

DETERMINACION DE LA DEMANDA NUTRIMENTAL DE NITROGENO EN BROCOLI (*Brassica oleracea italica*)

Yamil Cartagena^{1,2}, Arturo Galvis², Teresa Hernández³ y Gustavo Arévalo⁴

¹ Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-Ecuador). Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: yamilcet@yahoo.es

² Colegio de Postgraduados (CP-México), Instituto de Recursos Naturales.

³ Universidad Autónoma Chapingo (UACH-México), Departamento de Irrigación.

⁴ Universidad Autónoma Chapingo (UACH-México), Departamento de Suelos.

INTRODUCCION

En la actualidad las necesidades alimenticias para la población cada vez son mayores; esto ocasiona que se busquen nuevas tecnologías más eficientes que satisfagan la demanda de la población optimizando los recursos humanos, ambientales y agronómicos, pero que a la vez no induzcan un impacto negativo sobre el ambiente, como es el caso de la generación de recomendaciones de aplicación de fertilizantes químicos. Entre las metodologías disponibles para el citado propósito es el balance nutrimental, en el que se considera la dinámica nutrimental en el sistema suelo, planta y clima; cuantificando la demanda del cultivo, el suministro del suelo y la eficiencia de recuperación del fertilizante (Rodríguez, 1990).

El modelo conceptual, es el que permite estimar la dosis de fertilización requerida por los cultivos. Sus bases indican que para alcanzar un rendimiento en cierta condición agroecológica, se debe satisfacer un balance entre la demanda del nutriente y el suministro que se hace al suelo. Si la demanda de un nutriente es mayor que el contenido en el suelo, se producirá un déficit que es necesario suplir con la fertilización para el cultivo. Cuando la demanda es menor que el suministro, se aplicará una dosis para mantener la fertilidad del suelo y el rendimiento de un cultivo, con base en criterios agronómicos y experiencia regional (Rodríguez, 1990).

La metodología del balance nutrimental, parte de la base de que la necesidad de fertilización de un cultivo está dada por la demanda del nutriente que necesita, la cantidad de nutriente que suministra el suelo y la eficiencia del fertilizante aplicado (Etchevers *et al.*, 1991; Galvis, 1990; Rodríguez, 1990), según el modelo:

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Suministro del suelo}}{\text{Eficiencia de la recuperación del fertilizante}}$$

La ventaja de la metodología del balance nutrimental sobre otros enfoques como el de agrosistemas y análisis químico del suelo, es que requiere de menor experimentación de campo, es menos costoso y se llega a los resultados en corto plazo, lo que lo hace atractivo ante la escasez de recursos humanos, económicos y de tiempo (Beltrán *et al.*, 1996). De esta forma, tiene como objetivo principal establecer una estrategia de manejo integral agronómico de la fertilización que permita incrementar o en su caso mantener, el estado nutrimental del suelo en forma económica para una nutrición rentable de los cultivos sin afectar la sustentabilidad del sistema (Rodríguez *et al.*, 2001).

En el caso particular de la producción de brócoli, es una hortaliza de mayor importancia económica (FAOSTAT, 2009); por su acelerado incremento en las exportaciones en diversos países latinoamericanos, entre los que destaca México (327100 toneladas), Guatemala (53 mil toneladas) y Ecuador (48700 toneladas). Sin embargo, existen problemas en el uso eficiente de los nutrientes y en especial del nitrógeno, lo que ocasiona impactos negativos sobre los costos de producción, contaminación de los cuerpos de agua y mantos freáticos y afectación de los agrosistemas en general. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo generar en condiciones de campo el

requerimiento interno de nitrógeno en brócoli para cuantificar su demanda nutrimental, como uno de los componentes de la metodología del balance nutrimental del cálculo de las recomendaciones de fertilizantes.

MATERIALES Y METODOS

La investigación fue realizada en 2009, en el Laboratorio de Ingeniería de Riego del Campo Experimental Tlapeaxco de la Universidad Autónoma Chapingo, México; ubicado a 19° 28' 58" N y 98° 53' 27" O y a 2250 m.s.n.m. El clima es C(wo)(w)b, que corresponde a la categoría de templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 637 mm, temperatura media anual de 16°C, evaporación media anual de 1400 mm y humedad relativa media anual ligeramente superior al 60% (García, 2004). Las características físicas y químicas del suelo fueron: clase textural franco, pH 7.0, materia orgánica de 2%, fósforo 0.5 ppm, potasio 30.8 meq/100g y la conductividad eléctrica de 136.7 dSm⁻¹. Como material biológico se utilizó los híbridos de brócoli Avenger (Sakata, 2009) y Heritage (Semini, 2009).

