

## Respuesta de cuatro especies de cereales a la densidad de plantas en siembra en surcos

Oscar Humberto Moreno-Ramos<sup>1</sup>

Julio Rodríguez-Casas<sup>2</sup>

Eduardo Pablo Canseco-Vilchis<sup>2</sup>

Eduard C Martin<sup>3</sup>

Hermelinda Herrera-Andrade<sup>1</sup>

Sanjaya Rajaram<sup>4</sup>

### RESUMEN

Las diferencias en el rendimiento de los cereales en respuesta a cambios en la densidad de plantas (DP) son debidas a las diferencias en el área foliar (capacidad fotosintética) que puede ser estimada por medio de variables cuantitativas durante el ciclo de crecimiento. Para probar esta hipótesis, ocho experimentos en serie fueron establecidos con cuatro cultivos de cereal: avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y trigo duro (*Triticum durum* Desf.), usando dos variedades de cada cereal y sembrados en un sistema en surcos bajo riego. Cada experimento consistió de ocho densidades de población: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 800 mil plantas por hectárea (MPPH). Los resultados indicaron que las funciones de produc-

ción fueron similares entre variedades de cada cultivo, pero diferentes entre cultivos. La densidad de plantas óptima para el máximo rendimiento de grano fue de 150 MPPH para avena, de 180 MPPH para cebada y de 210 MPPH para trigo harinero y trigo duro. La importancia de las variables para predecir la DP y rendimiento de grano fue como sigue: altura de planta, número de hijuelos por planta, número de espigas por metro cuadrado, rendimiento de grano y peso hectolítrico. Debido a su capacidad predictiva y a su fácil manejo, la altura de planta fue utilizada como la mejor variable dependiente para predecir la DP óptima para la obtención del máximo rendimiento de grano.

*Palabras clave:* densidad de plantas, avena, cebada, trigo, variedades.

<sup>1</sup> Profesor-Investigador. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Block 611. Bácum, Sonora, México.

<sup>2</sup> Profesor Investigador. Depto. Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Carr. Bahía Kino km 21. Hermosillo, Sonora, México. jrdguez@guaymas.uson.mx

<sup>3</sup> Profesor Investigador. Depto. Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Carr. Bahía Kino km 21. Hermosillo, Sonora, México. ecanseco@guayacan.uson.mx

<sup>4</sup> University of Arizona, Dept. Agricultural & Biosystems Engineering, Tucson, AZ, USA

<sup>1</sup> Profesor-Investigador. Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Block 611. Bácum, Sonora, México.

<sup>4</sup> Biodiversity and Integrated Gene Management Program. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria.

## ABSTRACT

Differences in yield of cereals in response to changes in plant density (PD) are due to differences in the canopy area (photosynthetic capacity) that can be estimated by means of quantitative variables during the growth season. To test this hypothesis, eight experiments in series were carried out with four cereal crops: oat (*Avena sativa* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.), using two varieties for each crop and planted using a raised-bed furrow-irrigated system. Each experiment consisted on eight population densities: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 and 800 thousand plants per hectare (TPPH). Results indicated that the production functions were similar between varieties of each crop, but different among crops. Optimum plant density for maximum grain yield was of 150 TPPH for oat, 180 TPPH for barley, and of 210 TPPH for bread wheat and durum wheat. The importance of the variables to predict the PD and grain yield was as follows: plant height, number of tillers per plant, number of spikes per square meter, grain yield, and hectolitic weight. Due to its predictive capacity and easy handling, plant height was used as the best dependent variable to predict the optimum PD for maximum grain yield.

*Key words:* plant density, oat, barley, wheat, varieties.

## INTRODUCCIÓN

El número de plantas por unidad de área (densidad de plantas) es una variable para predecir el

rendimiento de los cultivos y necesaria para calcular las dosis de fertilizante. Para cultivos como los cereales, se han conducido un gran número de estudios, sin embargo, los resultados han mostrado grandes variaciones.

Las densidades de plantas utilizadas para trigo tienden a simular la condición de su origen, donde la dispersión de las semillas estaba en función del viento, las aves, etc. (Moreno-Ramos y col., 1998). Adicionalmente, la estructura de la planta condujo a muchos investigadores a creer que, para lograr producciones de alto rendimiento, era necesario tener una cobertura total de plantas en el campo. Por estas razones, la tecnología fue desarrollada siguiendo este camino, sin pensar en la posibilidad de que éste pudiera ser de otra manera. Con la utilización del sistema de siembra para trigo en camas elevadas (surcos), se observó que estas plantas podían llenar espacios tan separados como 0.60 m entre surcos, y esta capacidad era similar para llenar los espacios entre plantas bajo este sistema. El cambio drástico en la disposición de las plantas hizo necesario modificar la tecnología de producción. Actualmente, existe suficiente información para la producción de trigo, sin embargo, no hay una regla para cuantificar las diferencias en los rendimientos al cambiar la arquitectura de las plantas (Moreno-Ramos y col., 1995). Esto es debido a la interacción positiva entre los factores de producción. Puede decirse que cuando son usadas bajas densidades de plantas, los insumos requeridos serán también menores comparados con las cantidades comúnmente usadas (Moreno-Ramos y col., 1994).

