

**CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y ABSORCIÓN NUTRICIONAL DEL
CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) CON DOS
SOLUCIONES NUTRITIVAS EN AMBIENTE PROTEGIDO EN LA
ZONA DE SAN CARLOS, COSTA RICA**



CARLOS GABRIEL SANDÍ MENDOZA

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura
en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2016

CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y ABSORCIÓN NUTRICIONAL DEL
CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) CON DOS
SOLUCIONES NUTRITIVAS EN AMBIENTE PROTEGIDO EN LA
ZONA DE SAN CARLOS, COSTA RICA

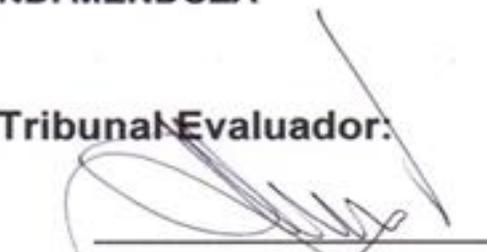
TEC | Tecnológico
de Costa Rica



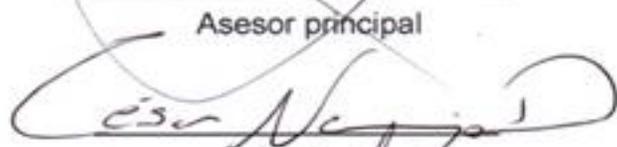
CARLOS GABRIEL SANDÍ MENDOZA

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

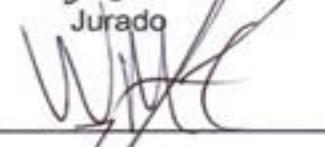
Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, Ph.D.


Asesor principal

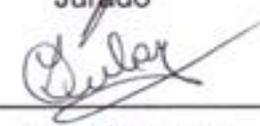
Ing. Agr. César Naranjo Díaz, M.Sc.


Jurado

Ing. Biot. Wayner Montero Carmona, M.Sc.

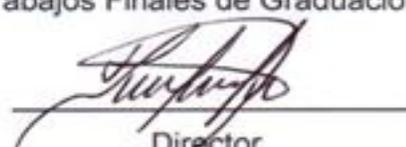

Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M.Sc.


Director

Escuela de Agronomía

2016

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María por haberme permitido vivir y lograr todas mis metas, así como por ser el guía en cada momento de mi vida.

A mis padres Zoraida Mendoza y Miguel Sandí por su gran sacrificio, apoyo y cariño incondicional, porque ellos son y serán siempre mi gran ejemplo a seguir y son el tesoro más valioso que tengo.

A mis hermanos que de una u otra forma estuvieron presentes para brindarme su apoyo.

A mi novia Sandra que me ayudó a salir adelante en los momentos difíciles sin esperar nada a cambio.

A mis amigos y compañeros de la familia Agronomía, especialmente a nuestro hermano Alonso Quesada † por compartirnos su alegría en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primero por darme la oportunidad de lograr este proyecto de vida y por guiarme siempre en mi camino.

A mis padres y familiares por su incuestionable e incansable ayuda a lo largo de mi carrera universitaria.

A todos mis compañeros de generación y amigos con quienes compartí muchas historias, especialmente a Katherine Durán, Luis Carlos Villegas, Edwin Salazar, Erick Vargas, Tania Corrales, Salex Chávez, Mario Soto, Carlos Alvarado, Alejandro Céspedes. Gracias por su ayuda.

Al profesor Carlos Ramírez Vargas y a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tecnológico de Costa Rica por darme la oportunidad de realizar esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación.....	3
1.2	Objetivo general	4
1.3	Objetivos específicos	4
1.4	Hipótesis de investigación.....	5
2	REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1	El cultivo de Pepino.....	6
2.1.1	Clasificación taxonómica y descripción botánica del pepino	6
2.1.2	Fenología y requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	7
2.1.3	Cultivares de pepino	8
2.2	Cultivo protegido de pepino.....	9
2.3	Sistemas hidropónicos en pepino	10
2.4	Soluciones nutritivas en pepino.....	11
2.5	Absorción y requerimientos nutricionales del pepino	13
3	MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1	Descripción general de la investigación	16
3.2	Localización y periodo de estudio	16
3.3	Descripción del invernadero y equipo utilizado	17
3.4	Descripción del material experimental.....	18
3.5	Descripción de los tratamientos y unidad experimental	18
3.6	Diseño experimental.....	19
3.7	Croquis del área experimental	21
3.8	Preparación de la solución nutritiva hidropónica.....	22
3.9	Variables asociadas a los tratamientos.....	26

3.9.1	Variables ambientales	29
3.10	Manejo agronómico del cultivo.....	29
3.10.1	Preparación del invernadero	29
3.10.2	Trasplante y manejo general del cultivo	31
3.10.3	Riego y fertilización	32
3.10.4	Polinización	33
3.10.5	Poda.....	33
3.10.6	Manejo fitosanitario	34
3.11	Programa estadístico	35
3.12	Pruebas estadísticas utilizadas.....	35
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1	Análisis del crecimiento.....	36
4.2	Análisis de producción	43
4.3	Análisis de absorción de macronutrientes.....	49
4.4	Análisis de absorción de micronutrientes	57
5	CONCLUSIONES.....	66
6	RECOMENDACIONES.....	67
7	BIBLIOGRAFIA.....	68
8	ANEXOS.....	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Titulo	Página
1.	Clasificación taxonómica del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).	6
2.	Ciclo fenológico del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en El Salvador.	7
3.	Rangos de temperaturas críticas para el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) sobre los diferentes estadios fenológicos.	8
4.	Soluciones nutritivas utilizadas o recomendadas para el cultivo de pepino en sistema de lana de roca.	13
5.	Niveles de extracción de los principales nutrientes mencionados por diferentes autores para el cultivo de pepino.	14
6.	Cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) utilizados bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	18
7.	Descripción de los tratamientos evaluados en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	18
8.	Fuentes de variación y grados de libertad para el proyecto de investigación sobre cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	20
9.	Proporción nutrimental de la solución nutritiva Universal de Steiner en porcentaje relativo y equivalentes según cada ion, para un volumen de 1000 litros de agua a una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.	22
10.	Valores correspondientes a equivalentes, valencia química y cantidad de sales minerales de una solución nutritiva para un volumen de 1000 litros elaborado a partir de la propuesta de Steiner (1984).	23

11.	Fuentes y cantidades de los micronutrientes utilizados en la solución nutritiva para un volumen de 1000 litros de agua a una conductividad de 2 mS/cm.	23
12.	Proporción nutrimental de la solución nutritiva Ajustada a partir de los datos de absorción de las plantas del primer ciclo de cultivo en porcentaje relativo y equivalentes según cada ion, para un volumen de 1000 litros con una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.	25
13.	Valores correspondientes a equivalentes, valencia química y cantidad de sales minerales de una solución nutritiva para un volumen de 1000 litros elaborado a partir de los datos de absorción de las plantas en el primer ciclo de cultivo durante el periodo 2015-2016	26
14.	Variables de respuesta a medir durante el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica. 2015-2016.	26
15.	Agroquímicos utilizados para el control de las plagas y enfermedades presentes en ambos ciclos con los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	35
16.	Significancia de las variables de crecimiento de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	37
17.	Distribución de medias para las variables de crecimiento de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	37
18.	Significancia de las variables de producción de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	43

19.	Distribución de medias para las variables de producción de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	44
20.	Significancia de las variables de absorción total de macronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	49
21.	Significancia de las variables de absorción de macronutrientes en parte vegetativa de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	50
22.	Significancia de las variables de absorción de macronutrientes en frutos de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	50
23.	Distribución de medias para las variables de absorción de macronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	52
24.	Significancia de las variables de absorción total de micronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	57
25.	Significancia de las variables de absorción de micronutrientes en parte vegetativa de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica. 2015-2016.	58

- 26.** Significancia de las variables de absorción de micronutrientes en fruto de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016. 59
- 27.** Distribución de medias para las variables de absorción total de micronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016. 61

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Titulo	Página
1.	Invernadero del área de Horticultura en Finca La Esmeralda, del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos 2016.	17
2.	Unidad experimental compuesta por 20 plantas de cada uno de los tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) cultivados bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	19
3.	Croquis del área experimental y distribución espacial de las unidades experimentales del proyecto de investigación sobre pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) cultivado bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	21
4.	Sensor de temperatura y humedad Extech® Instruments a Flir Company 445713 instalado en el interior del invernadero para medir las variables ambientales durante el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	29
5.	Sistema de riego instalado dentro del invernadero para el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	31
6.	Contenedores con las plántulas de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) trasplantadas bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	32
7.	Poda de tallos y hojas afectadas por moteado angular del pepino en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	34

8.	Altura máxima de plantas (cm) en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	40
9.	Rendimiento en g/planta de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	46
10.	Absorción total de macronutrientes en plantas de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	54
11.	Absorción de micronutrientes en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> . L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo N°	Titulo	Página
1.	Multimineral Microplex (Miller, Gran Bretaña), ácido bórico (Inkabor, Perú) y sulfato de zinc heptahidratado (Chengdu Chuanke Fine Chemicals, China) utilizado en el cultivo de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en cultivo protegido hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	76
2.	Abejas “Mariolas” polinizando en flores de las plantas de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.	76
3.	Resultados de laboratorio sobre análisis químico de tejidos para determinar la extracción nutrimental de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.	77
4.	Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero durante el cultivo de tres cultivares de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.	77
5.	Análisis de varianza de las variables de crecimiento evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	79
6.	Análisis de varianza para las variables de producción evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	88
7.	Análisis de varianza para la variable calidad evaluada en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	93

8.	Análisis de varianza para las variables de absorción total de macronutrientes evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	94
9.	Análisis de varianza para las variables de absorción de macronutrientes en planta (parte vegetativa) evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	100
10.	Análisis de varianza para las variables de absorción de macronutrientes en frutos evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	106
11.	Análisis de varianza para las variables de absorción total de micronutrientes evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	112
12.	Análisis de varianza para las variables de absorción de micronutrientes en planta (parte vegetativa) evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	116
13.	Análisis de varianza para las variables de absorción de micronutrientes en frutos evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.	121