En un diseño de parcela dividida en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y 12 tratamientos. Los tratamientos fueron resultado de dos factores: híbridos de brócoli (Avenger y Heritage) y dosis de nitrógeno, con niveles crecientes de 0, 50, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹; y un testigo absoluto, en el cual no se aplicó ningún nutriente (**Tabla 1**). La unidad experimental en cada tratamiento fue de 6 m de largo y 3 m de ancho, con una distancia entre surcos de 1.5 m y entre plantas de 0.3 m obteniéndose la densidad de 22000 plantas/hectárea. La aplicación del fertilizante químico se realizó manualmente y fraccionando el nitrógeno en tres aplicaciones: trasplante, 15 y 30 días después del trasplante y el fósforo se aplicó todo al momento del trasplante. La cosecha se realizó manualmente a los 100 días después del trasplante.

Tabla 1. Tratamientos en estudio.

Tratamientos N°	Identificación Combinación	Híbrido de brócoli	Dosis de nitrógeno kg ha ⁻¹
1	H1 D1	Avenger	Testigo absoluto
2	H1 D2	Avenger	0
3	H1 D3	Avenger	50
4	H1 D4	Avenger	150
5	H1 D5	Avenger	300
6	H1 D6	Avenger	450
7	H2 D1	Heritage	Testigo absoluto
8	H2 D2	Heritage	0
9	H2 D3	Heritage	50
10	H2 D4	Heritage	150
11	H2 D5	Heritage	300
12	H2 D6	Heritage	450

Las variables evaluadas fueron: peso fresco, peso seco y nitrógeno extraído en la biomasa aérea total; realizados en cinco muestreos a los 1, 25, 50, 75 y 100 días después del trasplante.

Para el peso fresco se tomó dos plantas completas de los dos surcos centrales y los resultados se expresaron en gramos/planta.

Para el peso seco, los materiales vegetales que se obtuvieron de cada muestreo, en el laboratorio se lavaron con agua corriente y posteriormente con agua destilada tres veces; se colocaron en fundas de papel perforadas y se secaron en una estufa con ventilación forzada a una temperatura de 65 °C, durante 48 horas o hasta obtener un peso constante. El peso seco se expresó en gramos/planta.

Posteriormente, se molieron en un molino de acero inoxidable y se guardaron en fundas de papel para el análisis nutricional.

La concentración de nitrógeno en cada una de las muestras tomadas, se determinó por el método de Semimicro-Kjeldahl modificado (Alcantar y Sandoval, 1999). Para determinar la cantidad de nitrógeno extraído, se multiplicó el peso de la biomasa aérea con el porcentaje de nitrógeno y se dividió para 100 y se expresaron en miligramos/planta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Peso fresco

El peso fresco de la biomasa aérea total no mostró diferencias significativas en los periodos de muestreo para los híbridos. Sin embargo, en las dosis de nitrógeno se observó diferencias en los muestreos a partir de los 50 días después del trasplante (**Tabla 2**). El peso fresco promedio de las inflorescencias en los dos híbridos fue de 568g planta⁻¹ y ajustados a una densidad de 22000 plantas por hectárea, se obtuvo un rendimiento de 12 t ha⁻¹, siendo bajo con respecto a lo reportado por Castellanos (1998).

Tabla 2. Análisis de la varianza para peso fresco de la biomasa aérea total de brócoli. 2009.

F. V.	G.L.	Cuadrados Medios										
		Días después del trasplante										
		1	25	50	75	100						
Total	47											
Bloques	3	0.004	ns	66.3	ns	5123.3	ns	203747.5	ns	391381.9	ns	
Híbridos	1	0.003	ns	286.5	ns	14.3	ns	66446.0	ns	612854.5	ns	
Error(a)	3	0.015		62.7		5354.0		226566.8		492840.8		
Dosis	5	0.001	ns	36.6	ns	22454.3	**	840035.0	**	1492483.3	**	
H x D	5	0.006	ns	18.3	ns	5064.0	ns	43499.1	ns	34645.2	ns	
Error(b)	30	0.004		16.2		3489.8		85496.0		273189.1		
C.V.(%)				13.7		17.9		23.2		25.5		26.3

NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$), ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$).

Se estimó el rendimiento de peso fresco utilizando una función cuadrática observándose un máximo para el híbrido Heritage con 2576 g planta⁻¹, mientras que el híbrido Avenger con 2245 g planta⁻¹ y para la inflorescencia en los dos híbridos se presentó un valor similar alrededor de 700g planta⁻¹. Los valores obtenidos de R²; fueron bajos debido a la variabilidad espacial de fertilidad del terreno entre las repeticiones (**Figuras 1 y 2**).

En la acumulación del peso fresco de la biomasa aérea total se observó una curva sigmoideal de crecimiento para los dos híbridos. Durante el inicio del ciclo de cultivo se apreciaron diferencias mínimas del peso fresco entre los dos híbridos pero se incrementó en el momento de la cosecha, siendo mayor para el híbrido Heritage con 232 g planta⁻¹ (**Tabla 3 y Figura 3**).