La habilidad de los cultivos de cereales para producir hijuelos compensa, dentro de ciertos límites, la reducción en la densidad de plantas durante las primeras etapas (Gooding y col., 2002; Salazar y col., 1998). Actualmente, la interacción entre la densidad de plantas y la variedad ha sido estudiada, la cual ha indicado algún efecto por la variedad usada (Rodríguez-Casas y col., 2005) y fue el motivo para este estudio.

En el Noroeste de México (Sonora), el peso hectolítrico para trigo varía de 40 a 200 kg ha<sup>-1</sup>. La densidad óptima recomendada es de aproximadamente 100 kg ha<sup>-1</sup> para trigos harineros y 120 kg ha<sup>-1</sup> para trigos cristalinos. Sin embargo, para protegerse, los agricultores utilizan una cantidad más alta; e.g., 160 kg ha<sup>-1</sup> de semilla (Meisner y col., 1992).

En lo referente a cómo están las plantas acomodadas en el campo, es importante considerar factores como la distancia entre surcos, la densidad de plantas (número de plantas por hectárea), la variedad utilizada y, la fecha de siembra. La distancia mínima recomendada entre surcos es de 0.50 m; de otra manera, el riego es difícil de realizar, y el mejor arreglo es de una hilera de plantas por surco. Esto es cierto sólo cuando la distancia entre surcos no es mayor que 0.60 m (Moreno-Ramos y col., 2004). Para espaciamientos entre surcos de

0.70 m o mayores, el número de hileras por surco debería ser de dos y actualmente, la máxima distancia entre surcos es de 1.00 m. El rendimiento de grano con dos hileras por surco ha sido mayor aún cuando se ha comparado con tres hileras por surco (Moreno-Ramos y col., 1995; 2005a.)

*Con la utilización del sistema de siembra para trigo en camas elevadas (surcos), se observó que estas plantas podían llenar espacios tan separados como 0.60 m entre surcos, y esta capacidad era similar para llenar los espacios entre plantas bajo este sistema. El cambio drástico en la disposición de las plantas hizo necesario modificar la tecnología de producción*

Al comparar el efecto del sistema de cultivo tradicional (al voleo) con el sistema de surcos, la respuesta a la densidad de plantas fue más alta cuando el trigo fue producido en surcos, y el máximo rendimiento fue logrado con bajas densidades de plantas (Moreno-Ramos y col., 1995; 2004) en siembras dentro de la época recomendada.

El objetivo de este estudio fue generar información para determinar la respuesta del rendimiento de grano y así recomendar una densidad de plantas óptima para cuatro cultivos de cereal (avena, cebada, trigo harinero pan y trigo duro), sembrados en surcos bajo riego en el Noroeste de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento fue realizado en la Estación Experimental del Valle del Yaqui, en Sonora, México (27.33°N, 109.09°W; 38 m.s.n.m.), durante el ciclo otoño-invierno 1999-2000 en un suelo compactado arcillo-arenoso (mixed montmorillonitic

Typic Calciorthid), bajo en materia orgánica y ligeramente alcalino (pH 7.7). Los factores probados fueron: cuatro cultivos de cereales (avena, cebada, trigo harinero y trigo duro), usando dos variedades de cada cereal: (Avena: Baviácora y Raramuri; Cebada: Esperanza y Cerro Prieto; Trigo Harinero: Rayón y Oasis; Trigo Duro: Altar y Aconchi). Los niveles de densidad de plantas (DP) usados fueron: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 800 mil plantas por hectárea (MPPH). El experimento fue dividido en ocho sub-experimentos; cada uno consistió de una variedad con las ocho DP en un diseño en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

La preparación de la cama de siembra fue la convencional para la región (arado y rastreo). La fertilización usada fue 200-50-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) kg ha<sup>-1</sup>, usando urea (46% N) y superfosfato de calcio (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), aplicando 150-50-00 antes de la siembra, y los adicionales 50 kg ha<sup>-1</sup> de N fueron aplicados con el primer riego. Después de la preparación de la cama de siembra, los cultivos fueron sembrados en suelo húmedo aplicando un riego pesado. Cuando el suelo llegó a capacidad del campo, se aplicó la fertilización de presiembra y fue incorporada mediante un rastreo, eliminando al mismo tiempo la primera generación de malezas. Luego, los surcos fueron formados; y finalmente, los cultivos fueron sembrados utilizando una sembradora manual para cultivos en hilera. La siembra, para todas las variedades, se realizó el 6 de diciembre de 1999 con una densidad inicial de 60 kg ha<sup>-1</sup>. El aclareo para establecer las DP planeadas fue realizado al principio de la etapa de amacollamiento. Los cuatro cultivos fueron sembrados en surcos con una distancia entre surcos de

