



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario  
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

**Título: Análisis de variables en la producción de trigo verde hidropónico por medio de un diseño de experimentos ortogonal.**

**Autor: Daniel Armando Aguirre Ibarra**

**Grado académico: Ingeniero Industrial**

**Contacto: [armando.aguirre@itesi.edu.mx](mailto:armando.aguirre@itesi.edu.mx)**

**Institución: Instituto Tecnológico Superior de Irapuato**



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### RESUMEN

El propósito de este trabajo fue analizar el efecto que tienen la frecuencia de riego, la densidad de siembra y el drenaje sobre la producción de trigo hidropónico, en particular sobre la masa producida de trigo hidropónico. Se utilizó un diseño de experimentos Taguchi L16 con dos réplicas. Al realizar las pruebas estadísticas se identifica que la frecuencia de riego afecta significativamente la masa producida de trigo hidropónico lo que contribuye a una producción que tenga un mejor aprovechamiento de recursos. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

Palabras clave: Trigo hidropónico, diseño Taguchi

### ABSTRACT

The purpose of this work was to analyze the effect of the irrigation frequency, drainage and sowing density on hydroponic wheatgrass production. A Taguchi L16 experimental design with two replicates was used. After statistical tests were performed, it was possible to identify that irrigation frequency significantly affects the hydroponic wheatgrass production. Finally, further research directions are presented.

Keywords: Hydroponic wheatgrass, Taguchi design

### INTRODUCCION



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

La hidroponía es una técnica de cultivo que se caracteriza por la ausencia de suelo, en su lugar se cuenta con diversos sustratos que permiten un anclaje y también son una vía para que la planta adquiera los nutrientes. (Bosques, 2010)

Una de las ventajas de los cultivos hidropónicos es que permiten un ahorro considerable de agua (Paredes, 2002) además de que su producción es intensiva comparando el cultivo hidropónico contra el cultivo tradicional.

Debido a las ventajas ya mencionadas es que existen iniciativas para fomentar la producción de trigo hidropónico (FAO, 2015) y es al momento de revisar trabajos de investigación relacionados al tema que se encuentran recomendaciones para la producción de forraje hidropónico pero se encuentran diferencias entre las mismas recomendaciones, razón por la cuál se decide analizar algunos factores mencionados en los trabajos investigados.

En la literatura consultada sobre producción de forraje hidropónico se mencionan factores controlados como la frecuencia de riego, la densidad de siembra así como la humedad y temperatura. La producción de forraje hidropónico se realiza en invernaderos, su proceso consiste en las siguientes etapas:

1. Lavado de semilla
2. Etapa de germinación
3. Siembra
4. Aplicación de riegos
5. Cosecha

En la Tabla 1 se muestra la relación de los autores y sus recomendaciones en algunos factores de control para la producción de trigo hidropónico.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Autor	Factor: Frecuencia de riego	Factor: Densidad de siembra
Romero (2011)	4 a 6 veces por día	2.5 kg/m <sup>2</sup>
Espinoza (2005)	No menciona	4.1 kg/m <sup>2</sup>
Garduño (2011)	Determinada en base a la observación, en su trabajo determinó 4 riegos por día	2 kg/m <sup>2</sup>
Navarrete (2008)	6 a 8 veces por día	2 kg/m <sup>2</sup>
Quiñones (2011)	3 veces al día	5 kg/m <sup>2</sup>
Romero, Córdova & Hernández (2009)	12 veces al día	2.5 kg/m <sup>2</sup>
(Esteban & Martínez (2011)	2 veces al día	5.3 kg/m <sup>2</sup>

Tabla 1. Factores y parámetros.

Para efectuar el análisis de los factores se opta por un diseño de experimentos Taguchi, este tipo de diseños tienen la propiedad de ortogonalidad, lo que indica que las columnas son linealmente independientes. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012)

MÉTODO



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Para realizar el trabajo se utilizó semilla de trigo certificada, así como charolas de pvc de 40 por 60 cm y 5 cm de profundidad. El riego se realizó de forma automática con agua potable.