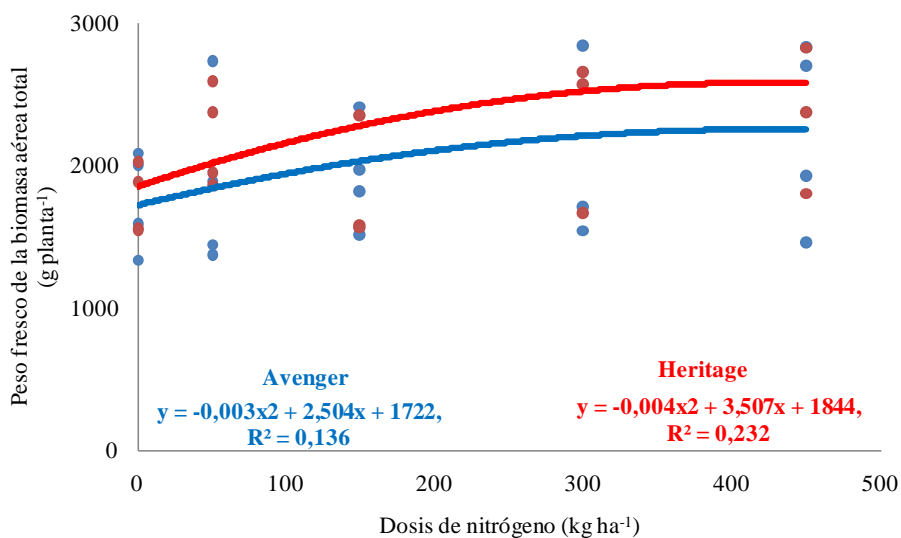


Figura 1. Efecto del nitrógeno en el peso fresco de la biomasa aérea total en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

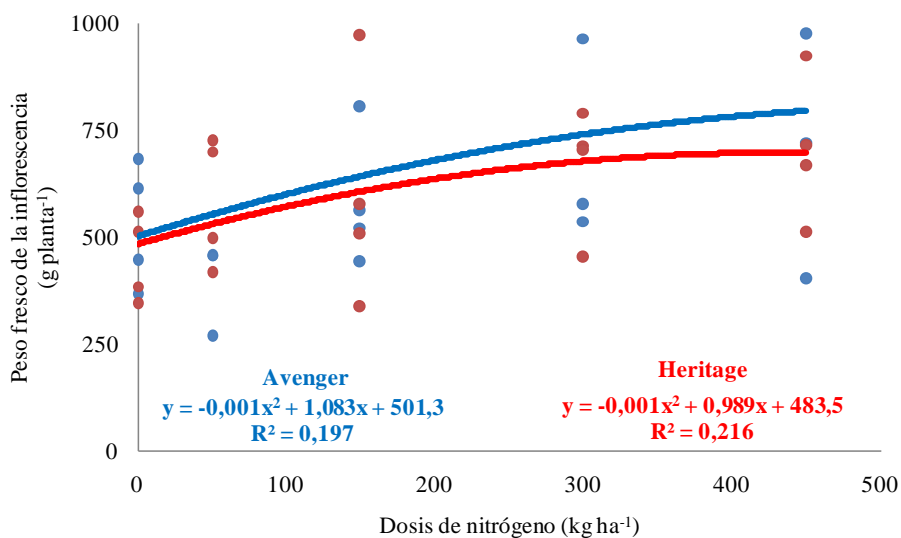


Figura 2. Efecto del nitrógeno en el peso fresco de la inflorescencia en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

Tabla 3. Función logística normal en la acumulación del peso fresco de la biomasa aérea total para los híbridos de brócoli.

Híbridos	Ecuación	Cuadrado Medio
Avenger	$y = \frac{2160.8}{1 + 677.8 * e^{(-0.0912 * x)}}$	37566.1
Heritage	$y = \frac{2633.2}{1 + 472.5 * e^{(-0.0791 * x)}}$	32521.1

x = Días después del trasplante, y = Peso fresco (g planta⁻¹).

