

3.2.3. Espaciamiento entre plantas y uniformidad.

Los principales parámetros de la distribución de plantas registrada en los nueve sitios de muestreo al momento de relevar el Estado I se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14: Principales parámetros de distribución de plantas en la línea de siembra: **SepaMed:** Separación media efectiva.; **Dens:** Densidad poblacional; **DST:** Desvío Estándar de SepaMed; **CV:** Coeficiente de Variación de SepaMed; **D:** Índice de entregas múltiples; **F:** Índice de Fallas; **A:** Índice de Aceptables

Sitio	SepaMed (mm)	Dens (pl/ha)	DST (mm)	CV (%)	D	F	A
1	63,75	1176470,59	90,03	141,64	26,10	41,77	32,13
2	78,80	951776,65	96,13	122,00	15,29	52,94	31,76
3	53,73	1395953,76	70,25	130,76	30,37	35,56	34,07
4	65,37	1147242,46	73,93	113,08	19,73	46,82	33,44
5	57,57	1302788,84	54,65	94,93	21,39	41,79	36,82
6	53,45	1403260,10	53,07	99,29	23,73	36,44	39,83
7	64,03	1171341,93	89,07	139,11	26,60	50,00	23,40
8	57,58	1302521,01	61,25	106,38	21,07	41,47	37,46
9	80,52	931498,08	91,51	113,66	14,41	54,05	31,53

Considerando los nueve sitios de muestreo la separación media efectiva fue en promedio de 63,87 mm. En los sitios 3 y 6 se registraron los valores más bajos y muy cercanos a la separación teórica. En el otro extremo de las observaciones el sitio 9 presentó una separación media un 50% mayor a la distancia de referencia mencionada de 53,84 mm.

En función de estos distanciamientos medios entre plantas vecinas, las densidades poblacionales observadas se ubicaron entre 930.000 pl/ha y 1.400.000 pl/ha.

La dispersión de los distanciamientos en torno al valor medio en la línea de siembra permitió observar porcentajes en el Coeficiente de Variación de entre 95% y 140%. Estos importantes niveles de irregularidad se vieron también reflejados en los reducidos valores observados para el índice de aceptables A. Como contrapartida se observaron altos niveles de los índices D y F, particularmente de este último, que en la mayoría de los casos es el de mayor magnitud, superando incluso al índice A.

Dada las características de los índices D y F, una mayor magnitud de uno u otro va a incidir en la población final de plantas, y consecuentemente en la separación media efectiva de la población de plantas.

Mientras que una mayor ocurrencia de Duplicaciones incide en la reducción de la separación media, el incremento de la proporción de Fallas tiene un efecto opuesto (Figura 13).

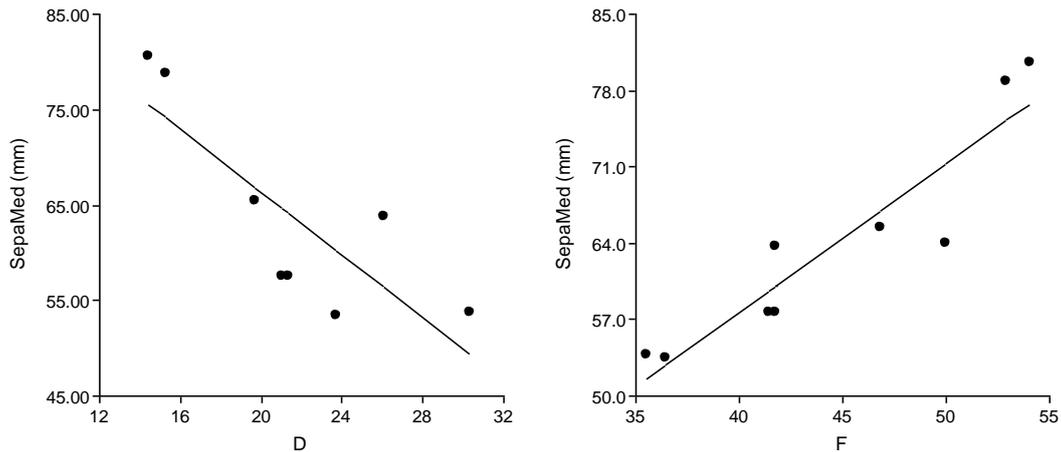


Figura 13: Izquierda: Respuesta de la Separación media efectiva (SepaMed) al Índice de Duplicaciones (D). $SepaMed = -1,64D + 99,21$. $R^2 = 0,67$. $p = 0,0129$. **Derecha:** Respuesta de la Separación media efectiva (SepaMed) al Índice de Fallas (F). $SepaMed = -1,36D + 3,13$. $R^2 = 0,86$. $p = 0,0003$.