RESUMEN

Se cultivó pepino (*Cucumis sativus* L.) en ambiente protegido usando dos soluciones nutritivas en sistema hidropónico abierto en San Carlos Costa Rica, entre agosto del 2015 y enero del 2016, los cultivares usados fueron Monalisa, Modán RZ y Tropicuke, en un diseño experimental de parcelas divididas en el tiempo; se evaluaron los cultivares por cada solución nutritiva con cuatro repeticiones por tratamiento. Las plantas se sembraron en contenedores plásticos con sustrato de fibra de coco provisto de un sistema de fertirriego y tutorado, se realizaron mediciones de crecimiento, producción, calidad de frutos y absorción de nutrientes. La absorción nutricional acumulada en los cultivares de pepino usando cada una de las soluciones nutritivas difirieron entre sí, al igual que su crecimiento y producción al final del ciclo de cultivo. La solución nutritiva Universal de Steiner fue superior a la solución nutritiva Ajustada, los cultivares alcanzaron rangos de 270,03 cm a 287,92 cm y 221,72 cm a 278,28 cm de altura máxima, 61,86 a 82,83 y 18,27 a 20,75 hojas por planta, 432,98 cm² a 562,83 cm² y 148,88 cm² a 202,47 cm² en área foliar, 6,41 a 8,34 y 2,21 a 4,16 de índice de área foliar, 294,86 g a 349,70 g y 174,94 g a 206,50 g de peso fresco de follaje (parte aérea + raíz), 342,60 g a 361,97 g y 20,67 g a 274,40 g de peso fresco de fruto, 21,38 g a 27,76 g y 13,55 g a 15,38 g de peso seco de follaje, 5,53 g a 11,06 g y 4,43 g a 7,92 g de peso seco de fruto respectivamente. Con la solución nutritiva de Steiner y con el cv Modán RZ se alcanzó el máximo rendimiento (2895,31 g/planta), con la solución nutritiva Ajustada los cultivares alcanzaron rendimientos relativamente bajos (<350 g/planta). El contenido de sólidos solubles de los frutos de los cultivares Modán RZ y Tropicuke con la solución nutritiva Ajustada fueron bajos (2,80 °Brix y 3,15 °Brix respectivamente), con la solución nutritiva de Steiner los frutos alcanzaron valores entre los 3,60 °Brix y 4,08 °Brix. La absorción de macronutrientes acumulada en los cultivares con la solución nutritiva Universal de Steiner con orden de K>N>Ca>Mg>P difiere del cv Tropicuke con la solución nutritiva Ajustada en la absorción de Fósforo respecto al Magnesio mostrando el orden K>N>Ca>P>Mg. Hierro y de Zinc mostraron diferencias de absorción de las plantas de los cultivares al usar una solución con respecto a la otra, el orden de absorción con la solución nutritiva de Steiner fue Fe>Zn>Mn>Cu y con la solución nutritiva Ajustada fue Zn>Fe>Mn>Cu. El uso de la solución nutritiva Ajustada fue inferior a la solución nutritiva Universal de Steiner en los tres cultivares de pepino estudiados.

Palabras clave: *Cucumis sativus* L., soluciones nutritivas, cultivares, cultivo protegido hidropónico, crecimiento, producción, absorción.

ABSTRACT

We cultivated cucumber (*Cucumis sativus* L.) in greenhouse using two nutritive solutions in opened hydroponic system at San Carlos Costa Rica, between August 2015 and 2016 January., Cultivars used were Monalisa, Modán RZ, and Tropicuke, in an experimental design of split time plots; evaluated cultivars by each nutrient solution with four replications per treatment. The materials were planted in plastic containers fitted with a system of fertirrigation coconut fiber substrate and tutoring, growth, production, fruit quality and nutrient absorption measurements were evaluated. The accumulated nutritional absorption in the cucumber cultivars using each of nutritive solutions differed among themselves, as well as its growth and production at the end of the crop cycle. Steiner Universal nutritive solution was superior to Adjusted nutritive solution, them cultivars reached ranges of 270.03 cm to 287,92 cm and 221,72 cm to 278,28 cm of height maximum, 61,86 to 82,83 and 18,27 to 20.75 leaves by plant, 432,98 cm² to 562,83 cm² and 148,88 cm² to 202,47 cm² in area leaf, 6.41 to 8.34 and 2.21 to 4.16 of index of area leaf , 294,86 g to 349,70 g and 174,94 g to 206,50 g of weight fresh of foliage (part air + root), 342,60 g to 361,97 g and 20.67 g to 274,40 g of weight fresh of fruit, 21,38 g to 27,76 g and 13,55 g to 15,38 g of weight dry of foliage, 5.53 g to 11.06 g and 4.43 g to 7.92 g of weight dry respectively. With the Steiner nutrient solution and cv Modán RZ reached maximum yields (2895,31 g/plant), with the adjusted nutrient solution the cultivars reached relatively low yields (< 350 g/plant). He content of solid soluble of them fruits of them cultivars Modan RZ and Tropicuke with the solution nutritive Adjusted were low (2.80 ° Brix and 3.15 ° Brix respectively), with the Steiner Universal nutritive solution them fruits reached values between them 3.60 ° Brix and 4.08 ° Brix. The absorption of nutrients accumulated in cultivars with the Steiner nutrient solution with order of K > N > Ca > Mg > P differs from cv Tropicuke with the adjusted nutrient solution in the absorption of phosphorus on magnesium showing the order K > N > Ca > P > Mg. Iron and zinc showed differences in absorption of plants of cultivars using a solution with respect to the other, the order of absorption with the Steiner nutrient solution was Fe > Zn > Mn > Cu and solution nutrient adjusted was Zn > Fe > Mn > Cu. The use of the adjusted nutrient solution was inferior to the Steiner Universal nutritive solution in the three cultivars studied cucumber.

Key words: *Cucumis sativus* L., nutrient solutions, cultivars, culture protected hydroponic, growth, production, absorption.

1 INTRODUCCIÓN

Costa Rica cuenta con algunas regiones de alto potencial para el desarrollo y la producción de hortalizas bajo ambientes protegidos, la Zona Norte es una de esas regiones pese a que no cuenta con una cultura hortícola desarrollada como si lo es la zona de Zarcero y el Valle Central. Sin embargo, la anuencia a un cambio en la cultura agrícola es bien vista debido a la presión por diversificar las actividades pensando en la seguridad alimentaria, además de incursionar en sistemas de producción tecnificados que ayuden a mejorar la calidad de los productos (Ramírez y Nienhuis 2012).

Desde 1987 se han hecho evaluaciones de cultivares de pepino en zonas no tradicionales mostrando buenos rendimientos, zonas como La Fortuna de San Carlos y Cañas, Guanacaste cuentan con gran potencial para la producción de dicho cultivo principalmente para la exportación. Sin embargo, la alta humedad relativa y los fuertes vientos que caracterizan a cada una de las regiones son las principales limitantes para su producción a campo abierto (Calvo 1987; MAG 2014).

Actualmente, el volumen de siembra en zonas tradicionales de cultivos hortícolas ha enfrentado una disminución en su área, debido a que se han cambiado por otras actividades que han ido desplazando cada vez más la producción a zonas con condiciones adversas. La producción de hortalizas como el pepino en ambientes protegidos se ha convertido en alternativa para muchos productores; el uso de invernaderos o los diferentes sistemas de protección de las plantas ofrecen beneficios que hacen que la producción en regiones no tradicionales se facilite, ya que permite su producción durante todo el año, disminuye el riesgo de la producción al modificar el clima circundante, incrementa la rentabilidad del sector productivo, reduce la contaminación ambiental y también contribuye en la generación de empleo (López *et al.* 2011; Ramírez y Nienhuis 2012).

En este tipo de sistemas su aplicación se debe ajustar a una selección de factores que prevalecen de acuerdo a cada zona donde se desee establecer el

sistema de producción, el tipo de coberturas, los cultivares y la disponibilidad de recursos necesarios para el sistema son algunos de los factores. El cultivo en ambientes protegidos supone un espacio que protege a las plantas, además permite el control efectivo de factores de producción como el uso del agua, nutrición, luminosidad, temperatura y humedad, control de plagas y otros (Ramírez y Nienhuis 2012).

La nutrición es señalada como el factor más importante que deben recibir las plantas durante su ciclo de cultivo en la producción bajo invernadero. Por lo tanto la hidroponía está asociada a la producción en ese sentido, este sistema de producción demanda un continuo abastecimiento de nutrientes los cuales son suministrados por medio de una solución nutritiva, donde los nutrientes disueltos son aplicados a través del sistema de riego (Widders y Lorenz, 1982, citado por Moreno *et al.* 2015).

El conocimiento de cómo preparar y manejar la solución nutritiva en cultivos sin suelo ha sido un tema de mucha investigación principalmente por su composición, ya que de acuerdo al cultivo se busca optimizar una solución nutritiva que satisfaga las necesidades de la planta por lo que de esta dependerá una buena producción logrando mejores rendimientos y mejor calidad de los frutos (Favela *et al.* 2006; Reyes 2012).

Muchas soluciones nutritivas se han formulado y ajustado para el crecimiento de las plantas en diferentes sustratos variando su concentración, Steiner (1984) por ejemplo, crea una solución nutritiva Universal basada en el concepto de relación mutua que existe entre la concentración iónica total. Por lo tanto, cualquier relación entre aniones y cationes puede ser establecida siempre y cuando no sobrepase los límites de precipitación en las combinaciones de iones, lo que igual ocurre con las concentraciones totales de sales.

Lo importante es determinar una concentración para la solución nutritiva en donde el agua y los iones totales sean absorbidos en iguales proporciones por las plantas a como se encuentran en la solución (Moreno *et al.* 2015).

1.1 Justificación

La producción nacional de pepino está dirigida especialmente para la satisfacción del mercado local, la cual se comercializa en las diferentes ferias del agricultor y mercados mayoristas como el Centro Nacional de Distribución y Abastecimiento (CENADA) (MAG 2014). A nivel mundial la producción agrícola enfrenta cambios que alteran directamente los rendimientos, por lo que la adaptación de los sistemas agroalimentarios es una de las principales razones por las que se desea desarrollar más a fondo y así mantener la producción, al permitirnos abordar con mejores herramientas la situación ante el cambio climático (Tencio 2013).

El uso de tecnologías como el cultivo hidropónico en ambiente protegido parece ser muy buena alternativa para el desarrollo de este cultivo en regiones no tradicionales fuera del Valle Central, ya que permite el control de las condiciones edafoclimáticas necesarias que el cultivo como tal es demandante, mostrando un desarrollo de la plantación menos dependiente de los recursos edáficos, más no tanto así de los factores climáticos presentes en la localidad donde se establezca el cultivo (Bolaños 2001).

Al tener control de los recursos provistos por el suelo, se vuelve necesario el abastecimiento continuo de los nutrientes que hacen crecer a las plantas por medio de una solución nutritiva. De manera que muchas fórmulas han sido particularmente recomendadas para el crecimiento de determinados cultivos, las cuales fueron derivadas a partir de experimentos fisiológicos sobre la nutrición para observar la influencia de una amplia gama de nutrientes que intervienen en el desarrollo y comportamiento de las plantas (Steiner 1961).

Siendo la nutrición un factor importante en la producción bajo ambientes protegidos con sistemas hidropónicos, se planteó esta investigación con el propósito de evaluar el comportamiento agronómico de las plantas en respuesta a la formulación de una solución nutritiva, especialmente en la concentración total de iones y a la relación de nitratos con respecto a los otros nutrientes contenidos en la solución nutritiva, partiendo de la solución nutritiva Universal de Steiner (1984) y

a los niveles de absorción acumulada de N, P, K, Ca y Mg de tres cultivares de pepino.

1.2 Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico de las plantas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto, para comparar dos soluciones nutritivas (solución nutritiva Universal de Steiner y solución nutritiva Ajustada) en San Carlos, Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar la absorción de N, P, K Ca y Mg en plantas de tres cultivares de pepino bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con la solución nutritiva Universal de Steiner y con una solución nutritiva Ajustada a partir de los resultados de absorción de esta última en San Carlos, Costa Rica.
- Determinar el crecimiento en plantas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con la solución nutritiva Universal de Steiner y con una solución nutritiva Ajustada a partir de los resultados de absorción de esta última en San Carlos, Costa Rica.
- Determinar la productividad en plantas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con la solución nutritiva Universal de Steiner y con una solución nutritiva Ajustada a partir de los resultados de absorción de esta última en San Carlos, Costa Rica.
- Determinar la calidad de frutos en plantas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con la solución nutritiva Universal de Steiner y con una solución nutritiva Ajustada a partir de los resultados de absorción de esta última en San Carlos, Costa Rica.

1.4 Hipótesis de investigación

La solución nutritiva Ajustada influirá positivamente sobre los niveles de absorción nutricional, crecimiento y producción en las plantas de los cultivares de pepino al igual que la solución nutritiva Universal de Steiner al final del ciclo de cultivo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo de Pepino

Según la Fundación de Desarrollo Agrícola (FDA 1992) y Bolaños (2001) la especie *Cucumis sativus* L. reporta su origen en las regiones tropicales de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años. La especie es una de las hortalizas de mayor relevancia de acuerdo a su consumo *per cápita* principalmente como hortaliza fresca; en México el cultivo de pepino es la cuarta hortaliza de mayor importancia siendo además el segundo país exportador a nivel mundial y el primer proveedor de mercado de los Estados Unidos Mejía 2010 y Barraza 2012).

En Costa Rica, en la región Central Oriental para el año 2013, este cultivo alcanzó aproximadamente 50 hectáreas, de acuerdo a los datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en su agencia de servicios de la Región Central Occidental, en el 2007 se reportaron 16 productores con 10,5 hectáreas cultivadas en ambientes protegidos, donde los rendimientos proyectados oscilaban entre los 90000 y 120000 Kg/ha (Mora *et al.* 2007).

2.1.1 Clasificación taxonómica y descripción botánica del pepino

El pepino se encuentra en cuarto lugar en importancia y está contenido dentro de los 119 géneros y 850 especies que tiene las cucurbitáceas, la taxonomía de este cultivo se muestra en el Cuadro 1 (Catellanos 2012).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.).

INFORMACIÓN TAXONÓMICA	
REINO:	Plantae
SUBREINO:	Tracheobionta
SUPERDIVISION:	Spermatophyta
DIVISIÓN:	Magnoliophyta
ORDEN:	Violales
FAMILIA:	Cucurbitaceae
ESPECIE:	<i>melo</i> L.
NOMBRE COMÚN(ES):	Pepino

Fuente: USDA-NRCS (2015)

El pepino al igual que el melón es una planta herbácea, anual, de porte rastrero y con zarcillos, siendo estas las principales características que distinguen a las cucurbitáceas. En las variedades más precoces las primeras recolecciones pueden obtenerse a los 40 días posteriores a su germinación (FDA 1992).

2.1.2 Fenología y requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

López (2003), menciona que el ciclo de pepino es corto y muestra variaciones según la localidad en la que se siembre, lo cual se relaciona a las condiciones edafoclimáticas propias del cultivar así como del manejo agronómico, el ciclo fenológico se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ciclo fenológico del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en El Salvador.

Etapa fenológica	Días después de la siembra
Emergencia	4-5
Inicio de emisión de guías	15-24
Inicio de floración	27-34
Inicio de cosecha	43-50
Fin de cosecha	75-90

Fuente: López (2003), Arias (2007).

El pepino es una planta que se adapta a una gran variedad de localidades pudiéndose cultivar desde el nivel del mar hasta los 1.300 msnm, es exigente en luminosidad principalmente cuando está en etapa de floración por lo que si se presentan temperaturas por debajo de los 14°C podrían comprometerse las flores femeninas llegando a abortarlas según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG 2014), los rangos críticos de temperatura para el desarrollo y crecimiento del cultivo de pepino se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Rangos de temperaturas críticas para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) sobre los diferentes estadios fenológicos.

Etapa fenológica	Rangos críticos de temperatura (°C)		
	Mínima	Óptima	Máxima
Germinación	12	30	35
Desarrollo de cultivo en el día	20	-	25
Desarrollo de cultivo en la noche	18	-	22
Se detiene su desarrollo	10	-	12
Se huela la planta	-	-1	-

Fuente: FAO (2002), Mejía (2010).

En cuanto a los requerimientos de suelo, el pepino este se puede cultivar en una amplia escala de suelos que van desde los arenosos hasta los franco-arcillosos, se requiere que sean profundos donde se facilite la retención del agua y que permita el crecimiento del sistema radical, se adapta a un pH que oscile entre 5,5 a 6,8 logrando soportar pH más básicos (FAO 2002).

2.1.3 Cultivares de pepino

El cultivo de pepino desde el punto de vista agronómico se clasifica en dos grandes grupos a saber, los pepinos propiamente para el consumo fresco por su tamaño y coloración viable en su cáscara, encontrándose colores desde el verde hasta el amarillento y los pepinillos, utilizados principalmente para consumo en encurtidos o conservas producto del proceso de la agroindustria diferenciándose de los otros por sus tamaños pequeños y cortezas de color verde. Por otra parte se clasifican en tres tipos de variedades morfológicamente diferentes, los cuales son pepinos cortos y pepinillos tipo español, los pepinos medio largos tipo francés y los pepinos largos tipo holandés, las características que los diferencian son principalmente por el tamaño, presencia de espinas, tipo de floración entre otras (Mejía 2010). Esas clasificaciones no describen variedades específicas ni tampoco híbridos producto de la mejora genética, que son cultivados en nuestro país dentro de los diferentes sistemas de producción, por lo que sería bueno

realizar un estudio con información más precisa de cuales materiales se cultivan dentro del territorio nacional.

2.2 Cultivo protegido de pepino

La producción de pepino y otras hortalizas hoy en día enfrentan cambios producto de las condiciones climáticas adversas que deben ser tratadas para evitar que estas alteren los procesos fisiológicos y sus rendimientos, de manera que con la producción bajo ambientes protegidos se pueden lograr buenos resultados en aquellos cultivos que permiten ser sembrados en las diferentes estructuras o sistemas de protección, brindando condiciones artificiales de microclima favorables para el desempeño agronómico de las plantas (Santos *et al.* 2010; Díaz 2016).

El cultivo de pepino en invernadero es un claro ejemplo de ambiente protegido, este sistema se desarrolló desde los años 80 pese a la gran incidencia de enfermedades transmitidas por el suelo en donde los productores que sostienen la tecnología más desarrollada recurrieron inclusive a otras prácticas como la injertación. Sin embargo crecer plantas en un ambiente protegido es mucho más que solo dar cobertura a las mismas, por lo que para ello es necesario conocer bien las especies de plantas que se deseen cultivar bajo este sistema para poder satisfacer las necesidades fisiológicas de las plantas (Lazia 2011; Silva *et al.* 2014).

Las bondades que ofrece el invernadero han sido aprovechadas para ofrecer mejores condiciones para el desarrollo de las plantas de pepino, de manera que la eficiencia de este proceso está relacionada con el gestionamiento del mismo, la temperatura y la humedad relativa son factores básicos dentro del sistema para un buen desempeño del cultivo. Por lo tanto, el aumento en los rendimientos y la calidad de los productos, la producción fuera de época, la precocidad en los frutos, el uso eficiente del agua y fertilizantes, el reducir o prolongar el ciclo de producción así como también un mejor control de plagas y enfermedades, son algunos de los beneficios que se pueden lograr con la producción de pepino en sistemas de cultivos protegidos, donde se proporciona a

las plantas de aquellas condiciones ambientales, nutricionales y de manejo agronómico que no se dispone fácilmente en cultivo al aire libre, permitiendo a los productores ofrecer un producto estéticamente de mayor calidad que supere las expectativas del mercado (Lazia 2011; Ayala *et al.* 2014).

En Costa Rica, para los productores de pepino, el uso de sistemas de cultivo protegido es una alternativa para la producción sostenible, siempre y cuando se alcancen altas productividades y una buena calidad en el producto final, lo cual es bastante beneficioso a la hora de comercializar este tipo de productos debido a que cuentan con una calidad superior y son producidos con un bajo uso de agroquímicos (Reche 2008; Santos *et al.* 2010; Ramírez y Nienhuis 2012).

El cultivo de pepino en invernadero se caracteriza por su alta demanda de mano de obra para realizar labores como el tutorado, podas y fertirriego, este último en caso de cultivo sin suelo, cuyas labores son similares para el resto de cultivos desarrollados en estos sistemas. El tutorado es una práctica que permite desarrollar las plantas de manera vertical mediante el uso de mallas de manera que la planta queda prácticamente en el aire sujeta de dichos soportes, con esta técnica se consigue una mayor producción al permitir manejar mejor el cultivo realizando podas de formación y limpieza lo cual favorece la aireación y se optimizan los controles para los diferentes agentes patógenos que puedan afectar el desarrollo de los cultivos, sin embargo requiere de un excesivo gasto de mano de obra que a veces se vuelve poco rentable (Reche 2011).

2.3 Sistemas hidropónicos en pepino

En el cultivo de pepino se han utilizado diferentes módulos hidropónicos, lo sistemas hidropónicos más utilizados son los de inmersión o de Gericke, los flotantes, los de recirculación de nutrientes y los de la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT), sin embargo se restringe al cultivo en agua únicamente, por lo tanto para el cultivo de pepino se han adaptado sistemas hidropónicos donde se permite el uso de un sustrato que funciona como soporte para las plantas, estos sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos. En esos sistemas hidropónicos es

común el uso de sistemas de riego por goteo, donde se aplica el agua y los fertilizantes disueltos con todos los nutrientes minerales esenciales para las plantas, para estos sistemas hidropónicos no existe un sustrato ideal, es decir cada uno presenta ventajas y desventajas y su elección dependerá de las características del cultivo (Montero *et al.* 2006).

De los sustratos inorgánicos más accesibles en el trópico húmedo de Costa Rica y que son aptos para la producción de cultivos en sistemas hidropónicos como el pepino, chile y tomate se encuentran la piedra volcánica, arena roja, grava, arena de río y ladrillo molido; de igual manera existen sustratos orgánicos como el aserrín, granza o cascarilla de arroz, carbón vegetal y fibra de coco. Este último ha mostrado buenos resultados en el cultivo de pepino, se utiliza en sacos o bolsas plásticas en forma de cilindro o salchicha las cuales facilitan su uso y permiten su reutilización, en algunos ensayos se ha utilizado para formar mezclas con otros sustratos orgánicos (Chacón 2015; Montero *et al.* 2006).

Cabe mencionar que el uso de sustratos inertes no tienen ningún aporte de nutrientes, lo cual hace necesario la aplicación de una solución nutritiva permitiendo realizar investigaciones relacionadas a la respuesta del cultivo en cuanto a variaciones en la concentración de nutrientes aplicados por medio de fertirriego. En pepino se ha utilizado la lana de roca como sustrato inerte, donde se ha manejado con diferentes soluciones nutritivas, el sustrato se maneja en bolsas o sacos donde las plántulas son trasplantadas y provistas de los nutrientes necesarios aplicados mediante el sistema de riego localizado (Salas 2005; Jofre y Mujeriego 2012).

2.4 Soluciones nutritivas en pepino

El pepino al igual que los demás cultivos necesitan de una serie de elementos químicos que se denominan elementos nutritivos, los cuales son indispensables para el desarrollo de su ciclo vital, la solución nutritiva es considerada como uno de los componentes principales del sistema hidropónico, dado que en ella están contenidos los nutrientes esenciales que el sustrato en casi todas las veces no aporta hacia las plantas (Intagri 2010).

Independientemente del tipo de sistema hidropónico las plantas de pepino deben crecer sin limitaciones nutricionales y para eso la solución nutritiva debe tener un pH que este dentro de 5,5 a 6,5, la conductividad eléctrica entre 1,5 y 3 dS m⁻¹, además de que no vallan a formarse precipitados por una mala disociación de los nutrientes o por problemas de antagonismos entre ellos (Salas 2005; Sánchez *et al.* 2014).

Cada especie vegetal muestra diferencias en sus necesidades nutricionales y a la vez muestra variaciones en las concentraciones nutricionales ya que de acuerdo a su estado fenológico las plantas pueden consumir ciertos elementos en mayor proporción a los demás y luego bajar o estabilizar ese consumo para absorber otros elementos. Por lo tanto no existe una única solución nutritiva que permita obtener rendimientos aceptables después de ser aplicada a todas las especies vegetales, por lo tanto para poder elevar los rendimientos es necesario brindar una concentración de nutrientes adecuada mediante la aplicación de soluciones formuladas específicamente, donde no solo se considere el cultivo sino que también una condición determinada. A pesar de todo muchas soluciones nutritivas han sido formuladas, algunas se han visto particularmente recomendadas para el crecimiento de determinados cultivos, lo que podría considerarse como una limitante para el desarrollo de más investigaciones en ese sentido (Steiner 1961; Juárez *et al.* 2006).

Con el objetivo de mantener concentraciones ideales en la zona radical del cultivo, la solución nutritiva puede requerir de ajustes promovidos de acuerdo al estado fenológico del cultivo o por cambios en el medio ambiente, de manera que las soluciones nutritivas conocidas son solo una guía en la que pueden modificarse de acuerdo a las condiciones donde se establezca el cultivo. En el Cuadro 4 se muestran algunas soluciones nutritivas utilizadas para el cultivo de pepino, así como también el sistema hidropónico.

Cuadro 4. Soluciones nutritivas utilizadas o recomendadas para el cultivo de pepino en sistema de lana de roca.

Fuente	mmol l ⁻¹							Presión osmótica
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	
Sonneveld y Straver (1994) citado por Salas (2005)	16,0	1,25	1,375	1,25	4,00	1,375	8,0	-
Vega y Raya (2000) citado por Salas (2005)	12-14	1,5-1,8	-	-	4-4,5	1,5-1,8	6,7	-
García y Martínez (1993) citado por Salas (2005)	14	1,82	-	-	4,3	2	6	-
	meq/l							
Steiner (1969) citado por Pérez <i>et al.</i> (2008)	60	5	35	-	45	20	35	0,70
Variantes de la solución de Steiner (1969) citado por Pérez <i>et al.</i> (2008)	60	5	35	-	45	20	35	1,05
	60	5	35	-	45	20	35	0,35
	80	3	17	-	45	20	35	0,70

2.5 Absorción y requerimientos nutricionales del pepino

El pepino es muy exigente en relación al balance nutricional debido a su débil desarrollo radicular y al rápido crecimiento y desarrollo de la planta, por lo que es necesario hacer aplicaciones frecuentes de fertilizantes. Generalmente la nutrición de las plantas es un proceso complejo, debido a que el efecto de un determinado nutriente está involucrado con uno o más nutrientes, por lo tanto, muchos métodos relacionados al estudio de las necesidades nutricionales de las plantas fueron desarrollados antes de la década de los años 70 donde estas investigaciones se basaron en formulaciones que variaban desde la adición de un único nutriente en cantidades crecientes hasta los tratamientos con diferentes iones en distintas proporciones, con el objetivo de controlar las interrelaciones que pueden producirse entre iones para crear una solución nutritiva con la capacidad

de abastecer la demanda nutritiva de muchas plantas incluidas las de pepino (Pérez *et al.* 1979; Vargas *et al.* 2014).

Para una explotación sostenible mediante la tecnología de ambiente protegido, debe adecuarse un plan de fertilización con los nutrientes esenciales que el cultivo de pepino necesita para su crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, los análisis de tejidos son un método importante para determinar niveles de absorción de esos nutrimentos, ya que los niveles de extracción de nutrientes en el cultivo de pepino en invernadero son muy variables, debido principalmente a factores propios de cada uno de los sistemas de cultivo, entre ellos el tipo y la variedad de pepino, la densidad de plantación, época y duración de la plantación entre otros. Algunas variaciones con respecto a las características del cultivo y los niveles de extracción para pepino en los principales nutrientes se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Niveles de extracción de los principales nutrientes mencionados por diferentes autores para el cultivo de pepino.

Fuente	Elemento extraído en Kg/ha y método de cultivo			
	Condición	Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)
Casaca <i>et al.</i> (2005)	Cultivo en suelo	57	43	86
López (2003)	Cultivo en suelo	130	120	130
UAF (2013)	Cultivo en invernadero (absorción semanal)	28	5	40

De acuerdo a la información del Cuadro 5 se observa que la demanda nutricional del pepino según recomendaciones del laboratorio de suelos del CENTA (López 2003), son mayores a las mencionadas por Casaca *et al.* (2005), donde las extracciones fueron determinadas para el cultivo en suelo de esta hortaliza. Por otra parte, el cultivo de pepino en invernadero presenta un crecimiento más acelerado por lo que no se debe permitir la falta de agua o de nutrientes, por lo tanto es necesario suministrar una fertilización con tasas óptimas de nutrientes durante todo el ciclo de crecimiento procurando que esta sea lo más

eficientemente posible, dado que un estudio realizado por la University of Alaska Fairbanks (2013), menciona que la tasa de absorción de nutrientes para pepino en invernadero es muy alta.

Al satisfacer la planta con el manejo de los fertilizantes se pueden lograr buenos rendimientos en el producto final, al trabajar en ambientes protegidos la producción en este tipo de sistemas incorpora ciertos componentes que se relacionan unos con otros y es ahí donde los sistemas hidropónicos juegan un papel importante para el desarrollo de las plantas gracias al suministro continuo de una solución nutritiva a través del sistema de riego (Steiner 1961).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción general de la investigación

Se sembraron dos ciclos de cultivo de pepino con tres cultivares consecutivamente, mediante el sistema de cultivo hidropónico abierto en ambiente protegido, el primero utilizando la solución nutritiva Universal de Steiner (1984) y el segundo utilizando una solución nutritiva Ajustada a partir de los datos de absorción obtenidos con la primera solución nutritiva. Durante el periodo de investigación se midieron variables de crecimiento, producción, calidad y absorción nutricional, a partir de las cuales se determinaron las cantidades de los principales nutrientes absorbidos por las plantas (N, P, K, Ca y Mg).

Con base en los análisis químicos sobre el contenido acumulado de nutrientes para cada uno de los cultivares, se determinó la nueva solución nutritiva que se ajustó a los requerimientos nutricionales de los cultivares, para ser usada en el segundo ciclo de cultivo.

3.2 Localización y periodo de estudio

El proyecto de investigación se realizó en el invernadero del área de Horticultura en Finca La Esmeralda, propiedad del Tecnológico de Costa Rica ubicado en Santa Clara de Florencia, cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela, localizado específicamente en las coordenadas 10°21'43" Norte y 84°30'36" Oeste, y una altura de 170 msnm.

Las características climáticas generales de la localidad incluyen una temperatura media de 25,4 °C, humedad relativa media de 87% y una precipitación anual de 3.600 mm.

El periodo de ambos ciclos de cultivo, se situó entre el 24 de agosto del 2015 hasta el 9 de enero del 2016, con un intervalo de dos semanas, las que correspondieron al final e inicio de los ciclos de cultivo (25 de octubre al 8 de noviembre).

3.3 Descripción del invernadero y equipo utilizado

El invernadero donde se estableció el proyecto de investigación cuenta con un área de 270 m² cuyas dimensiones son las siguientes: 30 m de largo por 9 m de ancho, la altura de pared es de 4,5 m, y la altura hasta la cumbrera es de 7,5 m incluida una ventana cenital o monitor de 1,20 m de ancho. El techo está compuesto por una cobertura plástica de polietileno de baja densidad con filtro UV, las paredes están provistas de una malla antiáfidos la cual cuenta con una densidad de hilos de 32x32 por pulgada lineal, el piso está cubierto por una capa de plástico negro y otra capa (Ground Cover) blanca que permite el drenaje de fluidos y también absorber y reflejar con mayor uniformidad la luz.

El acceso al invernadero cuenta con un sistema de doble puerta, en donde está incluido un pequeño segmento para la desinfección previa al ingreso del mismo, con el fin de evitar el paso de agentes contaminantes dentro de estos plagas y enfermedades, a lo interno del invernadero cuenta con pasillos en sus extremos con los que se permite recorrer toda la estructura sin pasar por el área destinada al cultivo (Figura 1).



Figura 1. Invernadero del área de Horticultura en Finca La Esmeralda, del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos 2016.

3.4 Descripción del material experimental

Como material experimental se utilizaron plántulas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.), las cuales fueron adquiridas en Almacigos San Juan (Naranjo, Alajuela), la información acerca de las variedades se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) utilizados bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Especie	Nombre común	Cultivar	Casa Comercial	Origen
<i>Cucumis sativus</i> L.	Pepino	Monalisa F1	Semillas Este Oeste	Sud Este Asiático
		Modan RZ F1	Rijk Zwaan Ibérica S.A.	España
		Tropicuke	Seminis Vegetable Seeds	USA

Fuente: EWS Group (2011), Rijk Zwaan (2016), Trisan agro (s.f.)

3.5 Descripción de los tratamientos y unidad experimental

Los tratamientos correspondieron a tres cultivares de pepino cultivados con dos soluciones nutritivas dentro de un diseño de parcelas divididas, distribuidos aleatoriamente en el cual integraron dos factores (cultivares y soluciones nutritivas), los cuales se detallan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos evaluados en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Tratamiento	Cultivar	Solución nutritiva	Interacción	Abreviatura
T1	Monalisa	Steiner (1)	Steiner x Monalisa	Ste-Mona
T2	Tropicuke		Steiner x Tropicuke	Ste-TCuke
T3	Modan RZ		Steiner x Modan RZ	Ste-RZ
T1	Monalisa	Ajustada (2)	Ajustada x Monalisa	Ajus-Mona
T2	Tropicuke		Ajustada x Tropicuke	Ajus-TCuke
T3	Modan RZ		Ajustada x Modan RZ	Ajus-RZ

Fuente: El autor

El área experimental correspondió a 280 plantas entre los tres cultivares de pepino, que se sembraron en macetas, las cuales fueron irrigadas con la solución nutritiva Universal de Steiner (1984) y con una solución nutritiva Ajustada. Dicha

área estuvo compuesta por hileras de 20 plantas a las cuales se les denominó como parcela (unidad experimental), con un espacio entre las mismas de 1,5 metros y un espacio entre plantas de 0,4 metros, lo cual correspondió a una densidad de siembra de 16,675 plantas por hectárea.

Para efectos de esta investigación fue necesaria una cantidad de 280 plantas por ciclo de cultivo, tomando en cuenta las plantas consideradas como borde de parcela (80 plantas por cultivar) de las cuales conformaron catorce unidades experimentales de 20 plantas cada una (cuatro repeticiones por cultivar) (Figura 2).

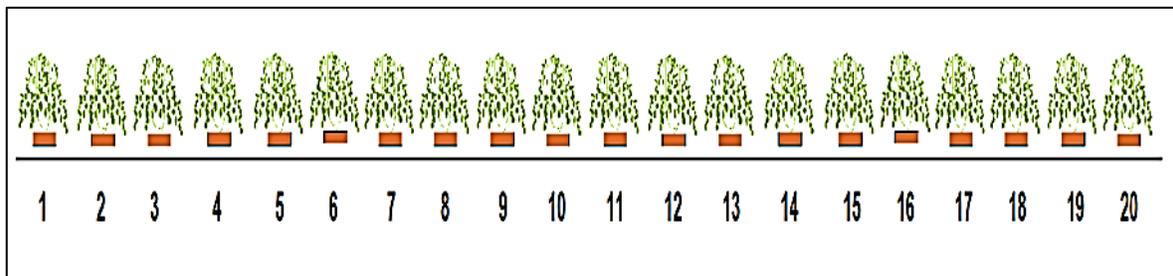


Figura 2. Unidad experimental compuesta por 20 plantas de cada uno de los tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

3.6 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas en el tiempo, con una primera fase donde se evaluaron los tres cultivares con la solución nutritiva Universal de Steiner y una segunda fase en la que se evaluaron los tres cultivares con una solución nutritiva Ajustada de acuerdo a los niveles de absorción de macronutrientes de las cultivares de pepino. De manera, que los tres cultivares correspondieron a las parcelas principales y los dos ciclos (dos soluciones nutritivas) a las subparcelas.

Para este diseño se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + \epsilon_c + S_j + (C * S) + \epsilon$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta de la ij-esima unidad experimental

μ = media general

C_i = efecto i-esimo del cultivar

ϵ_c = es el error del cultivar

S_j = efecto j-esimo de la solución nutritiva

C_i y S_j = corresponden a los factores de estudio (cultivares de pepino y soluciones nutritivas)

$C*S$ = representa la interacción entre el cultivar y las soluciones nutritivas.

ϵ_{ij} = es el error experimental

En el Cuadro 8 se muestran las fuentes de variación y los grados de libertad.

Cuadro 8. Fuentes de variación y grados de libertad para el proyecto de investigación sobre cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor 1: Cultivar	2
Error factor 1	9
Factor 2: Solución nutritiva	1
Interacción Cultivar*Solución nutritiva	2
Error Experimental	9
Total	23

Fuente: El autor

3.7 Croquis del área experimental

El croquis correspondiente a la distribución de los tratamientos se muestra en la Figura 3, puede apreciarse una rotulación con la abreviación del respectivo tratamiento para cada unidad experimental, además se pueden observar cuales son las plantas que pertenecen al borde de la parcela y cuáles serán las plantas que serán sometidas a muestreos semanales.

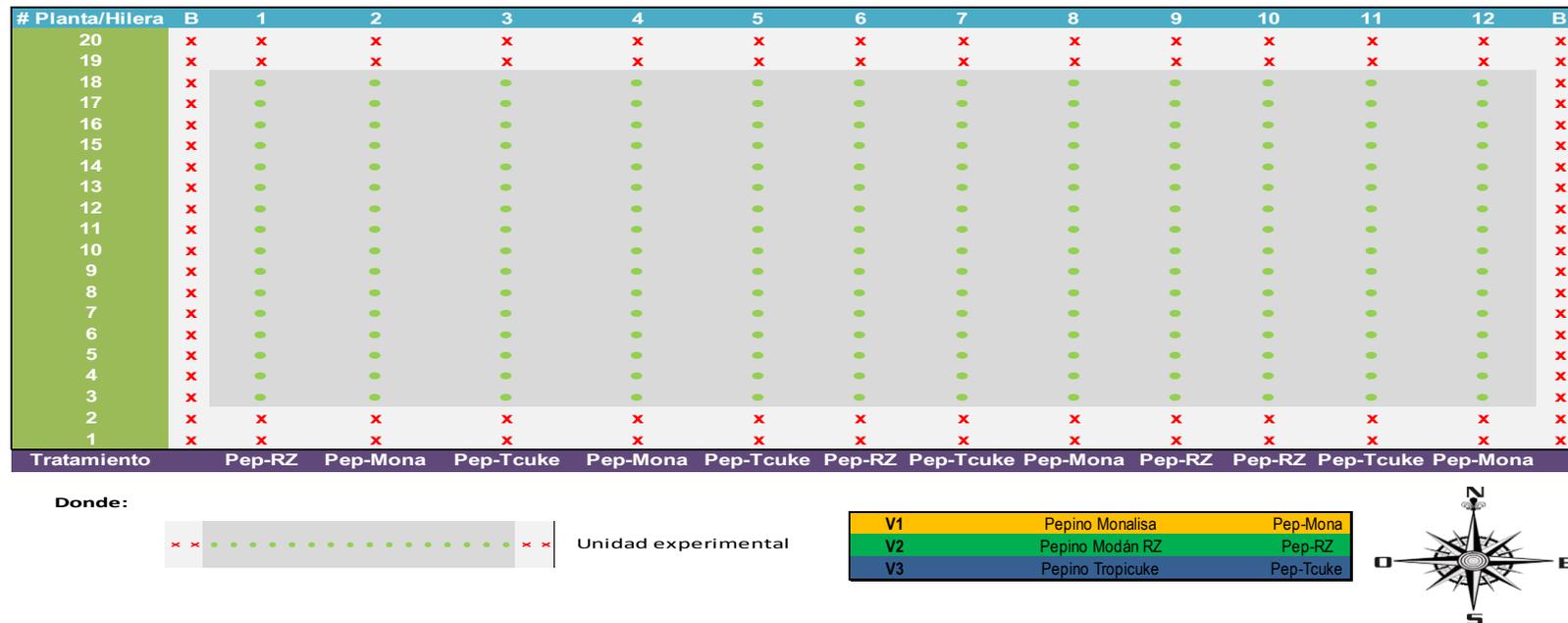


Figura 3. Croquis del área experimental y distribución espacial de las unidades experimentales del proyecto de investigación sobre pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

En la Figura 3 puede apreciarse la numeración de las macetas, las plantas que fueron consideradas como borde de parcela fueron la 1,2, 19 y 20 las cuales se excluyeron junto a dos hileras adicionales que fueron plantadas en los extremos del invernadero, debido a posibles condiciones externas como la entrada de humedad y lluvia a través de las paredes del invernadero.

3.8 Preparación de la solución nutritiva hidropónica

La fertilización para este ensayo fue completa, utilizando la solución nutritiva Universal de Steiner (1984) en el primer ciclo de cultivo, siendo esta una solución estándar elaborada a partir de los análisis de los nutrientes contenidos de muchas especies vegetales cultivadas, en donde se consideran los antagonismos fisicoquímicos entre los iones. En el Cuadro 9 se puede observar la proporción de nutrientes de la solución nutritiva Universal de Steiner a una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.

Cuadro 9. Proporción nutrimental de la solución nutritiva Universal de Steiner en porcentaje relativo y equivalentes según cada ion, para un volumen de 1000 litros de agua a una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.

Ion	% relativo	Equivalentes
Potasio (K^+)	35	7
Calcio (Ca^{+2})	45	9
Magnesio (Mg^{+2})	20	4
Nitrato (NO_3^-)	60	12
Fosfato ($H_2PO_4^-$)	5	1
Sulfato (SO_4^{-2})	35	7

Fuente: Paniagua y Rojas (2015)

De acuerdo a la información contenida en el Cuadro 9, en el Cuadro 10 se puede observar cuales son los equivalentes correspondientes al cruce entre cationes y aniones derivados de los valores de la solución nutritiva Universal de Steiner (1984), por otra parte la cantidad total de sales minerales que se necesitan para elaborar 1.000 litros de solución manteniendo la misma conductividad eléctrica.

Cuadro 10. Valores correspondientes a equivalentes, valencia química y cantidad de sales minerales de una solución nutritiva para un volumen de 1000 litros elaborado a partir de la propuesta de Steiner (1984).

Sal mineral	Equivalentes	Valencia química	Cantidad (g)
Ca(NO ₃) ₂	9	2	738
MgSO ₄	4	2	303
KNO ₃	3	1	348
K ₂ SO ₄	3	2	136
KH ₂ PO ₄ *7 H ₂ O	1	1	240

Fuente: Paniagua y Rojas (2015)

Finalmente para ajustar la composición de la solución nutritiva Universal de Steiner, se utilizó una solución madre que contuvo los micronutrientes, dicha composición se detalla en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Fuentes y cantidades de los micronutrientes utilizados en la solución nutritiva para un volumen de 1000 litros de agua a una conductividad de 2 mS/cm.

Elemento	Fuente	Cantidad (g)
Fe, Mn, Cu, Zn	Microplex [®] (Quelato de EDTA)	15
Zn	Sulfato de Zinc	4
B	Ácido bórico	28

Fuente: El autor

Para el segundo ciclo de cultivo la composición de la solución nutritiva fue formulada partir de los datos de absorción de nutrientes, los cuales fueron obtenidos de las plantas por medio de análisis químicos realizados en el Laboratorio de Análisis Agronómicos del TEC San Carlos. Las plantas seleccionadas para dicho análisis se tomaron al final del ciclo de cultivo, de manera que para el primer ciclo de cultivo, los datos de absorción además de ser utilizados para proponer una solución nutritiva Ajustada también fueron utilizados para compararlos con los datos de absorción del segundo ciclo del cultivo, ejecutándose un único muestreo por ciclo de cultivo.

Para la elaboración de esta fórmula nutritiva se tomó en cuenta la relación mutua entre aniones, la relación mutua entre cationes y la concentración de

nutrientes, así como también la composición del vegetal en sus diferentes órganos. Dichas relaciones relativas de aniones y cationes son un parámetro útil en donde se indica que el balance consiste no solo en la cantidad absoluta, sino que también de la relación cuantitativa que se establece entre los iones. La demanda y absorción de macronutrientes no es lineal durante el desarrollo de la planta, por lo tanto la composición del vegetal es un indicador de la demanda nutricional de las plantas, la cual varía las relaciones entre aniones y cationes según la etapa o estadio fenológico en el que se encuentra la planta, por lo tanto si no se realiza una sincronización de las relaciones entre aniones y cationes se podrían generar antagonismos por desbalances nutrimentales, de ahí la importancia de considerar la concentración de nutrimentos o conductividad eléctrica (Steiner 1961; Lara 1999).

La solución que nutrió las plantas estuvo compuesta por los nutrientes que se aportaron al cultivo con los fertilizantes únicamente, debido a que no se consideraron los iones contenidos en el agua. Los aportes de los fertilizantes previstos fueron por lo tanto los que definieron la concentración de nutrientes de la solución nutritiva, una forma de expresar estos aportes de fertilizantes es en meq/l de sales binarias, la forma en que se hizo este procedimiento fue por medio de una tabla de doble entrada como la que propusieron Hoagland y Arnon en donde en un eje figuran los aniones y en el otro los cationes. Por lo tanto, la suma total de aniones en miliequivalentes y la suma total de cationes en miliequivalentes debe ser la misma (20 meq/l totales), después de incluir en las celdas los meq/l totales de cada ion se procedió a deducir las concentraciones en las casillas internas, de manera que la suma de cada fila y de cada columna coincidieran con los totales y así los fertilizantes que fueron aportados obedecieron al producto de las combinaciones de sales binarias que se obtuvieron en meq/l totales de la tabla de doble entrada (Cadahia 2005).

La disolución de fertilizantes que contuvo la solución nutritiva para un volumen de 1.000 litros con una concentración de nutrientes de 2 mS/cm, se preparó utilizando los gramos de sales fertilizantes (Cuadro 13), correspondientes a los meq/l obtenidos del cruce entre aniones y cationes de la tabla de doble

entrada, por lo que fue necesario utilizar los pesos equivalentes de cada sal o fuente fertilizante.

Al igual que en la solución nutritiva Universal de Steiner, para hacer la composición de la solución nutritiva Ajustada, se utilizó una fórmula completa de uso comercial (Anexo 1), reforzando el Zinc y el Boro adicionándolos por separado, dicha composición se detalla en el Cuadro 11.

En el Cuadro 12 se puede observar la proporción de nutrientes de la solución nutritiva Ajustada a una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.

Cuadro 12. Proporción nutrimental de la solución nutritiva Ajustada a partir de los datos de absorción de las plantas del primer ciclo de cultivo en porcentaje relativo y equivalentes según cada ion, para un volumen de 1000 litros con una conductividad eléctrica de 2 mS/cm.

Ión	% relativo	Equivalentes
Potasio (K ⁺)	72,5	14,5
Calcio (Ca ⁺²)	20	4
Magnesio (Mg ⁺²)	7,5	1,5
Nitrato (NO ₃ ⁻)	60	12
Fosfato (H ₂ PO ₄ ⁻)	7,5	1,5
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	32,5	6,5

Fuente: El autor

De acuerdo a la información contenida en el Cuadro 12, en el Cuadro 13 se puede observar cuales son los equivalentes correspondientes al cruce entre cationes y aniones derivados de los valores de la solución nutritiva Ajustada para el segundo ciclo de cultivo, por otra parte la cantidad total de sales minerales que se necesitan para elaborar 1000 litros de solución manteniendo la misma conductividad eléctrica.

Cuadro 13. Valores correspondientes a equivalentes, valencia química y cantidad de sales minerales de una solución nutritiva para un volumen de 1000 litros elaborado a partir de los datos de absorción de las plantas en el primer ciclo de cultivo durante el periodo 2015-2016

Sal mineral	Equivalentes	Valencia química	Cantidad (g)
Ca(NO ₃) ₂	4	2	246,15
MgSO ₄	1,5	2	138,66
KNO ₃	8	1	606,60
K ₂ SO ₄	5	2	326,81
KH ₂ PO ₄ *7 H ₂ O	1,5	1	153,11

Fuente: El autor

3.9 Variables asociadas a los tratamientos

En el Cuadro 14 se muestran las variables asociadas a los tratamientos donde se evaluó el crecimiento, producción, calidad y absorción de nutrientes.

Cuadro 14. Variables de respuesta a medir durante el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica. 2015-2016.

Variable	Abreviatura	Unidad de medición	Frecuencia medición	Descripción
Altura de planta	AP	Centímetros	Semanal	Con una cinta métrica (Truper) se midió desde la base de la planta hasta la primera hoja definida y próxima al meristemo apical. La evaluación se mantuvo hasta el momento en que se podaron las plantas al alcanzar la parte superior del tutorado.
Número de hojas por planta	HP		Semanal	Se contabilizó el número total de hojas abiertas por planta, iniciando desde la primera semana posterior al trasplante y tomando las plantas pertenecientes a la parcela útil.

Número de frutos por planta	NFP		Semanal	Se contabilizó el número de frutos total por planta, incluyendo los frutos de cosecha.
Área foliar	AF	Centímetros	Semanal	Se midió el área foliar de dos hojas del número de plantas de la parcela útil para cada tratamiento y se utilizó una ecuación de regresión (LA= 0,851(L.W)) según la metodología propuesta por Blanco y Folegatti 2003.
Índice de área foliar	IAF	Centímetros	Semanal	Mediante un modelo matemático tomando el área foliar se obtendrá la correlación de la anchura x la longitud de la hoja, anchura o longitud de la zona de la hoja real de la muestra de hojas utilizando análisis de regresión de acuerdo a la metodología propuesta por Blanco y Folegatti 2003.
Número de frutos cosechados por planta	NFCP		Al momento de cosecha	Se contabilizó el número total de frutos cosechados por planta.
Peso promedio de los frutos por planta	PPFP	Gramos	Al momento de cosecha	Se pesaron cada uno de los frutos cosechados por planta para cada una de las parcelas de cada tratamiento hasta el final de la cosecha.
Contenido de sólidos solubles	GB	°Brix	Al momento de cosecha	Para esta determinación se realizó un muestreo destructivo de los frutos de pepino, tomando una muestra de los frutos de cada tratamiento, cortando en trozos y

				luego licuando para extraer el jugo con el cual se colocará sobre el lente del refractómetro, que es el encargado de dar la escala de Grados Brix. La medición de los Grados Brix se realizó al momento de la cosecha de los frutos.
Peso fresco planta	PSP	Gramos	Al final del ciclo	Mediante un muestreo destructivo al final de cada ciclo se tomó una muestra compuesta por cuatro plantas por parcela y se pesaron.
Peso seco planta	PSP	Gramos	Al final del ciclo	Mediante un muestreo destructivo al final de cada ciclo se tomó una muestra compuesta por cuatro plantas por parcela previamente pesadas, se empacaron en bolsas de papel y se sometieron a secado en un horno de aire forzado a 50 °C durante 48 horas, luego se pesaron en una balanza granataria, a partir de esto se calculó el peso seco por planta.
Peso fresco frutos	PFF	Gramos	Al final de cosecha	Se pesaron los frutos cosechados por planta de cada tratamiento hasta el final de la cosecha.
Peso seco frutos	PSF	Gramos	Al final de cosecha	Se tomó una muestra de frutos previamente pesados, los cuales se procesaron y fueron secados, se utilizó el peso fresco medio de frutos para determinar el peso seco de frutos por planta.

Nutrientes minerales extraídos por planta (N-P-K-Ca-Mg)	Símbolo químico según elemento o ión respectivo	g/planta y ppm	Al final del ciclo	En cada repetición se tomó una muestra compuesta la cual fue secada y enviada al laboratorio de análisis agronómicos del Tecnológico de Costa Rica para su análisis químico.
---	---	----------------	--------------------	--

Fuente: El autor

3.9.1 Variables ambientales

Por otra parte se midieron las variables ambientales correspondientes a temperatura y humedad relativa colocando un higrotermómetro (Figura 4) de mínima y máxima para cada lectura, después de haberse registrado se reinició la memoria para obtener un nuevo dato, la toma de datos se realizó a las 10:00 am durante cada ciclo de cultivo.



Figura 4. Sensor de temperatura y humedad Extech® Instruments a Flir Company 445713 instalado en el interior del invernadero para medir las variables ambientales durante el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

3.10 Manejo agronómico del cultivo

3.10.1 Preparación del invernadero

Se preparó el invernadero en cuanto a limpieza de malezas dentro de la estructura, se colocó una doble capa de plástico sobre el piso del invernadero con

el propósito de aislar y evitar el crecimiento de malezas, luego se extendió el Ground Cover previamente lavado y desinfectado.

Para el sistema de riego (Figura 5), se utilizó una bomba de medio caballo de fuerza, un temporizador de la marca Hunter® X-Core con una capacidad de manejo de tres zonas, una válvula solenoide, un filtro de anillos y un tanque de 1000 litros. En la distribución de los componentes todo fue instalado de forma tal que las hileras quedaron dispuestas perpendicularmente a la infraestructura para una mejor ventilación por captación de los vientos predominantes, se colocaron fragmentos de manguera de poliducto de media pulgada de aproximadamente 9 m de longitud sobre las macetas llenas con fibra de coco como sustrato, se conectaron a la manguera principal de una pulgada (cada 1,5 m distancia entre hileras) que proviene de la bomba que impulsa la solución nutritiva, almacenada en el tanque situado en la parte trasera del invernadero en una bodega externa. Los goteros se colocaron en las mangueras de media pulgada a 0,40 m de distancia entre sí (distancia entre plantas), y cada uno corresponde a un punto de siembra, por lo que tendrá una maceta.

Para el tutorado de las plantas, el invernadero cuenta con un sistema de cables por debajo del cual se colocaron cada una de las hileras, estos cables fueron el soporte para la malla utilizada que permite explotar la habilidad trepadora de las cucurbitáceas. Las plantas de pepino fueron tutoradas a medida que fueron creciendo, de manera que al inicio de cada semana se ajustaron las amarras y los brotes en la malla para asegurar un buen sostén y arquitectura de las plantas.



Figura 5. Sistema de riego instalado dentro del invernadero para el proyecto de investigación de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

3.10.2 Trasplante y manejo general del cultivo

Para ambos ciclos de cultivo las plántulas fueron adquiridas en Almacigos San Juan, fueron encargadas con previa anticipación y se mantuvieron hasta el día de trasplante con humedad suficiente, en el primer ciclo se realizó el trasplante 31 días después de la siembra, para el segundo ciclo se trasplantaron quince días después de la siembra.

Las plántulas de pepino fueron trasplantadas (Figura 6) inmediatamente en el momento en que reunieron las condiciones óptimas, siguiendo la recomendación de Reche (2008), quien sugiere realizar el trasplante a los 25-30 días después de la siembra en el caso de melón; por lo tanto se decidió hacer lo mismo para el pepino sin embargo en el segundo ciclo se realizó antes dado que el invernadero ya se encontraba apto para el trasplante. Antes de realizar el trasplante se activó el sistema de riego para saturar el sustrato con la solución nutritiva permitiendo un adecuado humedecimiento del sustrato, en ambos ciclos el trasplante se realizó durante horas de la tarde cuando las condiciones ambientales estuvieron más frescas.



Figura 6. Contenedores con las plántulas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus*. L) trasplantadas bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

3.10.3 Riego y fertilización

El agua y la solución nutritiva fueron suministradas conjuntamente vía riego por goteo mediante el sistema hidropónico abierto, la solución nutritiva fue preparada en un tanque de 1.000 litros, realizándose la disolución en un balde con poca agua para cada una de las fuentes de fertilizantes, con el propósito de evitar la formación de precipitados.

La frecuencia de riego fue definida mediante un patrón de distribución de seis riegos con una duración de cuatro minutos cada uno inicialmente para el primer ciclo de cultivo, debido a que no se contaba con un temporizador por lo que los riegos fueron accionados manualmente, evitando la aparición de plantas con estrés hídrico. En el segundo ciclo de cultivo el patrón de distribución cambio a doce ciclos de riego de acuerdo a la capacidad del programador, distribuidos desde las 7: 00 am hasta las 6: 00 pm, en ambos ciclos la duración de los riegos se ajustó según la fenología del cultivo, de forma que los tiempos fueron establecidos de acuerdo al comportamiento fenológico de las plantas, en el momento en que aparecieran plantas con síntomas por falta de agua en las horas más críticas cercanas al medio día, se corregía con el aumento en un minuto el

tiempo de riego, si continuaban las manifestaciones por estrés se aumentaba en un minuto los riegos de las mañanas y tardes.

Es importante recordar, que bajo este tipo de sistema, el fertirriego, a diferencia del abonado tradicional, solo cuenta con la composición del agua de riego, el equilibrio de la solución y la especie cultivada, por lo tanto el volumen de raíces es menor, lo cual puede provocar la vulnerabilidad del cultivo a presentar riesgos por déficit de agua, por lo que se debe prestar especial atención a los momentos del día de máximo consumo de agua.

3.10.4 Polinización

Se incluyó una pequeña colmena de abejas sin agujón (Anexo 2) conocidas como “Mariolas” (*Tetragonisca angustula*), ubicándolas en uno de los pasillos entre las hileras del cultivo.

3.10.5 Poda

Al día 47 después del trasplante se realizó una poda de todas aquellas plantas que superaban el cable del tutorado a 3 m de altura (Figura 7). El corte se hizo sobre la primer hoja por encima del cable de tutorado, esto para el primer ciclo de cultivo debido a que para el segundo no fue necesario hacer esta poda, sin embargo en ambos ciclos a lo largo de su crecimiento se realizaron podas de hoja con el propósito de limpiar las plantas de hojas senescentes y de hojas afectadas por la presencia de *Pseudomonas syringae* enfermedad que se presentó tanto al final del primer ciclo como a lo largo de todo el segundo ciclo de cultivo.



Figura 7. Poda de tallos y hojas afectadas por moteado angular del pepino en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

3.10.6 Manejo fitosanitario

Dentro de las condiciones que caracterizan el medio ambiente de un invernadero, la aparición y propagación de numerosas plagas y enfermedades no queda exenta pese al trabajo de limpieza y desinfección previo al establecimiento de la plantación. Por lo tanto, el control de plagas y enfermedades se realizó dependiendo de la presencia e incidencia de las mismas, y se utilizaron productos químicos y biológicos recomendados para esta práctica de control, en el Cuadro 15 se muestran los agroquímicos aplicados para cada plaga identificada durante el desarrollo de ambos ciclos de cultivo.

Cuadro 15. Agroquímicos utilizados para el control de las plagas y enfermedades presentes en ambos ciclos con los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Nombre comercial del agroquímico	Ingrediente activo	Dosis	Plaga a controlar
Muralla Delta 19 OD	Imidacloprid	1 cc/l	Lepidópteros
Verlaq 1.8 EC	Deltametrina	1,5 cc/l	Ácaros
Javelin 6.4 WG	Abamectina	60 g/bomba	Lepidópteros
Kilol L DF 100 11 SL	Bacillus Thuriengiensis	3 cc/l	<i>Pseudomonas syringae</i>
Agri-mycin 16.5 WP	Extracto de semilla de cítricos	21,6 g/bomba	<i>Pseudomonas syringae</i>
Phyton 27 6.28 SL	Estreptomina	11,25 cc/bomba	<i>Pseudomonas syringae</i>
	Oxitetraciclina		
	Sulfato de cobre pentahidratado		<i>Pseudomonas syringae</i>

Fuente: El autor

Toda aplicación se acompañó con el coadyuvante Cosmo In[®] y se utilizó una bomba aspersora de mochila.

3.11 Programa estadístico

El análisis estadístico fue realizado mediante el uso del *software* InfoStat/P 2015 (Di Rienzo *et al.* 2015) para cada una de las variables. Se utilizó una significancia del 5% para el análisis de los datos.

3.12 Pruebas estadísticas utilizadas

El análisis de las variables se realizó mediante la técnica de Modelos lineales, generales y mixtos aplicados a la comparación entre los tratamientos evaluados. La comparación entre medias de los tratamientos se realizó con la prueba Bonferroni $p=0,05$.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se evaluó el crecimiento, la producción, la calidad y la absorción de nutrimentos de tres cultivares de pepino bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica.

4.1 Análisis del crecimiento

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de significancia para cada una de las variables de crecimiento obtenido mediante Análisis de Varianza, para la interacción solución nutritiva * cultivar hubo diferencias no significativas en la mayoría de las variables de crecimiento (Anexo 5), a excepción de la altura máxima de plantas ($p=0,0238$) y el peso fresco ($p=0,0217$) y seco de frutos ($0,0009$), que además presentaron diferencias significativas en los factores individualmente. Al analizar cada factor por separado se observa como entre soluciones nutritivas hubieron diferencias significativas para la cantidad de hojas por planta, el área foliar, el índice de área foliar y el peso fresco y seco de follaje y fruto, para el factor cultivar también hubieron diferencias significativas para las mismas variables, pero no para el peso fresco y seco de follaje (Anexo 5).

Al combinar ambos factores, las diferencias obtenidas no logran visualizarse en el análisis de cada una de las variables con respecto a la interacción entre las soluciones nutritivas y los cultivares, por lo tanto, esas diferencias están asociadas en respuesta a los cambios en las composiciones de ambas soluciones nutritivas y a las características genéticas de cada cultivar.

La combinación de ambos factores no influyó uno sobre el otro como para cambiar las diferencias ya existentes en las variables dentro de cada factor, a excepción de la altura máxima de plantas y el peso fresco y seco de fruto. En el Cuadro 15 se observa como el cv Modán RZ no se vio afectado al usar la solución nutritiva Ajustada, no así para los otros cultivares que crecieron menos como consecuencia de la interacción solución nutritiva*cultivar.

Cuadro 16. Significancia de las variables de crecimiento de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	Altura de planta máxima (cm)	N° Hojas/planta máxima	Área foliar máxima	Índice área foliar máxima	Peso fresco (g/planta)		Peso seco (g/planta)	
					Follaje	Fruto	Follaje	Fruto
Ciclo (SN)	S	S	S	S	S	S	S	S
Cultivar	S	S	S	S	NS	S	NS	S
Ciclo (SN)*Cultivar	S	NS	NS	NS	NS	S	NS	S

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

Los datos de altura, cantidad de hojas, el área foliar y su índice de área foliar, así como el peso fresco y seco fraccionado en follaje y fruto se presentan en el Cuadro 17, donde se observa un comportamiento similar para la mayoría de las variables, destacándose la altura como la única en mostrar diferencias significativas al interactuar los cultivares con diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 17. Distribución de medias para las variables de crecimiento de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Ciclo (SN)	Genotipo	Altura de planta máxima (cm)	N° Hojas/planta máxima	Área foliar máxima (cm ²)	Índice área foliar máxima	Peso fresco (g/planta)		Peso seco (g/planta)	
						Follaje	Fruto	Follaje	Fruto
1	Monalisa	270,03 ± 8,82 a	62,92 ± 5,17 a	458,61 ± 31,79 ab	6,79 ± 0,47 ab	294,86 ± 64,43 a	361,97 ± 8,73 a	21,38 ± 3,15 ab	10,92 ± 0,50 a
	Modán RZ	287,92 ± 3,55 a	61,86 ± 7,23 a	562,83 ± 30,72 a	8,34 ± 0,46 a	335,44 ± 70,27 a	342,60 ± 5,06 a	26,68 ± 4,63 a	5,53 ± 0,20 c
	Tropicuke	285,53 ± 3,81 a	82,83 ± 5,77 a	432,98 ± 16,20 b	6,41 ± 0,24 b	349,70 ± 44,16 a	354,25 ± 4,85 a	27,76 ± 2,35 a	11,05 ± 0,17 a
2	Monalisa	226,09 ± 12,56 b	20,75 ± 1,76 b	202,47 ± 14,98 cd	3,00 ± 0,22 cd	206,50 ± 29,09 b	264,61 ± 28,20 bc	15,31 ± 1,23 ab	7,92 ± 0,73 b
	Modán RZ	278,28 ± 5,74 a	18,27 ± 0,80 b	280,75 ± 36,84 c	4,16 ± 0,55 c	189,63 ± 4,03 b	274,40 ± 8,73 b	15,38 ± 0,65 ab	4,43 ± 0,21 c
	Tropicuke	221,72 ± 13,80 b	20,09 ± 1,21 b	148,88 ± 8,01 d	2,21 ± 0,12 d	174,94 ± 31,44 b	203,67 ± 9,95 c	13,55 ± 1,90 b	6,08 ± 0,16 bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

En los cv Monalisa y Tropicuke se detectó una disminución en la altura de las plantas, es decir la altura máxima fue diferente con la solución nutritiva Ajustada y los valores promedio de altura por planta pasaron de 270,03 cm y 285,53 cm a 226,09 cm y 221,72 cm respectivamente; siendo el cv Modán RZ el único que logró alcanzar valores similares de altura máxima al final de cada ciclo, con ambas soluciones nutritivas.

Las diferencias de peso fresco y seco de fruto se vieron afectadas negativamente al combinar ambos factores, puesto que ambos pesos fueron menores al usar una solución nutritiva con respecto a la otra en todos los cultivares, con excepción del cv Modán RZ que no presentó diferencias estadísticamente significativas para la variable peso seco de fruto cuando se usaron ambas soluciones nutritivas.

Por otra parte el resto de variables mostraron comportamientos similares en la interacción solución nutritiva*cultivar ($p>0,05$) Anexo 5, sin embargo al analizar el factor solución nutritiva (ciclo) por separado las variables número de hojas por planta, área foliar e índice de área foliar, peso fresco y seco de follaje inclusive la altura máxima y el peso fresco y seco de fruto, mostraron una diferencia entre el primer y el segundo ciclo de cultivo. Por lo tanto la solución nutritiva Universal de Steiner fue superior a la solución nutritiva Ajustada, donde todos los cultivares alcanzaron rangos de 270,03 cm a 287,92 cm y 221,72 cm a 278,28 cm de altura máxima, 61,86 a 82,83 y 18,27 a 20,75 hojas por planta, 432,98 cm² a 562,83 cm² y 148,88 cm² a 202,47 cm² en área foliar, 6,41 a 8,34 y 2,21 a 4,16 de índice de área foliar, 294,86 g a 349,70 g y 174,94 g a 206,50 g de peso fresco de follaje (parte aérea + raíz), 342,60 g a 361,97 g y 203,67 g a 274,40 g de peso fresco de fruto, 21,38 g a 27,76 g y 13,55 g a 15,38 g de peso seco de follaje, 5,53 g a 11,06 g y 4,43 g a 7,92 g de peso seco de fruto respectivamente.