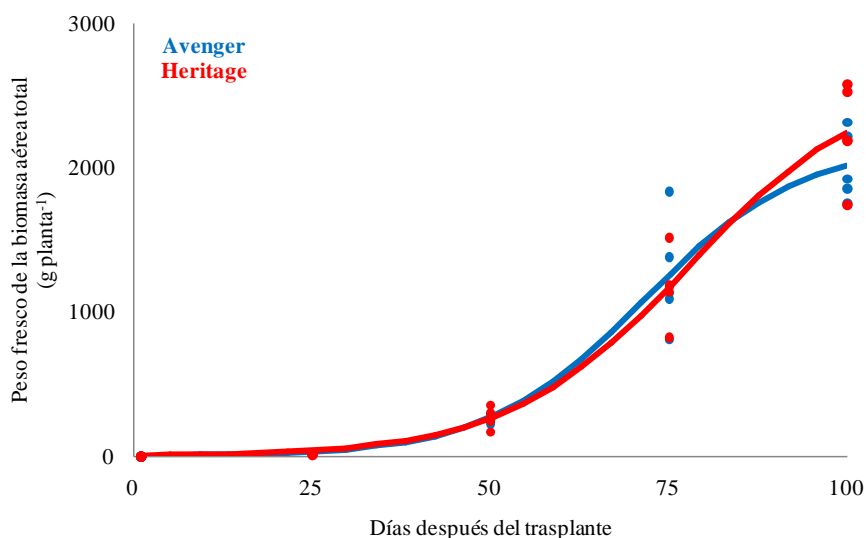


Figura 3. Acumulación del peso fresco de la biomasa aérea total en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

Peso seco

En el peso seco de la biomasa aérea total, no se observaron diferencias significativas para los híbridos y las combinaciones; pero existieron diferencias significativas para las dosis de nitrógeno desde los 25 días después del trasplante (**Tabla 4**). El rendimiento máximo estimado de peso seco se obtuvo con el híbrido Heritage con 319.8 g planta⁻¹, seguido del híbrido Avenger con 279.2 g planta⁻¹. El peso seco de la inflorescencia para el híbrido Avenger tuvo 92.6 g planta⁻¹ y el híbrido Heritage con 73.9 g planta⁻¹ (**Figuras 4 y 5**).

Tabla 4. Análisis de varianza para peso seco de la biomasa aérea total de brócoli.

F. V.	G.L.	Cuadrados Medios										
		Días después del trasplante										
		1	25	50	75	100						
Total	47											
Bloques	3	0.000004	ns	1.2	ns	66.6	ns	2485.2	ns	9966.3	ns	
Híbridos	1	0.000031	ns	4.3	ns	16.4	ns	1472.0	ns	4759.7	ns	
Error(a)	3	0.001495		0.4		73.1		1865.8		4303.1		
Dosis	5	0.000017	ns	0.4	*	226.6	*	6965.6	**	21021.5	**	
H x D	5	0.000033	ns	0.1	ns	75.0	ns	430.8	ns	421.8	ns	
Error(b)	30	0.000044		0.1		44.4		1084.7		3527.6		
C.V.(%)				13.7		16.8		22.5		24.2		23.7

NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$), ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$).

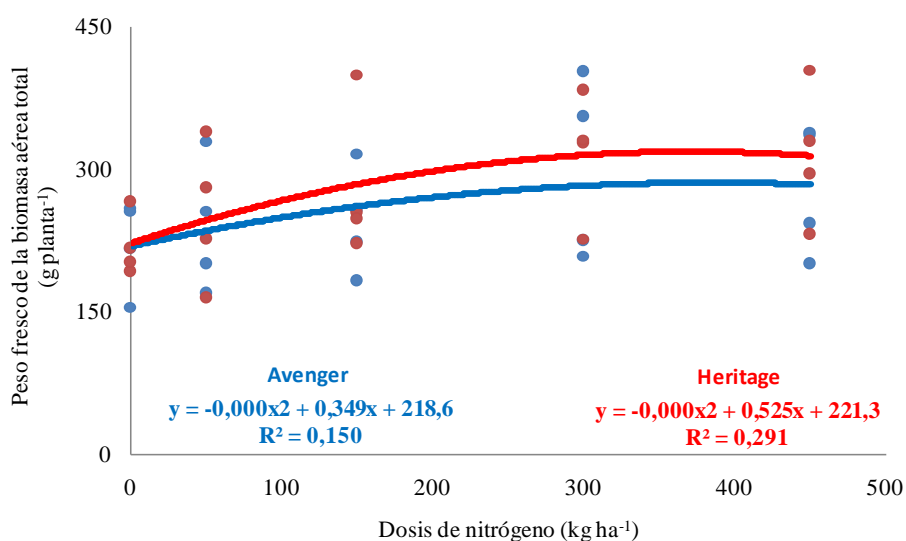


Figura 4. Efecto del nitrógeno en el peso seco de la biomasa aérea total en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

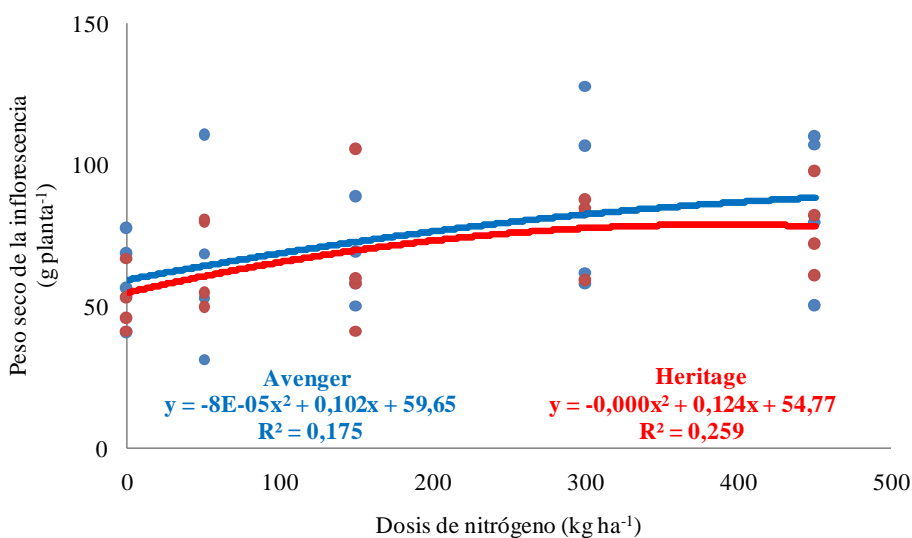


Figura 5. Efecto del nitrógeno en el peso seco de la inflorescencia en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

Se evaluó la acumulación del peso seco en la biomasa aérea total, desde el trasplante hasta la cosecha, y con esta información se modeló utilizando una función logística normal, representándose como una curva típica sigmoideal para los híbridos Avenger y Heritage. La fase inicial presentó un incremento lineal en apariencia bajo, que duró hasta los 45 días después del trasplante; en esta fase requirió agua y nutrientes, siendo el periodo adecuado para la aplicación de los fertilizantes químicos. La siguiente fase también obtuvo un incremento lineal entre los 45 a 90 días después del trasplante y es cuando la planta consumió grandes cantidades de agua y nutrientes. La fase final ocurrió alrededor de los 90 a 100 días después del trasplante disminuyendo el incremento de peso seco, indicando el proceso de maduración de la planta.

El periodo de evaluación llegó hasta los 100 días después del trasplante, momento en que la planta todavía presentó una alta acumulación de peso seco. El máximo crecimiento de peso seco estimado se ubicó alrededor del punto de inflexión comprendido para el híbrido Avenger con 256 g planta⁻¹ y para el híbrido Heritage a los 276 g planta⁻¹, siendo relativamente similares estos valores (**Tabla 5** y **Figura 6**).

Tabla 5. Función logística normal en la acumulación del peso seco de la biomasa aérea total para los híbridos de brócoli.

Híbridos	Ecuación	Cuadrado Medio
Avenger	$y = \frac{282.6}{1 + 625.3 * e^{(-0.0871 * x)}}$	416.7
Heritage	$y = \frac{332.4}{1 + 516.9 * e^{(-0.0784 * x)}}$	420.2

x = Días después del trasplante, y = Peso seco (g planta⁻¹).

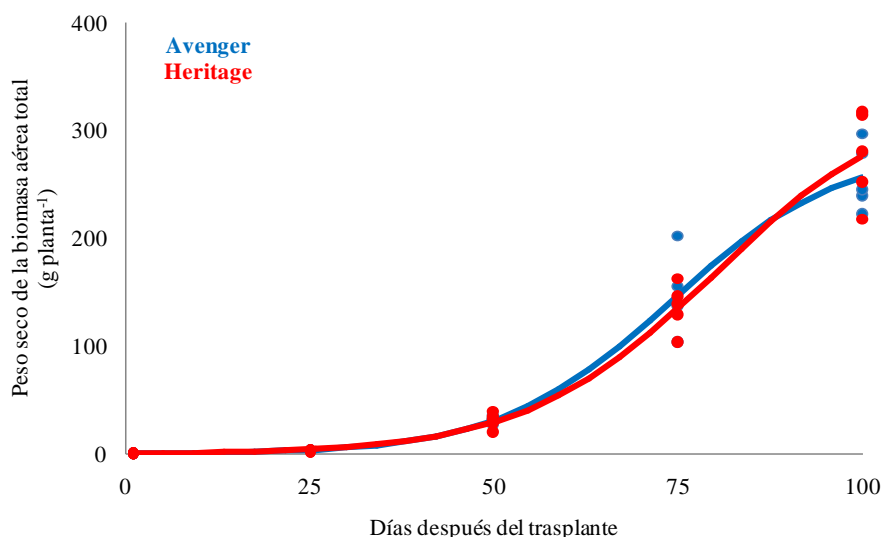


Figura 6. Acumulación del peso seco de la biomasa aérea total en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

Nitrógeno extraído

En el caso del nitrógeno extraído de la biomasa aérea total, no se presentaron diferencias significativas para los híbridos y las combinaciones; pero si se observaron diferencias significativas para las dosis de nitrógeno desde los 25 días después del trasplante (**Tabla 6**). El contenido máximo de nitrógeno extraído fue para el híbrido Heritage (14972 mg planta⁻¹) y luego el híbrido Avenger (13248 mg planta⁻¹). Para la inflorescencia el híbrido Avenger con 2651 mg planta⁻¹ y el híbrido Heritage con 2416 mg planta⁻¹ siendo muy similares estos valores (**Figuras 7 y 8**).