Por otra parte las variaciones proporcionales de los espaciamientos Aceptables repercuten directamente en la uniformidad de distribución, independientemente de la separación media alcanzada. En efecto, un aumento del índice A estuvo asociado a menores valores de las medidas de dispersión como el Coeficiente de Variación y el Desvío Estándar (Figura 14).

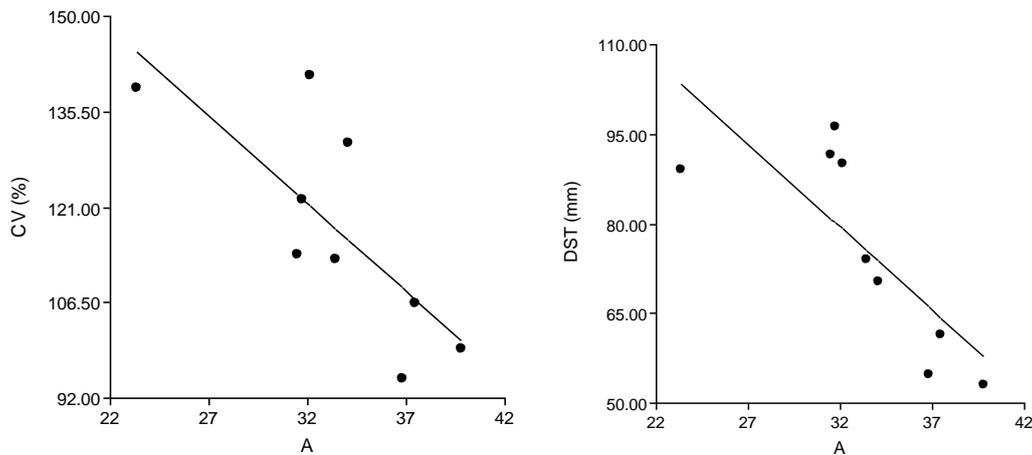


Figura 14: Izquierda: Respuesta del Coeficiente de Variación (CV) al índice de Aceptables (A). $CV = -2,68 A + 207,38$. $R^2 = 0,58$. $p = 0,0174$. **Derecha:** Respuesta del Desvío estándar (DST) al índice de Aceptables (A). $DST = -2,78 A + 168,52$. $R^2 = 0,61$. $p = 0,0126$.

3.2.4. Efecto del espaciamiento y la uniformidad sobre el rendimiento.

El rendimiento total del cultivo resultó afectado por la densidad poblacional. El modelo de regresión lineal simple con la variable independiente SepaMed resultó significativo, logrando explicar prácticamente la mitad de la variabilidad observada para el rendimiento (Figura 15).

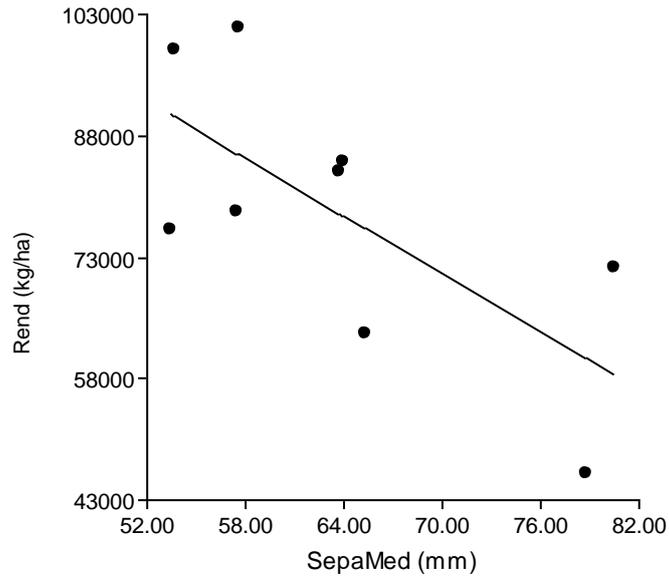


Figura 15: Respuesta del Rendimiento (Rend) a la separación media efectiva (SepaMed). Rend= -1189,99 SepaMed + 154274,92. R²= 0,49. p=0,0366.

De acuerdo a la ecuación de la Figura 15, el rendimiento decreció alrededor de 1200 Kg/ha por cada milímetro de aumento en la separación media efectiva en la línea de siembra.

El rendimiento se asoció a la densidad poblacional con buen ajuste para la regresión lineal simple (Figura 16). De acuerdo con este modelo un incremento en la densidad poblacional de 10.000 pl/ha ocasionó un aumento del rendimiento cercano a los 700 kg/ha.