0.50 m, con una hilera por surco. La parcela experimental consistió de seis surcos de 5.0 m de largo, cosechando 4.0 m de los cuatro surcos centrales. La dirección de los surcos fue de Este-Oeste. Los riegos fueron de acuerdo a las recomendaciones de la Estación Experimental local, aplicando el primer riego cuando la planta formó hijuelos (2-3 en la escala de Feekes); el segundo durante la floración (10.5.1); y el tercero cuando el grano estaba a <sup>1</sup>/<sub>4</sub> de llenado (11.1) (Weiz, 2004). El experimento fue mantenido libre de malezas mediante dos labores mecánicas y varias manuales.

Las variables cuantificadas fueron: rendimiento del grano (ton ha<sup>-1</sup>), altura final de planta (cm), peso hectolítrico (kg hL<sup>-1</sup>), número de hijuelos por planta (HPP) y número de espigas por metro cuadrado (EPMC). Finalmente, se realizó un análisis de regresión utilizando el procedimiento "stepwise" para determinar las variables necesarias para predecir la DP óptima para el máximo rendimiento de grano de cada cereal y variedad (SAS Inst., 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento del grano

*Avena:* Los resultados para las dos variedades mostraron una tendencia particular para esta variable, incrementándose a partir de bajas DP, alcanzando un máximo con 120 MPPH para Raramuri y con 150 MPPH para Baviácora, con rendimientos de 3.964 y 4.250 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente, y luego decreciendo paulatinamente a DP mayores (Tabla1). En cuanto a las variedades, los

rendimientos promedio fueron de 3.500 ton ha<sup>-1</sup> para Raramuri y de 3.462 ton ha<sup>-1</sup> para Baviácora. *Cebada*: Los rendimientos de grano para las dos variedades se comportaron en forma similar casi idénticos, incrementándose hasta alcanzar el máximo rendimiento para Esperanza a 150 MPPH y Cerro Prieto a 180 MPPH; a DP mayores, los rendimientos se mantuvieron casi constantes (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 3.978 ton ha<sup>-1</sup> para Cerro Prieto y de 3.909 ton ha<sup>-1</sup> para Esperanza. Estos resultados concuerdan con los encontrados por McKenzie y col., (2005) que a altas DP, propició muy poca ganancia en rendimiento de grano y por otra parte, O'Donovan y col., (2008), observaron que al incrementar la densidad de plantas, los rendimientos de cebada no se vieron afectados.

*Trigo harinero*: Los rendimientos del grano para las dos variedades fueron casi idénticos, aumentando al incrementarse la DP hasta alcanzar un máximo con 120 y 180 MPPH para Rayón y Oasis, respectivamente, pero a mayores DP los rendimientos se mantuvieron constantes (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 6.092 y de 6.090 ton ha<sup>-1</sup> para Rayón y Oasis.

*Trigo duro*: La misma tendencia se observó en ambas variedades, incrementándose al aumentar la DP, con un rendimiento máximo de grano de alrededor de 7 ton ha<sup>-1</sup> con 210 MPPH para ambas variedades, a mayores DP los rendimientos se mantuvieron casi constantes (Tabla 1). Los rendimientos promedios fueron de 6.408 y de 6.274 ton ha<sup>-1</sup> para Altar y Aconchi. Gooding y col., (2002) encontraron también resultados similares, con in-

crementos asintóticos de rendimiento del grano de trigo conforme la cantidad de semilla se incrementó.

En general, el comportamiento del rendimiento de grano para las variedades de cada cultivo fueron similares, pero las diferencias entre cultivos fueron considerables (Fig. 1). Los rendimientos de grano se incrementaron al aumentar la DP hasta alcanzar un máximo a 150 MPPH para avena, 180 MPPH para cebada y de 210 MPPH para trigo harinero y trigo duro. A DP mayores, los rendimientos se mantuvieron casi constantes (cebada, trigo harinero y trigo duro) o decrecieron (avena). Los rendimientos promedio fueron de 3.481, 3.943, 6.091 y 6.341 ton ha<sup>-1</sup> para avena, cebada, trigo harinero y trigo duro (Fig. 1). La interacción entre Variedad y DP no fue significativa (0.05).

Para trigo, estos resultados concuerdan con los encontrados por Salazar y col., (1998), y Moreno-Ramos y col., (2005a), obteniendo los máximos rendimientos con DP de 150 a 240 MPPH, y a mayores DP, los rendimientos no fueron afectados. Sin embargo, estas DP corresponden a cerca de 8 a 10 kg de semilla ha<sup>-1</sup>. Obviamente, los mecanismos compensatorios consideran otros componentes de rendimiento como el número de granos por espiga y la densidad del grano.

### **Altura final**

*Avena*: De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 1, la altura se incrementó para las dos variedades hasta alcanzar un máximo para Baviácora a 150 MPPH y para Raramuri a 180 MPPH; después, a mayores DP, la altura dismi-

**Tabla 1.** Respuesta a cuatro cultivos de cereal a diferentes densidades de planta en el Noroeste de México

Cultivo	Varietal	DP x10 <sup>3</sup>	Grano ton ha <sup>-1</sup>	Altura cm	DG kg hL <sup>-1</sup>	HPP	EPMC
Avena	Baviácora	30	2.614	150	45	22	65
Avena	Baviácora	60	3.416	152	46	16	102
Avena	Baviácora	90	4.132	158	46	15	129
Avena	Baviácora	120	4.201	160	45	11	164
Avena	Baviácora	150	4.250	162	45	11	175
Avena	Baviácora	180	3.508	160	44	9	180
Avena	Baviácora	210	2.935	158	45	6	154
Avena	Baviácora	800	2.639	152	43	2	136
Avena	Raramuri	30	3.099	147	45	29	90
Avena	Raramuri	60	3.615	147	47	21	132
Avena	Raramuri	90	3.964	149	48	16	156
Avena	Raramuri	120	3.955	145	47	13	164
Avena	Raramuri	150	3.905	143	46	10	165
Avena	Raramuri	180	3.236	151	47	9	180
Avena	Raramuri	210	3.639	148	47	8	203
Avena	Raramuri	800	2.589	145	46	1	48
Cebada	Esperanza	30	2.429	85	54	32	96
Cebada	Esperanza	60	3.003	84	57	27	160
Cebada	Esperanza	90	3.647	80	58	23	207
Cebada	Esperanza	120	4.207	85	59	18	216
Cebada	Esperanza	150	4.478	83	59	17	255
Cebada	Esperanza	180	4.529	83	59	17	307
Cebada	Esperanza	210	4.461	80	59	14	305
Cebada	Esperanza	800	4.517	78	59	3	296
Cebada	Cerro Prieto	30	2.701	75	48	33	99
Cebada	Cerro Prieto	60	3.333	84	51	32	195
Cebada	Cerro Prieto	90	3.889	78	51	23	207
Cebada	Cerro Prieto	120	4.275	75	49	21	258
Cebada	Cerro Prieto	150	4.418	75	51	19	290
Cebada	Cerro Prieto	180	4.393	72	50	16	280
Cebada	Cerro Prieto	210	4.360	76	61	15	310
Cebada	Cerro Prieto	800	4.455	78	53	3	272
Trigo H.	Rayón	30	3.916	76	69	61	164

## Continuación de Tabla 1

Trigo H.	Rayón	60	5.578	77	71	40	212
Trigo H.	Rayón	90	6.332	78	75	30	236
Trigo H.	Rayón	120	6.658	79	75	23	238
Trigo H.	Rayón	150	6.582	83	75	21	324
Trigo H.	Rayón	180	6.654	85	77	17	331
Trigo H.	Rayón	210	6.584	85	77	16	298
Trigo H.	Rayón	800	6.529	86	77	3	338
Trigo H.	Oasis	30	4.055	59	73	81	216
Trigo H.	Oasis	60	5.610	60	75	50	262
Trigo H.	Oasis	90	6.275	60	76	34	272
Trigo H.	Oasis	120	6.525	60	77	27	358
Trigo H.	Oasis	150	6.501	61	78	23	368
Trigo H.	Oasis	180	6.550	61	78	18	368
Trigo H.	Oasis	210	6.610	61	78	16	368
Trigo H.	Oasis	800	6.596	63	78	3	385
Trigo D.	Altar	30	4.544	69	82	63	188
Trigo D.	Altar	60	5.822	71	83	38	230
Trigo D.	Altar	90	6.534	73	84	28	260
Trigo D.	Altar	120	6.723	75	83	22	270
Trigo D.	Altar	150	6.838	75	83	19	280
Trigo D.	Altar	180	6.949	76	83	16	280
Trigo D.	Altar	210	7.007	78	84	14	295
Trigo D.	Altar	800	6.850	81	83	3	305
Trigo D.	Aconchi	30	4.055	64	79	63	190
Trigo D.	Aconchi	60	5.543	65	81	38	231
Trigo D.	Aconchi	90	6.334	66	83	26	235
Trigo D.	Aconchi	120	6.650	68	83	20	270
Trigo D.	Aconchi	150	6.810	69	83	17	270
Trigo D.	Aconchi	180	6.880	69	83	15	270
Trigo D.	Aconchi	210	6.945	69	83	13	275
Trigo D.	Aconchi	800	6.975	70	84	3	280
DMS (0.05) Variedad			1	0.2	1	1	0.171
DP			3	0.6	3	2	0.245
Variedad x DP			4	0.8	5	3	0.485

DP = densidad de plantas. Grano = rendimiento de grano. Altura = altura final. DG = densidad de grano. HPP = hijuelos por planta. EPMC = espigas por metro cuadrado. H = harinero. D = duro.



nuyó gradualmente. La variedad Baviácora fue siempre más alta que Raramuri para todas las DP probadas, aunque la diferencia no fue significativa (Tabla 1). Los promedios de altura para Baviácora y Raramuri fueron de 157 y de 147 cm, respectivamente.

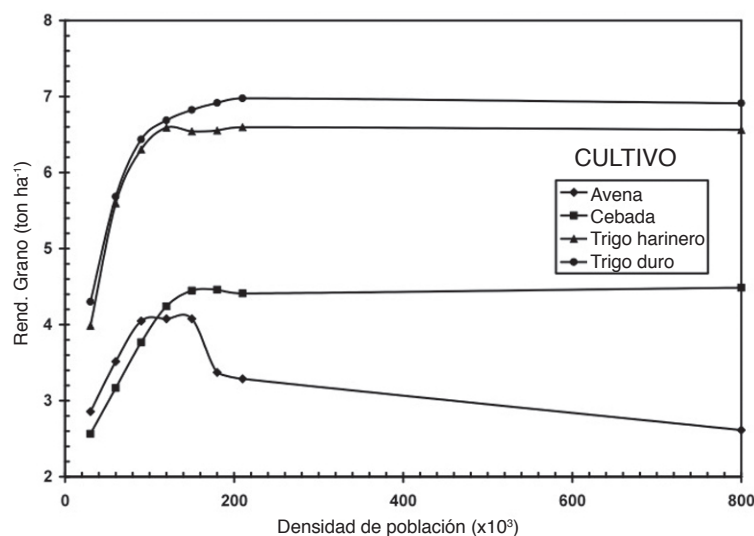
*Cebada:* A DP bajas, la altura de las variedades se incrementó hasta alcanzar un máximo con 60 MPPH para Cerro Prieto y 90 MPPH para Esperanza, después la altura decreció gradualmente, aunque la altura de Esperanza fue ligeramente mayor que la de Cerro Prieto, esta diferencia no fue significativa (Tabla 1). Las alturas promedio fueron de 82 cm para Esperanza y de 77 cm para Cerro Prieto.

*Trigo harinero:* La altura de las dos variedades se mantuvo casi constante a través de las DP probadas. La variedad Rayón tuvo mayor altura que Oasis para todas las DP (Tabla 1). Las alturas promedio para Rayón y Oasis fueron de 81 y de 61 cm, respectivamente.

*Trigo duro:* Al incrementarse la DP también se incrementó ligeramente la altura de las dos variedades hasta alcanzar el máximo con 210 MPPH, para después mantenerse casi constante. La variedad Altar fue más alta que Aconchi para todas las DP experimentales (Tabla 1). Las alturas promedio para Altar y Aconchi fueron de 75 y 68 cm, respectivamente.

En general, las diferencias de altura entre cultivos fue notoria, donde el más alto fue avena con

**Figura 1.** Rendimiento de grano de cuatro cultivos de cereales a diferentes densidades de plantas en el noroeste de México





un promedio de 152 cm, después cebada con 79 cm y trigo harinero y trigo duro con alturas promedio similares de 71 cm. Resultados similares para trigo fueron encontrados en la misma área geográfica por Moreno-Ramos y col. (2005a) y Rodríguez-Casas y col. (2005).

### **Peso hectolítrico**

*Avena:* El peso hectolítrico fue incrementándose conforme se incrementó la DP hasta alcanzar un máximo para las dos variedades con 90 MPPH, y después declinó gradualmente a mayores DP. El peso hectolítrico de Raramuri fue mayor que Baviácora a todas las DP (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 47 kg hL<sup>-1</sup> para Raramuri y de 45 kg hL<sup>-1</sup> para Baviácora.

*Cebada:* Hay un ligero incremento en el peso hectolítrico a DP bajas hasta alcanzar un máximo, Esperanza a 120 MPPH y Cerro Prieto a 210 MPPH. A DP mayores, el peso hectolítrico se mantiene constante o declina ligeramente (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 58 y 52 kg hL<sup>-1</sup> para Esperanza y Cerro Prieto. A DP altas, McKenzie y col., (2005) observaron una reducción en el tamaño del grano al incrementarse la DP.

*Trigo harinero:* Ambas variedades mostraron un marcado incremento en el peso hectolítrico a DP bajas, luego alcanzando el máximo, Oasis con 150 MPPH y Rayón con 180 MPPH; posteriormente, a mayores DP el peso hectolítrico se mantuvo casi constante. El peso hectolítrico fue mayor para Oasis que para Rayón a todos los niveles de DP (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 77 y 75 kg hL<sup>-1</sup> para Oasis y Rayón, respectivamente.

*Trigo duro:* Las dos variedades muestran también un marcado incremento en el peso hectolítrico a DP bajas, alcanzando un máximo a 90 MPPH; posteriormente, a mayores DP el valor se estabiliza (Tabla 1). Ambas variedades tuvieron valores muy similares y los promedios fueron de 83 kg hL<sup>-1</sup> para Altar y Aconchi.

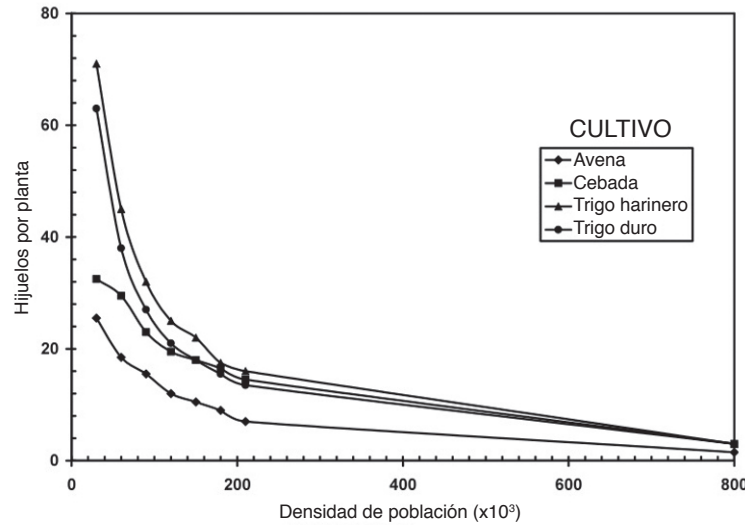
En general, los cuatro cultivos mostraron una tendencia muy similar, incrementándose el peso hectolítrico conforme se aumentó la DP, hasta alcanzar un máximo; posteriormente, el valor se mantuvo casi constante o disminuyó ligeramente. El peso hectolítrico promedio fueron de 83, 76, 55 y 46 kg hL<sup>-1</sup> para trigo duro, trigo harinero, cebada y avena. La interacción Variedad x DP no resultó significativa. Una respuesta similar para trigo fue encontrada por Moreno-Ramos y col. (2005b), pero Guberac y col, (2000) y Lloveras y col. (2004) encontraron que el peso del grano no fue afectado significativamente por la cantidad de semilla.

### **Hijuelos por planta**

*Avena:* El número de HPP disminuyó al aumentar la DP para las dos variedades y los valores fueron muy similares a través de las DP probadas (Tabla 1). El valor promedio para Baviácora fue de 12 HPP y para Raramuri de 13 HPP.

*Cebada:* Los valores del número de HPP siempre disminuyeron al aumentar la DP y los valores de las dos variedades fueron muy similares (Tabla 1). Los valores promedio fueron para Esperanza de 19 HPP y para Cerro Prieto de 20 HPP.

**Figura 2.** Número de hijuelos por planta de cuatro cultivos de cereales a diferentes densidades de plantas en el noroeste de México



*Trigo Harinero:* El número de HPP disminuyó al incrementarse la DP a una tasa muy similar para las dos variedades (Tabla 1). Los valores promedio para Oasis y Rayón fueron de 32 y 26 HPP.

*Trigo Duro:* El número de HPP disminuyó al incrementarse la DP. Las dos variedades tuvieron un comportamiento casi idéntico (Tabla 1). Los valores promedio fueron de 25 y 24 HPP para Altar y Aconchi, respectivamente.

En general, los cuatro cultivos siguieron una tendencia muy similar, disminuyendo el número de HPP a medida que aumentaba la DP (Figura 2). Los valores promedio fueron de 29, 25, 20 y 12 HPP para trigo harinero, trigo duro, cebada y avena, respectivamente. La interacción entre Variedad y DP fue significativa. Resultados muy similares para trigo fueron reportados por Moreno-Ramos y col. (2004; 2005a; 2005b) y Rodríguez-Casas y

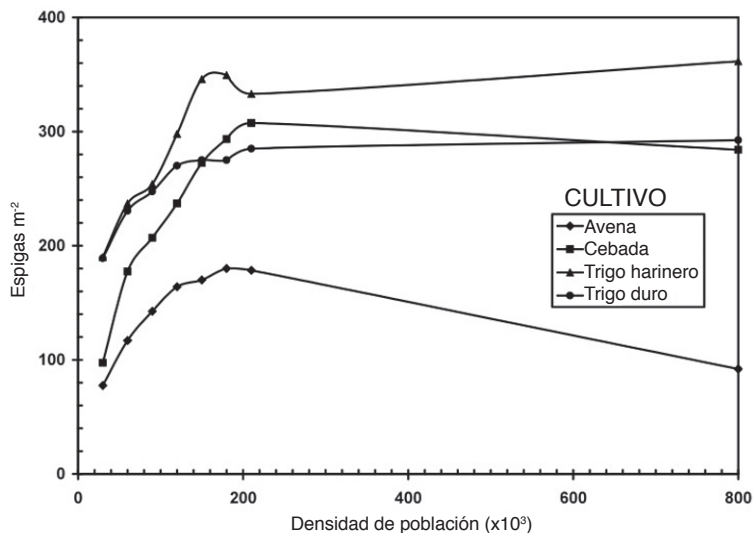
col. (2005). En general, de acuerdo con Gooding, y col. (2002), las plantas compensan las bajas DP aumentando la producción de HPP.

### Espigas por metro cuadrado

*Avena:* Las dos variedades tuvieron un marcado incremento en el número de EPMC, alcanzando un máximo con 180 MPPH para Baviácora y con 210 MPPH para Raramuri; luego, a mayores DP los valores se mantuvieron casi constantes (Baviácora) o disminuyeron gradualmente (Raramuri) (Tabla 1). Los valores promedio para Raramuri y Baviácora fueron de 142 y 138 EPMC.

*Cebada:* Las dos variedades tuvieron una tendencia muy similar, incrementándose rápidamente el número de EPMC al incrementarse la DP, hasta alcanzar un máximo para Esperanza y Cerro Prieto a 180 y 210 MPPH, a mayores DP los valores se mantuvieron casi constantes (Tabla 1). Los va-

**Figura 3.** Número de espigas por metro cuadrado de cuatro cultivos de cereales a diferentes densidades de plantas en el noroeste de México



lores promedio fueron para Cerro Prieto de 239 EPMC y para Esperanza de 230 EPMC.

*Trigo harinero:* Las dos variedades tuvieron una tendencia muy similar, incrementándose el número de EPMC al aumentar la DP hasta alcanzar un máximo, Oasis a las 150 MPPH y Rayón a las 180 MPPH, permaneciendo constantes a mayores DP. Oasis siempre tuvo valores mayores que Rayón para todas las DP (Tabla 1). Los valores promedio fueron para Oasis de 325 EPMC y para Rayón de 268 EPMC.

*Trigo duro:* Las dos variedades siguieron una tendencia muy similar, incrementándose el número de EPMC al aumentar la DP, alcanzando un máximo con 210 MPPH para ambas variedades (Altar y Aconchi), manteniéndose luego constantes a mayores DP (Tabla 1). Los valores promedio

fueron de 264 EPMC para Altar y de 253 EPMC para Aconchi.

Los cuatro cultivos siguieron una tendencia normal, incrementándose el número de EPMC conforme se incrementó la DP hasta alcanzar un máximo de 180 MPPH para avena y trigo harinero y de 210 MPPH para cebada y trigo duro; a DP mayores, los valores se mantuvieron casi constantes o decrecieron ligeramente (Fig. 3). Los valores promedios fueron de 296, 258, 245 y 140 EPMC para trigo harinero, trigo duro, cebada y avena, respectivamente. La interacción Variedad x DP no fue significativa. Para trigo, Moreno-Ramos y col, (2004; 2005a) y Rodríguez-Casas y col, (2005) observaron resultados muy similares. Lloveras y col. (2004) observaron que el número de EPMC se incrementó linealmente cuando se aumentó la cantidad de semilla.

### Análisis de regresión

De acuerdo con los datos, la importancia de las variables dependientes usadas para predecir la DP y el rendimiento de grano fue como sigue: altura de planta, número de HPP, número de EPMC, rendimiento de grano y densidad de grano. La altura de planta resultó la mejor variable dependiente debido a su capacidad predictora y a su fácil manejo, siendo elegida para determinar la DP óptima (DPO) que nos proporcionara el máximo rendimiento de grano, siendo el modelo final el siguiente:

$DPO=332-1.8^*$  (*altura de planta*), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.97.