Se decidió estudiar las variables de la frecuencia de riego y la densidad de siembra, además se agregó una tercera variable que es el drenaje de la charola, se tomó esta tercera variable debido a que se quiere evaluar si el agua estancada al momento de regar afecta en la producción de masa de trigo hidropónico.

Los tres factores se evaluaron con dos niveles, teniendo como referencia los datos mostrados en la Tabla 1, se tomaron los valores extremos. En el caso de los niveles para el factor drenaje se adaptaron las charolas con 14 y 28 perforaciones.

El estudio se llevó a cabo por medio de un diseño de experimentos L16 ya que se trabajaron con tres factores de dos niveles cada uno y dos réplicas. En la Tabla 2 se muestran los niveles de las variables utilizadas en el experimento.

Factor de control	Nivel bajo (1)	Nivel alto (2)
Frecuencia de riego (A)	3	8
Densidad de siembra (B)	2.5 kg/m <sup>2</sup>	5 kg/m <sup>2</sup>
Drenaje	14 perforaciones	28 perforaciones

Tabla 2. Niveles de los factores.

A continuación, en la Tabla 3 se muestran los resultados de la corrida experimental. La variable de respuesta es la masa obtenida de trigo hidropónico después de seis días de riego.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Factor Riego	Factor Densidad	Factor Drenaje	Respuesta (kg)
1	1	1	1.60
1	1	1	1.57
1	1	2	1.28
1	1	2	1.30
1	2	1	1.44
1	2	1	1.32
1	2	2	1.05
1	2	2	1.12
2	1	1	1.97
2	1	1	1.90
2	1	2	2.00
2	1	2	2.14
2	2	1	1.86
2	2	1	1.95
2	2	2	2.13
2	2	2	2.20

Tabla 3. Resultados de la corrida experimental.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Se realizaron 16 corridas experimentales donde se efectuaron todas las combinaciones posibles. Las corridas se programaron en base a la cantidad de riego ya que se contó con una sola bomba de riego programable.

### RESULTADOS

A continuación, se presenta el resultado de la corrida experimental. El análisis de los datos se efectuó en Minitab 17.

Diseño Taguchi de arreglo ortogonal

L16(2<sup>3</sup>)

Factores: 3

Corridas: 16

Columnas de L16(2<sup>15</sup>) Arreglo

1 2 3

### Análisis de Taguchi: RESULTADO vs. A, B, C

Tabla de respuesta para medias

Nivel	A	B	C
1	1.335	1.720	1.701
2	2.019	1.634	1.653
Delta	0.684	0.086	0.049
Clasificar	1	2	3



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario  
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