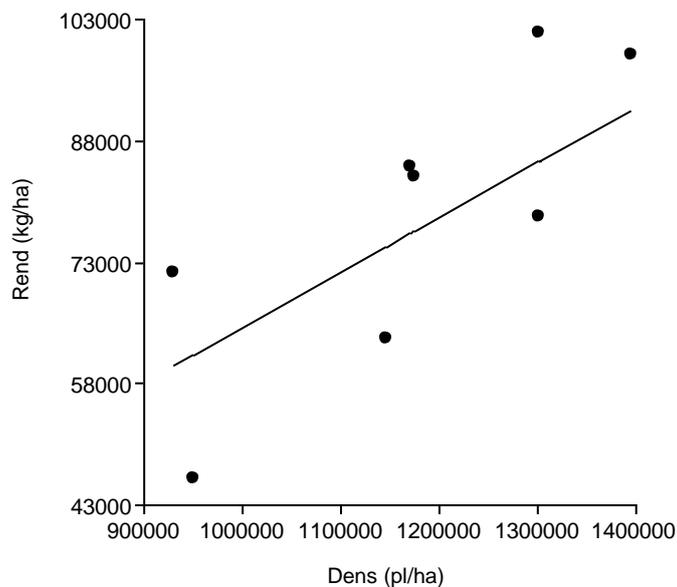


Figura 16: Respuesta del Rendimiento (Rend) a la densidad poblacional (Dens). Rend= 0,07Dens - 3069,74. R²= 0,49. p=0,0395.

Las variaciones de las medidas de dispersión en la línea de siembra no se relacionaron con el rendimiento. En efecto los análisis de regresión con el DST y el CV como variables independientes no alcanzaron significancia estadística ($p:0,2488$ y $p:0,7753$ respectivamente).

La respuesta del rendimiento frente a la densidad tuvo repercusión en relación con los índices D y F. Naturalmente, un incremento de las anomalías de distribución que elevaron la densidad poblacional incidió de manera positiva en la variación del rendimiento. Por el contrario, la mayor proporción de fallas que generó una disminución de la densidad poblacional, provocó también la depresión del rendimiento (Figura 17).

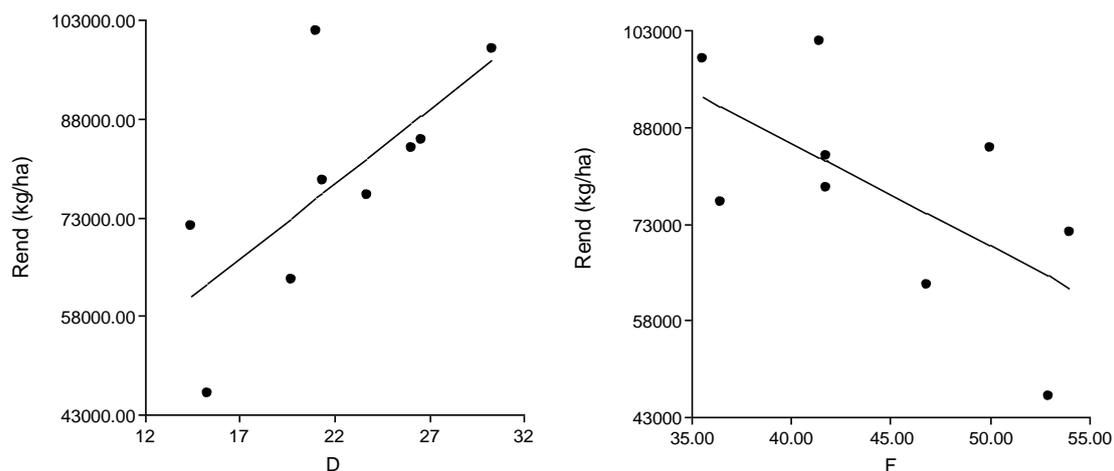


Figura 17: Izquierda: Respuesta del Rendimiento (Rend) al índice de Duplicaciones (D). $\text{Rend} = 2253,64 D + 28519,22$. $R^2 = 0,48$. $p = 0,0374$. **Derecha:** Respuesta del Rendimiento al índice de Fallas (F). $\text{Rend} = -1593,87 F + 149263,52$. $R^2 = 0,40$. $p = 0,0657$.

En el análisis poblacional el rendimiento resultó afectado básicamente por dos factores. El grado de desarrollo vegetativo durante los 84 días posteriores a la siembra resultó determinante del rendimiento, sin incidencia de la uniformidad observada en la población. Por otra parte también resultó evidente el efecto de la densidad poblacional. En este sentido, la mayor cantidad de plantas por unidad de superficie se asoció a mayores rendimientos aun cuando esta mayor densidad poblacional se diera por un incremento de las duplicaciones.