### CONCLUSIONES

En general, podemos concluir que la función de producción fue similar entre variedades del mismo cultivo, y diferente entre cultivos. Sin embargo, esto no puede tomarse como una regla, aunque en este estudio particular, los datos se comportaron de esa manera para las variedades y los cultivos usados. El rendimiento de grano fue positivamente afectado por la DP, pero no fue modificado a DP mayores de 150-210 MPPH, lo cual corresponde aproximadamente a 8-10 kg de semilla ha<sup>-1</sup>. La DP óptima para el máximo rendimiento de grano para avena fue de 150 MPPH, 180 MPPH para cebada y de 210 MPPH para trigo harinero y trigo duro, bajo las condiciones prevalentes en el noroeste de México. Igualmente podemos concluir que la densidad de plantas óptima para el rendimiento de grano de estos cereales fue inversamente proporcional a la altura de la planta en el noroeste de México. La función para determinar

la DP óptima (DPO) para los cultivos probados, usando la altura de planta como la mejor variable predictora fue:

$DPO=332-1.8^*$  (*altura de planta*), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.97.

### REFERENCIAS

- Gooding, M.J., M.J. Pinyosinwat and R.H. Ellis. 2002. Responses of wheat grain yield and quality to seed rate. *J. Agr. Sci.* 138:317-331.
- Guberac, V., J. Martincic, S. Maric, M. Jurisic and V. Rozman. 2000. Grain yield components of winter wheat new cultivars in correlation with sowing rate. *Cereal Res. Comm.* 28:307-314.
- Lloveras, J., J. Manent, J. Viudas, A. López and P. Santiveri. 2004. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate. *Agron. J.* 96:1258-1265.
- McKenzie, R.H., A.B. Middleton, E. Bremer. 2005. fertilization, seeding date, and seeding rate for malting barley yield and quality in southern Alberta. *Can. J. Plant Sc.* 85:603-614.
- Meisner, C.A., E. Acevedo, D. Flores, K. Sayre, I. Ortiz M., D. Byerlee and A. Limon. 1992. Wheat production and grower practices in the Yaqui Valley. *Wheat Special Report No.6.* CIMMYT, El Batán, México.
- Moreno-Ramos, O.H., E. Valenzuela-Cornejo, A. González-Riande, K.D. Zayre, Ortíz-Monasterio, I. 1998. Tecnología de alta eficiencia para la producción de trigo. Folleto Técnico

- No. 28. SAGAR-INIFAP-CIRNO-CEVY. Cd. Obregón, Son. México.
- Moreno-Ramos, O.H., J.M. Salazar-Gómez y A. González-Riande. 1994. Tecnología de bajo costo para el sistema de producción trigo-soya en el noroeste de México. Folleto Técnico No. 23. SARH-INIFAP-CIRNO-CEVY. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Moreno-Ramos, O.H., J.M. Salazar-Gómez, M. de J. Cano-Avila, J.J. Duarte-Ramírez, A. González-Riande y M.A. Camacho-Casas. 1995. Los sistemas de cultivos en relevo, su uso en la agricultura empresarial del noroeste de México. Folleto Técnico No. 25. SARH-CIRNO-CEVY. Cd. Obregón, Son. México.
- Moreno-Ramos, O.H., J. Rodríguez-Casas, D. Johnson and T.L. Thompson. 2004. Wheat response to population density and bed spacing in northwest Mexico. *Cereal Res. Comm.* 32:273-279.
- Moreno-Ramos, O.H., J. Rodríguez-Casas, D. Johnson, E.P. Canseco-Vilchis, T.L. Thompson and J.M. Salazar-Gómez. 2005a. Irrigated wheat response to population density and number of rows per bed in northwest México. *Cereal Res. Comm.* 33:595-602.
- Moreno-Ramos, O.H., J. Rodríguez-Casas, D. Johnson, E.P. Canseco-Vilchis, T.L. Thompson and J.M. Salazar-Gómez. 2005b. Irrigated wheat response to population density and planting date in bed planting in northwest México. *Cereal Res. Comm.* 33:603-610.
- O'Donovan, J.T., G.W. Clayton, C.A. Grant, K.N. Harker, T.K. Turkington and N.Z. Lupwayi. 2008. Effect of nitrogen rate and placement and seeding rate on barley productivity and wild oat fecundity in a zero tillage system. *Crop Sci.* 48:1569-1574.
- Rodríguez-Casas, J., O.H. Moreno-Ramos, D. Johnson, E.P. Canseco-Vilchis, T.L. Thompson and J.M. Salazar-Gómez. 2005. Effect of population density and variety on irrigated wheat yield and components when grown on beds in northwest Mexico. *Cereal Res. Comm.* 33:611-618.
- Salazar, G.M., R.O. Moreno, M.R. Cruz and G.R. Salazar. 1998. Plant population density x sowing date interaction in wheat. *Cereal Res. Comm.* 26:225-232.
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT: User's Guide, Version 6, 4th. Ed. Vol. 1. SAS Inst., Cary, NC.
- Weisz, Randy. 2004. Small grain production guide. N.C. Coop. Ext. Service. N.C. State Univ. Raleigh, N.C.