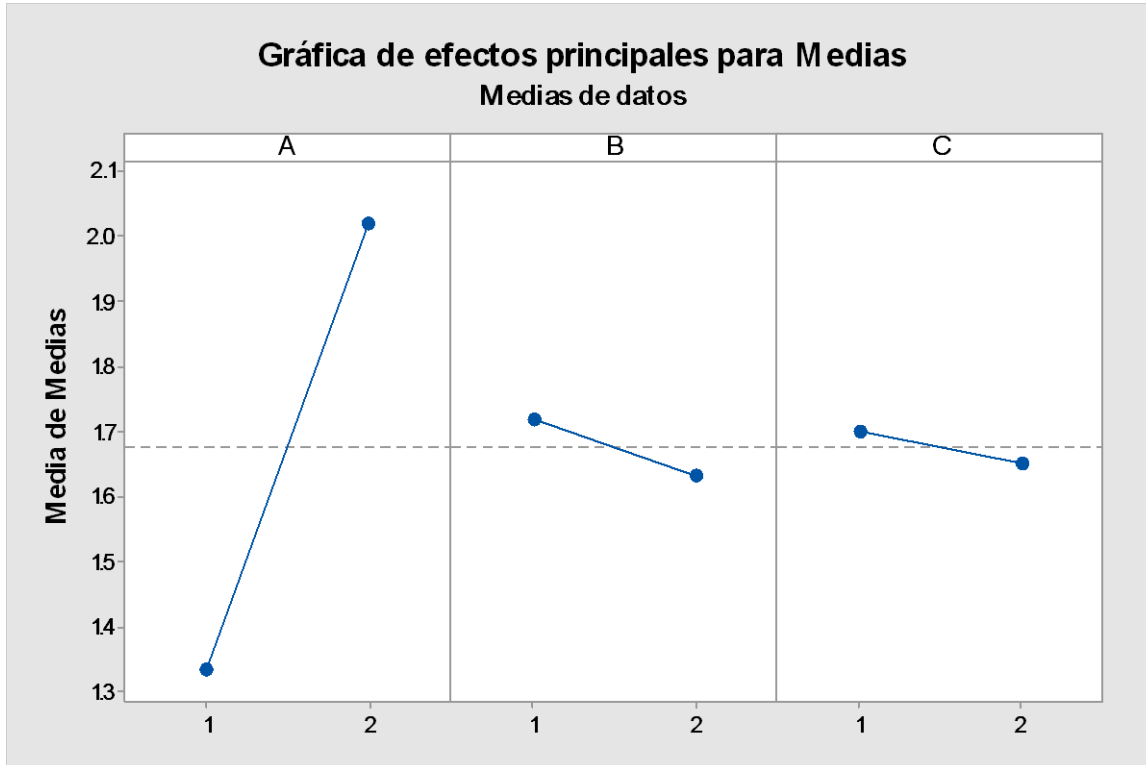


Figura 1. Gráfica de medias.

En la Figura 1 se puede observar que la variable de respuesta (masa del forraje hidropónico) se ve afectada por el cambio de nivel en el Factor A que es la frecuencia de riego. Cuando la frecuencia de riego es mayor se obtiene mayor cantidad de masa de trigo hidropónico.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### CONCLUSIÓN.

La frecuencia de riego afecta significativamente la masa producida de trigo hidropónico sin embargo la densidad de siembra no afectó en la variable de respuesta al igual que el drenaje diseñado en las charolas. La densidad de siembra era un factor que se consideraba podría afectar en la producción de masa de trigo hidropónico, esto no fue así debido a que posiblemente entre mayor sea la densidad de siembra existe una saturación y las semillas no terminan de germinar.

Se recomienda para futuras investigaciones el seguir trabajando con diversas frecuencias de riego para determinar cuál frecuencia es la óptima. Hay que recordar que la variable de respuesta fue la masa de trigo hidropónico, a futuro se tiene el plan de trabajar con el trigo hidropónico pero la variable de respuesta será el resultado de los análisis bromatológicos, ya que además de la masa obtenida es útil saber los nutrientes que aporta el trigo hidropónico.

### BIBLIOGRAFÍA

Bosques Vargas, J. (2010). *Curso Básico de Hidroponía*. lulu.com.

Espinoza Rodríguez, M. (Noviembre de 2005). Proyecto de inversión para la producción de forraje verde hidropónico. Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México.

Esteban Andrés, E., & Martínez Rojas, M. Y. (Diciembre de 2011). Determinación de la calidad de forraje verde hidropónico. Xalapa de Enriquez, Veracruz, México.

FAO. (3 de Septiembre de 2015). *Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-ah472s.pdf>

Garduño Taboada, F. (9 de Junio de 2011). Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía. México, D.F., México.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México, D.F.: Mc Graw Hill.

Navarrete Flores, R. O. (Abril de 2008). Estudio de la productividad de dos gramíneas y una leguminosa para forraje verde hidropónico. Ibarra, Ecuador.

Paredes Valdivieso, M. R. (2002). *Estudio de Producción de Tubérculo*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Quiñones Ramírez, E. G. (2011). Producción de forraje hidropónico. Lambayeque, Perú.

Romero Aguilar, J. J. (Noviembre de 2011). Evaluación de las algas marinas como sustrato en la producción de forraje verde hidropónico. Guerrero Negro, Baja California Sur, México.

Romero Valdez, M. E., Córdova Duarte, G., & Hernández Gallardo, E. O. (2009). Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria*, 11-19.