4. Consideraciones Finales

En el cultivo evaluado se observó una calidad de implantación relativamente baja en términos de uniformidad espacial y fenológica que impactó sensiblemente en la performance productiva.

El desarrollo inicial repercutió en la supervivencia de las plantas y en su producción. Algo más de la mitad de las plantas emergidas lograron producir un bulbo comercializable. La mayor proporción de mortandad y falta de producción se asoció con los niveles de crecimiento inicial más bajos.

Los valores observados para el índice de Fallas muestran que prácticamente el 40% de la línea de siembra no presentó plantas. Tampoco pudo detectarse un aprovechamiento de esos recursos por parte de las plantas vecinas.

Resulta llamativa la independencia que el rendimiento presentó a la uniformidad del stand, lo que hace presumir que la condición del ambiente a nivel de micro sitio puede haber sido un factor limitante de la planta de mayor relevancia que el espacio disponible.

La situación de base establecida por esta experiencia permite visualizar una importante brecha entre los rendimientos actuales y los que potencialmente se pueden obtener cuando se logran poblaciones con un buen desarrollo vegetativo inicial y la completa ocupación del espacio.

5. Referencias Bibliográficas

- Griepentrog, H. W. 1998. Seed distribution over the area. Eur. Ag. Eng. 98-A-059.
- Hatridge-Esh, K. A.; Bennett, J. P. 1980. Effects of seed weight, plant density and spacing on yield responses of onion. Journal of Horticultural Science 1980 Vol. 55 No. 3 pp. 247-252.
- Internacional Organization for Standardization. 1984. Sowing equipment - Test Methods - Part 1: Precision drills for sowing in lines. 7256/1.
- Lipinski, V. M., Gaviola, S y Gaviola, J.C. 2002. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de cebolla cv. Cobriza INTA con riego por goteo. Agricultura Técnica, 62(4), 574-582.
- Liu, W.; Tollenaar, M.; Stewart, G.; Deen, W. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. Crop Sci. 44: 847 – 854.
- Maroni, J.; Gargicevich, A. 1998. Operación de siembra, densidad y uniformidad de plantas en maíz. Impacto sobre rendimiento en granos. Capítulo II, pp. 29. Morgan - Mycogen S.A. Bs. As.
- Martin, K.L., P.J. Hodgen, K.W. Freeman, R. Melchiori, D.B. Arnall, R.K. Teal, R.W. Mullen, K. Desta, S.B. Philips, M.L. Soile, M.L. Stone, O. Caviglia, F. Solari, A. Bianchini, D.D. Francis, J.S. Schepers, J.L. Hatfield y W.R. Raun. 2005. Plant to plant variability in corn production. Agron. J. 97: 1603 – 1611.
- Nafziger, E. D. 1996. Effects of missing and two-plant hills on corn grain yield. J. Prod. Agric. 9: 238 – 240.
- Panning, J. W., M. F. Kocher, J. A., Smith y S. D. Kachmann. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. Transaction of the ASAE 16 (1): 7-13.
- Rumpel, J.; Felczynski, K. 2000. Effect of plant density on yield and bulb size of direct sown onions. Acta Hort. (ISHS) 533:179-186.
http://www.actahort.org/books/533/533_22.htm
- Tesouro, M. O., J. P. D´Amico, D. Paredes, A. Romito, M. Roba, G. Loyde y M. Casartelli. 2009. Desuniformidad en la distribución de las plantas de girasol (*Helianthus annuus L.*): Impacto sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo. X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 2009. Rosario. Santa Fe. Argentina: 68.
- Visser, C.L.M.; W. van der Berg. 1998 A method to calculate the size distribution of onion and its use an onion growth model. Scientia Horticulturae 77: 129 – 143.

En el Valle Bonaerense del Río Colorado, el cultivo de Cebolla se lleva a cabo mediante la siembra directa sin que se realice la etapa de almácigo y trasplante. El objetivo del trabajo es determinar la influencia de la irregularidad espacial y fenológica del stand de plantas sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo de cebolla. Sobre un cultivo comercial de la variedad Grano de Oro se realizó un muestreo de plantas registrando para cada una el estado fenológico inicial, la separación entre plantas, el peso del bulbo y calibre. El cultivo presentó una alta irregularidad fenológica y una elevada desuniformidad espacial con una alta proporción de Fallas y Duplicaciones. El estado fenológico inicial condicionó la supervivencia de las plantas, el desarrollo y el peso del bulbo. Este factor junto a la densidad poblacional a cosecha, fueron los condicionantes de mayor relevancia para el rendimiento del cultivo.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación