



## PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE MAÍZ EN DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA

### *HYDROPONIC CORN FODDER PRODUCTION AT DIFFERENT SEEDING DENSITIES*

Domingo Daniel Ocampos Chavez<sup>1</sup>, Wilfrido Daniel Lugo Pereira<sup>2</sup> y Rubén Alejandro Ovelar Centurión<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción, Paraguay.

<sup>2</sup> Profesor, Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias, Concepción Paraguay.

\*Autor por correspondencia: [raovelar@hotmail.com](mailto:raovelar@hotmail.com)

### RESUMEN

El trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la producción de forraje verde hidropónico con diferentes densidades de siembra. El experimento se llevó a cabo en la Granja Didáctica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNC, situada a la altura del km 2 de la ruta V Gral. Bernardino Caballero, durante el periodo comprendido entre octubre y noviembre del 2017. Se utilizaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental constituida por una pista de 1 m<sup>2</sup>. Los tratamientos fueron en el diseño completamente al azar, los cuales consistieron en la utilización de diferentes densidades de siembra en la producción de forraje verde hidropónico de maíz. Las densidades utilizadas fueron T1: 2,2 T2: 3,2 T3: 4,2 T4: 5,2 y T5: 6,2 kg/m<sup>2</sup> de semilla. Las determinaciones fueron altura, diámetro del tallo, masa verde y seca de hojas/tallos, rendimiento y proteína bruta. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza y las medias comparadas por el test de Tukey al 5%. En el análisis de la comparación de medias se muestra que en la determinación altura de las plantas y masa seca de hoja/tallo solo se obtuvieron diferencias a nivel agronómico, en las otras determinaciones como diámetro del tallo, masa verde hojas tallos y rendimiento de biomasa total se obtuvieron diferencias estadísticas. Para la biomasa se obtuvo el mejor resultado con el T3 con 5.013 g/kg de semilla utilizado. Concluyendo que la mejor densidad para la producción de forraje hidropónico de maíz es de 4,2 kg/m<sup>2</sup> de semilla.

**Palabras clave:** forraje verde hidropónico, densidades, maíz.

### ABSTRACT

The work was carried out with the objective of studying the production of hydroponic fodder at different seeding densities. The experiment was carried out at the Didactic Farm of the Faculty of Agricultural Sciences of the UNC, located at km 2 of Route V Gral. Bernardino Caballero, during the period from October to November 2017. Five treatments with four replications were used, being the experimental unit constituted by a 1 m<sup>2</sup> track. The treatments were in completely randomized design, which consisted of the use of different planting densities in the production of hydroponic green forage of corn. The densities used were T1: 2.2 T2: 3.2 T3: 4.2 T4: 5.2 and T5: 6.2 kg/m<sup>2</sup> of seed. The determinations were height, stem diameter, green and dry leaf/stem mass, yield and crude protein. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey's test at 5%. The analysis of the comparison of means shows that in the determination of plant height and dry mass of leaf/stem only differences were obtained at the agronomic level, in the other determinations such as stem diameter, green mass of stem leaves and total biomass yield, statistical differences were obtained. For biomass, the best result was obtained with T3 with 5,013 g per kg of seed used. It was concluded that the best density for the production of hydroponic corn forage is 4.2 kg/m<sup>2</sup> of seed.

**Keywords:** hydroponic fodder, densities, corn.

## INTRODUCCIÓN

La técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. En la actualidad, a través del mundo hay más de 40 mil hectáreas de invernadero bajo el sistema de hidroponía, cifra que se incrementa rápidamente (FAO, 2002).

El cambio climático, la inundación de los terrenos por exceso de precipitaciones, limita por períodos prolongados la disponibilidad de pasto, causando en general alta mortalidad, pérdidas de peso vivo y producción, en los animales (FAO, 2002).

La necesidad de obtener una cobertura rápida del suelo es una consideración importante para decidir las densidades de siembra, pues no se debe olvidar que el rendimiento de forrajes, está determinado en forma más directa por la densidad. Cuanto antes se alcance el área foliar apropiada, tanto más propicias serán las condiciones de la pastura a fin de explotar al máximo la energía disponible, logrando así niveles más altos de materia seca (Poehlman, 1986).

Una alternativa tecnológica que parece llenar los requisitos antes señalados y que ha sido probada con éxito en otras partes del mundo lo es sin duda la producción de forraje verde hidropónico, germinados o brotes (Sánchez et al., 1992).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue del tipo experimental cuantitativo. El experimento se realizó en la Granja Didáctica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNC, situado a la altura del km 2 de la ruta v Gral. Bernardino Caballero, durante el periodo comprendido entre octubre y noviembre del 2017.

El tipo climático de la zona se caracteriza por presentar una temperatura promedio de 26°C y 14°C con máximas que pueden llegar 45°C en estaciones de verano y mínimas de hasta 4°C en estaciones de invierno, con leves incidencias de heladas. La precipitación media anual es de 1400 mm (DINAC, 2018).

El diseño utilizado fue completamente al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Las bandejas hechas de cemento tenían una dimensión de 1 m<sup>2</sup>, conformando un área experimental de 20 m<sup>2</sup>. Los tratamientos consistieron en utilizar diferentes densidades de siembra por m<sup>2</sup>. El trabajo se realizó en una pista de concreto con una profundidad de 5 cm y con declive de 10%, en esta área se constituyeron las 20 bandejas y la distancia entre las mismas fue

de 20 cm. Estas bandejas se cubrieron con pasto seco con el fin de mantener la humedad.

Para la instalación del experimento, primero se realizó el pesaje y selección de las semillas, se hizo una selección manual de las semillas para eliminar todas aquellas que estaban en mal estado (semillas partidas) y cuerpos extraños con la ayuda de una zaranda número 7, se realizó un prelavado de las semillas con agua, después se lavaron y se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 1%, y se sumergieron en agua por un periodo de 24 horas.

Transcurrido el tiempo, las semillas se colocaron sobre bolsas limpias extendidas para arearlos por 1 hora y después se volvieron a colocar en agua por un lapso de 24 horas. En la bandeja se colocó primero pasto seco y luego las semillas, posterior a eso se volvió a colocar pasto seco para tapar las semillas dándole un poco de oscuridad para germinar y para la retención de humedad. Se realizó el riego en forma manual dos veces al día dependiendo del clima. La cosecha se realizó a los 15 días después de la siembra, para el experimento se utilizaron semillas de la variedad tupi pytã.

Se evaluaron los siguientes parámetros:

**Altura de planta:** se seleccionaron 10 plantas al azar de cada tratamiento, se utilizó una cinta métrica para medir la altura de las plántulas a los 15 días previamente a la cosecha desde la apertura del cuello hasta el ápice de las plantas.

**Diámetro del tallo:** se utilizaron las plantas que fueron medidas para determinar la altura, en este caso se midió con un paquímetro digital en la apertura del cuello y fue expresado en mm.pl<sup>-1</sup>.

**Rendimiento:** se realizó la cosecha del total de las plantas emergidas en las bandejas, se pesó la biomasa fresca y después se dejó 72 horas en el galpón para el secado, a continuación, fueron pesadas con la ayuda de una balanza electrónica para la obtención del rendimiento.

**Relación de hoja/tallo:** posteriormente del pesaje de masa fresca se cortaron a la altura del cuello del tallo por encima de la raíz para determinar el pesaje de las hojas y tallos respectivamente para obtener el rendimiento de masa verde y masa seca.

**Proteína Bruta:** se utilizó para cada muestra 500 g de forraje para realizar el análisis en el laboratorio de la FCV-UNA.

Todos los datos fueron estudiados y evaluados estadísticamente, para el efecto se recurrió al análisis de varianza (ANAVA), para verificar si existe o no diferencia significativa entre los tratamientos y las medias que

presentaron diferencias significativas fueron comparadas entre sí con el test de Tukey al 5% de probabilidad para categorizar los tratamientos en estudio y el análisis de regresión entre los rendimientos adquiridos para obtener la dosis recomendada.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Altura de la planta

El análisis estadístico realizado para la determinación de altura demuestra que no hubo diferencias significativas, agrónomicamente el mejor resultado lo obtuvo el tratamiento T5 con 58 cm, con un promedio general de 56,10 cm (Tabla 1).

**Tabla 1.** Altura de la planta afectada por diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

Trat.	Densidad de siembra (kg/m <sup>2</sup> )	Altura de planta (cm) <sup>NS</sup>
T5	6,2	58,0 a
T3	4,2	57,8 a
T4	5,2	56,0 a
T1	2,2	55,5 a
T2	3,2	53,3 a
MG:		56,1
CV (%):		6,38
DMS:		3,58

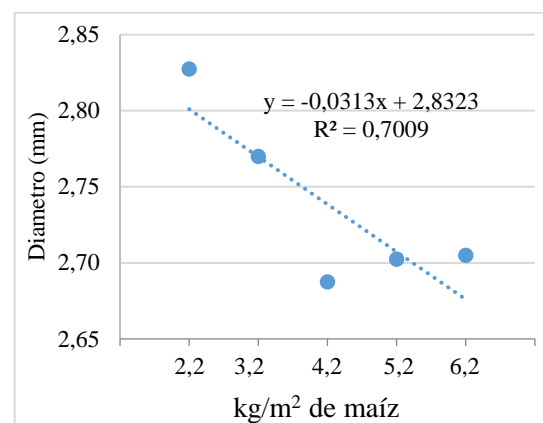
Las medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí en el test de Tukey al 5%. NS: No significativo. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación. DMS: Desviación media estándar.

El menor valor obtenido fue el T2 con 53,3 cm, realizando la comparación con el mejor tratamiento, que es el T5 con 58 cm, resultados muy superiores a los anteriores tratamientos.

Valores inferiores fueron reportados por Rivera et al. (2010), quienes obtuvieron medias de 28,5 cm de altura; igualmente FAO (2002), Rodríguez et al. (2012) y Vargas (2008), reportaron alturas inferiores de 19,5 cm en promedio, a los 8 días con 20 cm y a los 10 días con 22 cm, respectivamente.

### Diámetro del tallo

En la figura 1 se presenta el análisis de regresión efectuado, en donde se generó la ecuación lineal negativa, es decir, la densidad menor obtuvo mejor diámetro de tallo de la planta de maíz, porque cuando la densidad poblacional es baja hay mayor espacio entre plántulas desarrollando más el diámetro.



**Figura 1.** Análisis de regresión del diámetro con diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

El análisis numérico demuestra que el T1 presentó agrónomicamente mejor resultado con 2,83 mm por tallo, con una media general de 2,73 mm, lo que expresa que las densidades utilizadas afectaron en forma significativa en la determinación. El tratamiento con menor resultado fue el T3 con 2,69 mm, realizando la comparación con el mejor tratamiento, la diferencia es de 0,14 mm.

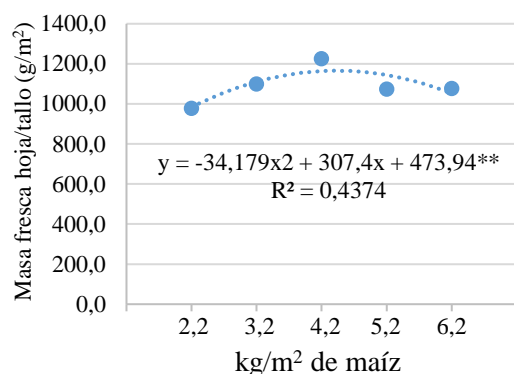
Cantarero (2002), trabajando con fertilización mineral en el cultivo de maíz en condiciones de cultivo en suelo encontraron la media de 5,5 mm de diámetro de tallo a los 16 días después de la siembra; los resultados obtenidos en el presente estudio no concuerdan con los autores mencionados, dado que se obtuvo menor valor con 2,83 mm de diámetro a los 15 días después de la siembra, pero en condiciones diferentes donde el sustrato es diferente.

### Masa verde y seca de hojas/tallos

En la figura 2 se presenta el análisis de regresión efectuado, en donde se generó la ecuación cuadrática significativa. La relación entre las densidades de siembra y el rendimiento de masa fresca de hojas/tallos, donde se nota que llegó a un punto máximo en la cual aplicando densidades mayores ya decae, entonces, excediendo la densidad recomendada en este trabajo el efecto será adverso a lo que el productor desea.

En las determinaciones evaluadas se puede demostrar que hubo diferencias significativas a nivel estadístico, el T3 con 4,2 kg/m<sup>2</sup> de semilla es el mejor resultado con 1225 g/kg de maíz, para ambas determinaciones son los que mejores resultados obtuvieron, donde aumentó positivamente la cantidad de masa verde en

comparación con los demás tratamientos, para la masa verde de hojas/tallos se encontró una media general de 1.090,4 g/kg de maíz.



**Figura 2.** Curva ajustada de la masa verde de hoja/tallo con diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

El menor valor obtenido para la masa verde es el T1 con 2,2 kg/m² de semilla con 978,4 g/kg de maíz.

A continuación, se puede observar los resultados de la masa seca en la tabla 2, en donde se denota la no diferencia significativa a nivel estadístico.

**Tabla 2.** Masa seca de hojas/tallos con diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

Trat.	Densidad de siembra (kg/m²)	Masa seca de hoja/tallo (g/kg) <sup>NS</sup>
T <sub>3</sub>	4,2	113,8 a
T <sub>2</sub>	3,2	111,5 a
T <sub>5</sub>	6,2	107,9 a
T <sub>4</sub>	5,2	104,4 a
T <sub>1</sub>	2,2	100,7 a
MG:		107,6
CV%:		6,39
DMS:		6,88

Las medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí en el test de Tukey al 5%. NS: No significativo. MG: Media general. CV: Coeficiente de variación. DMS: Desviación media estándar.

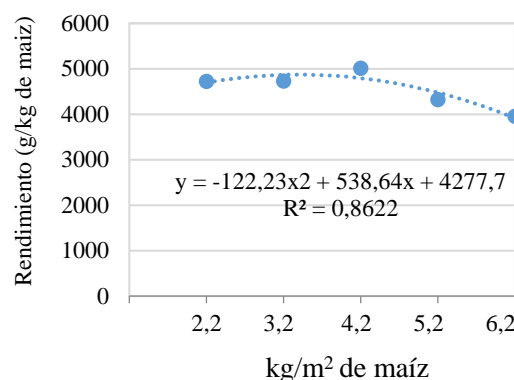
El mejor resultado se obtuvo con el T3 con un valor de 113,8 g/kg de maíz utilizado con un porcentaje de 9,2 % y el T1 fue el menor con 100,7 g/kg de maíz con una diferencia entre ellos de 13,1 gramos de MS con un porcentaje de 10,3 %.

Gavilán (2017), trabajando con fertilización mineral obtuvo un rendimiento de masa verde de 1,357 g/kg de maíz, y para la masa seca

obtuvo 341 g/kg de semillas, pero realizando la cosecha a los 22 días, en el presente trabajo se obtuvieron resultados inferiores, ya que la cosecha se realizó a los 15 días y sin ninguna fertilización. Esto concuerda con Teixeira (2009), quien concluyó que, con la edad de cosecha de la planta, se incrementa la masa verde y masa seca.

### Rendimiento de biomasa total

En la figura 3 se presenta el análisis de regresión efectuado, en donde se generó la ecuación cuadrática. La relación entre las densidades de siembra y el rendimiento de la biomasa total llegó a un punto de máximo a partir del cual, aplicando densidades mayores, decrece. Esto permite asumir que, aplicando o aumentando la densidad de siembra recomendada tendrá un efecto adverso a lo que el productor desea.



**Figura 3.** Curva ajustada del rendimiento de biomasa total de forraje con diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

Se observan diferencias significativas a nivel estadístico entre los tratamientos evaluados. El T3 con 4,2 kg de semilla/m² fue el que mejor resultado obtuvo en forma agronómica, con un total de 5.013 g/kg de maíz.

Y el tratamiento que tuvo menor valor en cuanto a rendimiento es el T5 con 6,2 kg/m² de semilla, con 3957,46 g/kg de maíz utilizado, teniendo una diferencia con el mejor de 1055,64 g/kg de maíz.

De acuerdo con Tarrillo (2007) y Elizondo (2005), se puede obtener de 1 kg de semilla 6 a 9 kg de biomasa; sin embargo, en este trabajo no se logró alcanzar esos rendimientos; no obstante, coincide con lo establecido por Valdivia (1997), Sneath y McIntosh (2003), quienes indican que se puede considerar un buen rendimiento en forrajes bajo sistemas

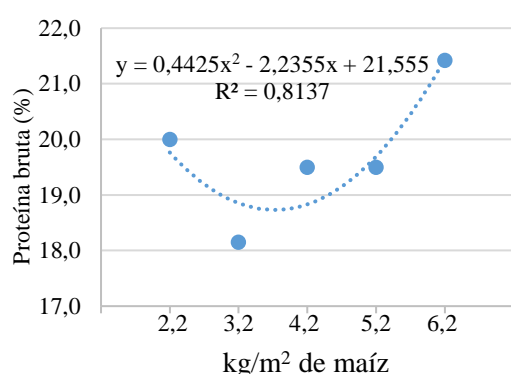


hidropónicos cuando la relación se mantiene en 1:5.