Tabla 6. Análisis de varianza para nitrógeno extraído en la biomasa aérea total de brócoli.

F. V.	G.L.	Cuadrados Medios									
		Días después del trasplante									
		1		25		50		75		100	
Total	47										
Bloques	3	0.15	ns	4880.6	ns	86973.7	ns	3102908.1	ns	26689217.1	ns
Híbridos	1	5.0.4	ns	9271.1	ns	543.5	ns	1040265.3	ns	17422757.6	ns
Error(a)	3	1.47		2001.8		40639.0		1326266.1		12032705.4	
Dosis	5	0.07	ns	1951.2	*	413728.8	**	5295272.4	**	46335237.6	**
H x D	5	0.05	ns	1010.5	ns	87653.0	ns	730120.4	ns	1255880.3	ns
Error(b)	30	0.05		735.5		49376.0		765993.4		10602787.7	
C.V.(%)		13.4		22.4		26.4		31.0		27.8	

NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$), ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$).

I = Inflorescencia.

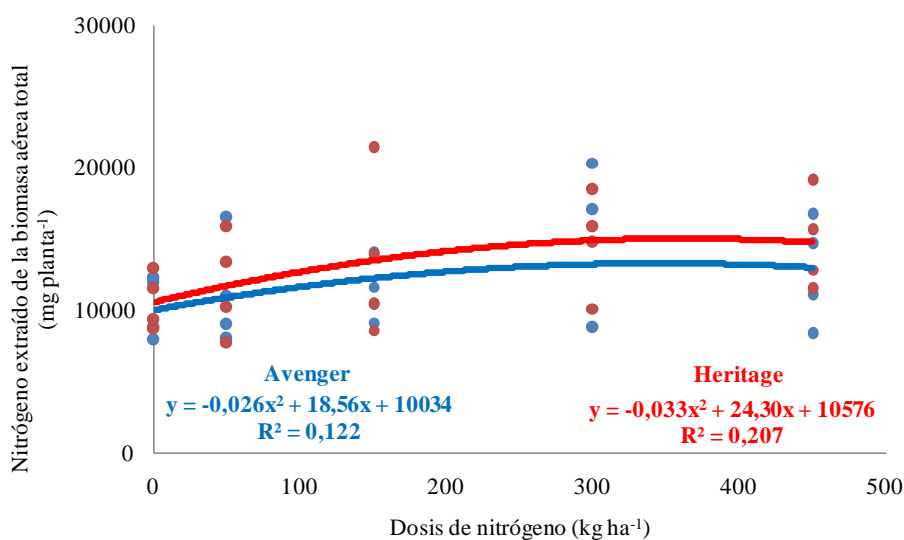


Figura 7. Efecto de las dosis de nitrógeno en el nitrógeno extraído de la biomasa aérea total para los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

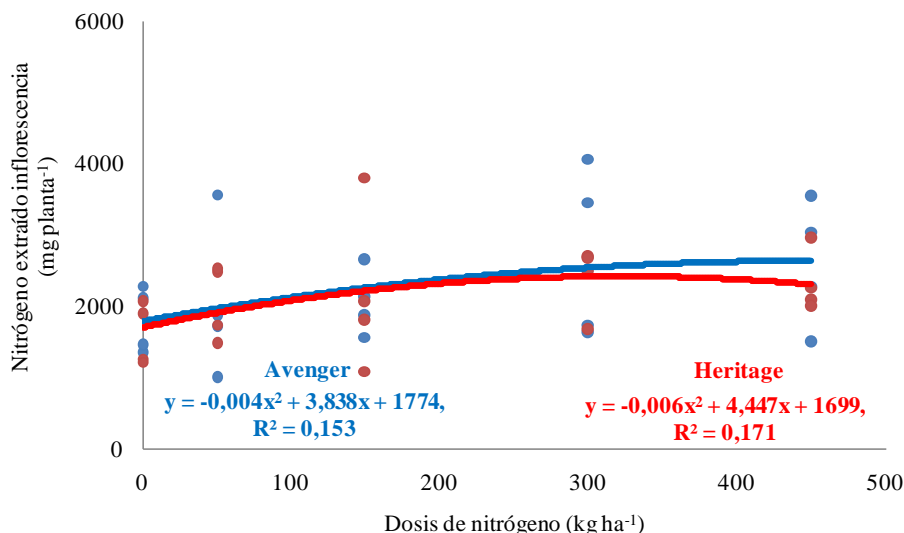


Figura 8. Efecto de las dosis de nitrógeno en el nitrógeno extraído de la inflorescencia de los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