Gavilán 2017, trabajando con fertilización mineral obtuvo un rendimiento de 5107 g/kg de biomasa total, casi similar al resultado que se consiguió en esta investigación, con la diferencia de que el presente trabajo no se aplicó fertilización.

### Proteína Bruta

En la figura 3 se presenta el análisis de regresión efectuado, en donde se generó la ecuación cuadrática. Se ve la relación entre las densidades de siembra y la proteína bruta (PB), donde se observa que llegó a un punto de máximo.



**Figura 4.** Curva ajustada del porcentaje de proteína bruta con diferentes densidades de siembra, Concepción Paraguay 2018.

Se distingue que se obtuvieron diferencias significativas a nivel estadístico entre los tratamientos evaluados, el T5 fue el que mejor resultado obtuvo en forma agronómica con 21% PB, y el tratamiento que tuvo menor valor es el T2 con 18,2% PB.

El contenido de proteína determinado en este estudio es superior al encontrado por Maldonado (2013), quien obtuvo valores de 15% hasta 19% de PB, para el forraje verde hidropónico de maíz.

### CONCLUSIÓN

Se obtuvo mejores resultados en las determinaciones de masa verde y seca de hojas/tallos y biomasa total con el tratamiento tres (T3) a una densidad de 4,2 kilogramos de semilla por metro cuadrado, lo que indica, que la cantidad utilizada es óptima para la producción de forraje verde hidropónico de maíz, para la proteína bruta y altura el mejor resultado se obtuvo con el tratamiento cinco (T5) a una densidad de 6,2 kilogramos de semilla por metro cuadrado.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cantarero, C. (2002). *El maíz en la alimentación humana*. Recuperado el 16 de febrero de 2018, de <http://www.infoagro.com>
- DINAC. (2018). Dirección Nacional de Aeronáutica Civil y Dirección de Meteorología e Hidrología, Concepción – Paraguay.
- Elizondo, J. (2005). Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. *ECAG Informa*, (32), 36–39.
- FAO. (2002). *Manual técnico: Forraje verde hidropónico*. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://www.fao.org/4/ah472s/ah472s00.pdf>
- Gavilán, S. (2017). *Producción de hidroforraje de maíz con aplicación de fertilizante mineral*. Concepción, Paraguay.
- Maldonado, J. (2013). Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes densidades de siembra y días de cosecha. *Zootecnia Tropical*, 23(2), 105–119.
- Poehlman, J. M. (1986). *Mejoramiento genético de las cosechas*. México, D.F.: Editorial Limusa.
- Rivera, A., Moronta, M., Gonzáles-Estopiñan, M., Gonzáles, D., Perdomo, D., García, D., & Hernández, G. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical*, 28(1), 33–41.
- Rodríguez, H., Gómez, A., López, J., & Loya, L. (2012). Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea mays* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. *Abanico Veterinario*, 2(3), 20–28. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=44969>
- Sánchez, A., & Ley De Coss, A. (1992). Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay. *Boletín Informativo de la Red Hidroponía*, (7), Lima, Perú.
- Sneath, R., & McIntosh, F. (2003). *Revisión de la producción de forraje hidropónico para ganado de carne*. Australia: Meat & Livestock Australia Limited.
- Tarrillo, H. (2007). *Forraje verde hidropónico: Forraje de alta calidad, para la alimentación animal*. Arequipa, Perú.

- Teixeira, V. C. (2009). Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 435–442. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300006>
- Valdivia, E. (1997). Producción de forraje verde hidropónico. En *Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial* (p. 59). Lima, Perú.
- Vargas, M. (2008). *Evaluación productivo-ambiental de dos genotipos de maíz (Zea mays L.) en forraje verde hidropónico bajo invernadero* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, Durango, México.