La acumulación de nitrógeno extraído en el peso seco de la biomasa aérea total no representó una curva típica sigmoideal en los dos híbridos en estudio. Presentándose las dos fases, una fase lineal hasta los 50 días después del trasplante y otra fase logarítmica desde los 50 hasta los 100 días después del trasplante. La máxima acumulación de nitrógeno extraído se obtuvo para el híbrido Heritage con 13086 mg planta⁻¹ y luego el híbrido Heritage con 11830 mg planta⁻¹, alrededor de los 100 días después del trasplante (**Tabla 7** y **Figura 9**).

Tabla 7. Función logística normal para la acumulación del nitrógeno extraído de la biomasa aérea total para los híbridos de brócoli.

Híbridos	Ecuación	Cuadrado Medio
Avenger	$y = \frac{2469200000}{1 + 43518174 * e^{(-0.0534 * x)}}$	625186
Heritage	$y = \frac{399420000}{1 + 12069447 * e^{(-0.0598 * x)}}$	694643

x = Días después del trasplante, y = Nitrógeno extraído (mg planta⁻¹).

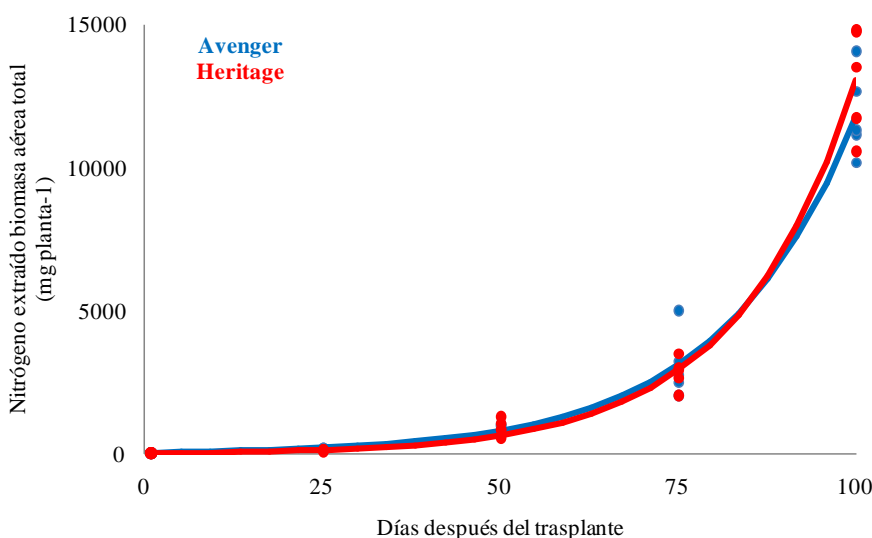


Figura 9. Acumulación del nitrógeno extraído de la biomasa aérea total en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

El mayor rendimiento de la inflorescencia de brócoli, se presentó con la dosis de 300 kg de nitrógeno aplicado, con la cual el híbrido Avenger obtuvo 17.7 t ha⁻¹, mientras que para el híbrido Heritage con 14.6 t ha⁻¹. El requerimiento interno de nitrógeno, en el híbrido Avenger fue 309 kg ha⁻¹ y en el híbrido Heritage fue 325 kg ha⁻¹, valores que no se diferencian estadísticamente a pesar de tener diferente productividad (**Figuras 10 y 11**).

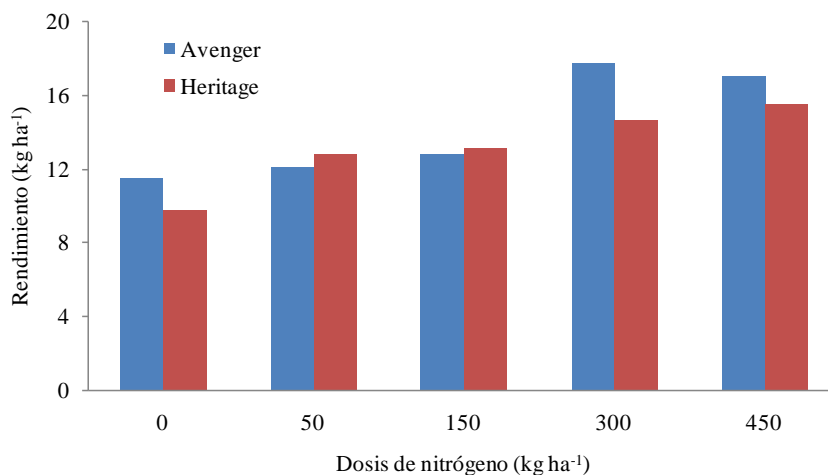


Figura 10. Efecto de las dosis de nitrógeno en el rendimiento de la inflorescencia en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

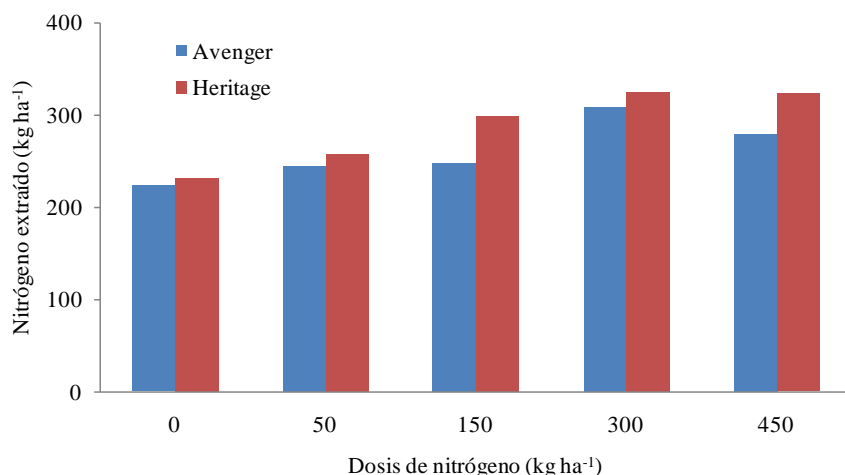


Figura 11. Efecto de las dosis de nitrógeno en el nitrógeno extraído en los híbridos de brócoli Avenger y Heritage.

CONCLUSIONES

- ✓ La cantidad de nitrógeno extraído está directamente asociado con la producción del peso seco hasta alcanzar su rendimiento máximo, y es independiente del tipo de híbrido de brócoli.
- ✓ El requerimiento interno de nitrógeno fue igual en los dos híbridos de brócoli a pesar de obtenerse diferentes rendimientos.
- ✓ La producción de la biomasa aérea total de peso fresco, peso seco y nitrógeno extraído es mayor en el híbrido Heritage, comparado con el híbrido Avenger. Sin embargo, se observó una respuesta diferente con el producto económico, donde la producción del híbrido Avenger fue superior que la del híbrido Heritage.
- ✓ Los rendimientos máximos de brócoli de peso fresco, peso seco y nitrógeno extraído en la biomasa aérea total en los dos híbridos estudiados, se obtuvieron con la dosis de 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno; con producciones de la inflorescencia de 17.7 t ha⁻¹ en el híbrido Avenger y 14.6 t ha⁻¹ en el híbrido Heritage.
- ✓ La aplicación de la fertilización química se debe realizar hasta los 45 días después del trasplante, debido a que presenta el mayor incremento de peso fresco y seco en los dos híbridos estudiados.

RECOMENDACIONES

- ✓ Continuar con la investigación en diferentes épocas de trasplante y localidades productoras de brócoli.
- ✓ Realizar investigaciones utilizando la metodología del balance nutrimental para generar información de la oferta y eficiencia de fertilización química en el cultivo de brócoli.

BIBLIOGRAFIA

- Alcántar, G.G. y M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico vegetal. Publicación especial 10. Sociedad mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Beltrán, R., V. Volke, y R. Núñez. 1996. Un modelo de balance nutrimental para generar recomendaciones de fertilización para arroz en suelos de Cuba. Serie Cuadernos de Edafología 26. Montecillos, México.
- Castellanos, J.Z. 1998. El seguimiento de la nutrición del brócoli en los sistemas de fertirrigación. Plantaciones modernas. AGROSEM año 3, 1: 137-152. México, México. DF.
- Etchevers, B., J. Rodríguez, y A. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistemático racional. Terra 9(1):3-10.
- Galvis, A. 1990. Validación de las normas de fertilización para maíz generadas con un modelo simplificado, con las obtenidas en la experimentación de campo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Quinta edición. Universidad Autónoma de México, México. DF.
- FAO STAT. 2009. Agriculture Statistics.
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Rodríguez, S.J. 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. 1ª edición. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Rodríguez, J., D. Pinochet, y F. Matus. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago-Talca- Valdivia. I.S.B.N.: 956-288-880-0.
- SAKATA. 2009. Sakata seed México. Catálogo de hortalizas.
<http://www.sakata.com/paginas/avenger.htm>.
http://www.sakata.com/uploads/catalog_pdfs/vegetable/vegcatalog_spanish.pdf.
- SEMINIS. 2009. Seminis México. Lista de productos.
http://www.seminis.com.mx/productos/brocoli/brocoli_heritage.asp.