Gül *et al.* (2007), evaluó los cultivares de pepino Armada y Gordion usando una fuente de nutrientes inorgánicos con cuatro mezclas de sustrato a base de perlita + clinoptilolita en la estación de otoño y obtuvo una longitud de tallos de 283,0 cm, similar a lo alcanzado por los cultivares en esta investigación con la solución nutritiva de Steiner.

Cardona (2015), bajo invernadero con el cv Paraíso (Vitalis organic seeds®) evaluó cuatro concentraciones diferentes de K en la solución nutritiva y en dos estaciones diferentes (Invierno y Primavera), reportando el valor más alto de altura con 173,33 cm cuando usó una concentración de 9,6 meq L⁻¹ de K en uno de sus tratamientos; esta altura es menor a las alturas alcanzadas por los cultivares en esta investigación con ambas soluciones nutritivas. El mismo autor reporta una altura de 149,33 cm con una concentración de 7 meq L⁻¹ de K, correspondiente al tratamiento con la solución nutritiva de Steiner, siendo esta menor a las alturas obtenidas por los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke con la misma solución nutritiva y concentración de K; donde el valor mínimo fue de 270,03 cm de altura alcanzada por el cv Monalisa y un máximo de 287,92 cm alcanzado por el cv Modán RZ.

Cardona (2015), menciona a Preciado *et al.* (2002) y concuerda con los valores reportados por dicho autor, obteniendo alturas similares cuando usó concentraciones cercanas a los 10 meq L⁻¹ de K, afirmando además que fueron los valores más altos de altura, sin embargo eso no se dio en ninguno de los cultivares en estudio según lo mencionado anteriormente.

En la solución nutritiva Ajustada la concentración de K fue de 14,50 meq L⁻¹ mayor a las usadas por Cardona (2015), quien concluye que altas concentraciones de K (superior a 10 meq L⁻¹) inhiben la elongación celular y detienen el crecimiento del tallo, la absorción de Ca es inhibida como consecuencia del uso excesivo de K, afectando los procesos de elongación y división celular, lo cual pudo haber sido la causa principal del porque las plantas crecieron menos cuando se usó la solución nutritiva Ajustada.

De acuerdo con los resultados del Cuadro 17, los cultivares respondieron diferente de acuerdo a la concentración de K en ambas soluciones nutritivas, suponiendo que niveles altos de potasio acortan los entrenudos y detienen el crecimiento de las plantas como se muestra en la Figura 8.

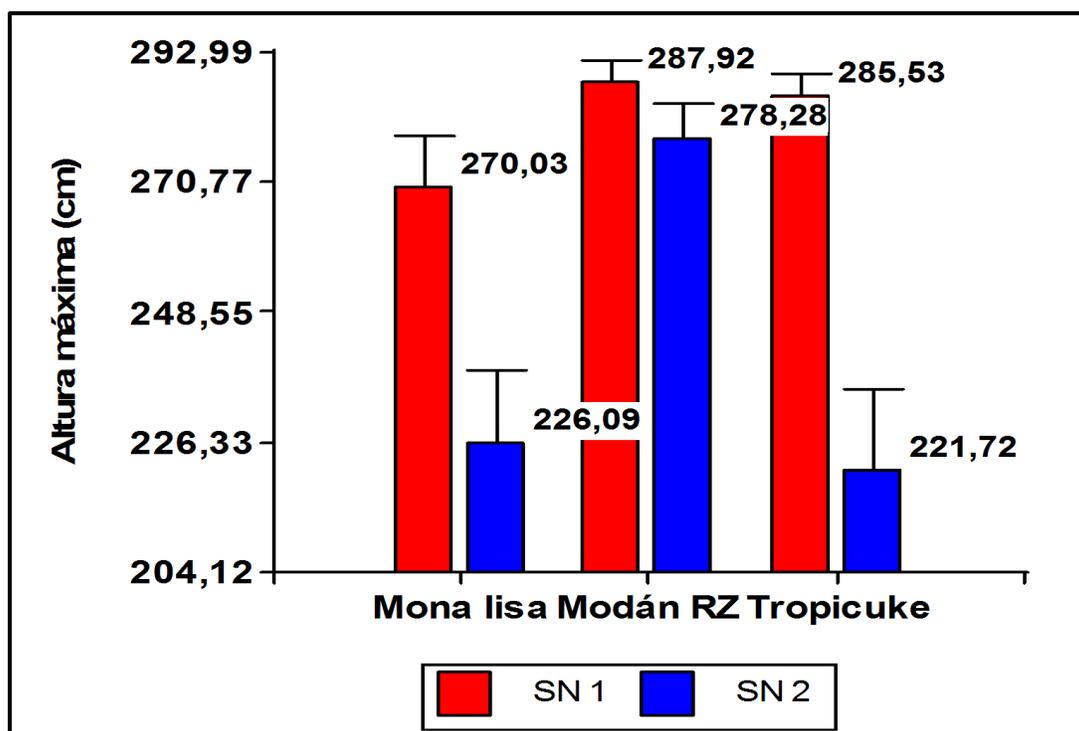


Figura 8. Altura máxima de plantas (cm) en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

El área foliar media por planta obtenida con la solución nutritiva Universal de Steiner para los tres cultivares oscila a lo reportado por Sánchez del Castillo *et al.* (2014) con diferentes sistemas hidropónicos para otros cultivares de pepino en ambiente protegido, siendo estos valores de 393 cm² a 494 cm² donde el valor más alto se obtuvo al manejar las plantas en bolsas con sustrato de arena de tezontle (arena roja volcánica) en sistema hidropónico abierto.

Con la solución nutritiva Ajustada, los valores fueron más bajos con respecto a los obtenidos con la solución nutritiva Universal de Steiner y más altos con respecto a los reportados por Cardona (2015); quien uso diferentes concentraciones de K en la solución nutritiva, incluyendo la solución nutritiva Universal de Steiner con el cv Paraíso en sistema hidropónico bajo invernadero, reportando un promedio de área foliar de 130,37 cm² usando una concentración de 11,8 meq L⁻¹ de K, inferior a lo alcanzado por el cv Tropicuke con una concentración de 14,50 meq L⁻¹ de K de la solución nutritiva dos.

Ward (1967), en un estudio sobre nutrición de pepino en invernadero con el híbrido Burpee cultivado en un suelo de fertilidad relativamente alta, acumuló un peso seco total de 685 g/planta, y fraccionado de 148,10 g/planta correspondiente a toda la parte aérea incluyendo la raíz y 536,12 g/planta correspondiente a frutos, estos valores son mucho más altos a los obtenidos en esta investigación, los cuales fueron obtenidos por una planta sana y vigorosa con una producción de 12 kg de fruta por planta para un ciclo de 6 meses de duración.

Sánchez del Castillo *et al.* (2014), reportaron peso seco por planta de 89,7 g en un sistema hidropónico de raíz flotante, 68,5 g y 66,3 g con un sistema de recirculación de la solución nutritiva en bolsas y camas con arena de tezontle como sustrato y 79,6 g y 63,2 g en un sistema sin recirculación de la solución nutritiva en bolsas y camas con el mismo sustrato para el híbrido Alcázar (Vitalis organic seeds[®]), tales pesos fueron obtenidos a los 55 DDT manejados con la solución nutritiva propuesta por Sánchez del Castillo y Escalante (1988) resultando ser más elevados a los reportados en esta investigación.

Barraza (2012), realizó estudios sobre la acumulación de materia seca utilizando el híbrido Saber (Vitalis organic seeds[®]) cultivado en invernadero con tezontle rojo bajo diferentes concentraciones de la solución nutritiva Universal de Steiner (1961), reportando valores de materia seca acumulada de 67,32 g, 94,83 g, 95,38 g y 113,31 g por planta a los 60 DDT con porcentajes de 25, 75, 125 y 175 de dicha solución nutritiva respectivamente; similares a los reportados por Sánchez del Castillo *et al.* (2014). Los valores de materia seca alcanzados por los

cv Monalisa, Modán RZ y Tropicuke no fueron tan altos como los reportados por Ward (1967); Barraza (2012) y Sánchez del Castillo *et al.* (2014).

Para el factor cultivar las variables altura máxima, área foliar e índice de área foliar, fue cv Modán RZ el que alcanzó los valores más elevados respecto a los otros cultivares, registrando un valor de 287,92 cm y 278,28 cm de altura máxima en relación al cv Monalisa con valores de 270,03 cm y 226,09 cm y al cv Tropicuke con 285,53 cm y 221,72 cm con la solución nutritiva Universal de Steiner y la solución nutritiva Ajustada respectivamente.

El área foliar y el índice de área foliar en el cv Modán RZ fue de 562,83 cm² y 280,75 cm² y 8,34 y 4,16 con la solución nutritiva Universal de Steiner y la solución nutritiva Ajustada respectivamente, fue superior al cv Monalisa con 458,61 cm² y 202,47 cm² de área foliar y 6,79 y 3,00 en su índice de área foliar, quedándose el cv Tropicuke con los valores más bajos en estas dos variables donde sus registros indican valores de 432,98 cm² y 148,88 cm² y 6,41 y 2,21 igualmente con la solución nutritiva Universal de Steiner y la solución nutritiva Ajustada respectivamente.

El cv Modán RZ en las variables descritas anteriormente fue superior debido al tamaño de sus hojas y no tanto así en la cantidad por planta, visto de otro modo el cv Tropicuke produjo mayor cantidad de hojas por planta (51,46) sin embargo eran hojas con tamaños más pequeños por lo que no fue suficiente para alcanzar valores más elevados de área foliar e índice de área foliar.

El cv Modán RZ presentó el menor peso seco de fruto, de manera que el peso fresco promedio de fruto fue de 342,60 g, un 98,39 % correspondió a agua y el restante 1,61 % correspondiente a 5,52 gramos de materia seca de fruto, de la misma forma se obtuvieron los valores para los otros cultivares, donde Tropicuke y Monalisa alcanzaron valores muy similares entre sí, dichos valores fueron de 11,06 g y 10,94 g de peso seco de fruto, equivalente a un 3,12 % y 3,02 % respectivamente. Los frutos del cv Modán RZ se distinguieron de los frutos de los otros cultivares por tener mayor contenido de agua, afectando su valor en base seca a pesar de que no hubo diferencias significativas en el peso fresco de frutos para los cultivares con la solución nutritiva Universal de Steiner.

Ward (1967), obtuvo un peso seco total de frutos igual 536,2 g/planta para una planta cuya producción rodeaba los 12 kg de fruta, los cultivares evaluados en esta investigación obtuvieron un mínimo de peso seco de cosecha igual a 46,59 g/planta con el cv Modán RZ y un máximo de 69,13 g/planta con el cv Tropicuke usando la solución nutritiva Universal de Steiner que fue la que dio mejor resultado, siendo superado de igual manera a lo obtenido por Ward (1967), recordando que esa producción se dio cultivando en suelo de alta fertilidad y con un ciclo de 6 meses donde su explotación fue mayor.

4.2 Análisis de producción

En el Cuadro 18, se presenta la significancia de las variables de producción, mostrando en la interacción diferencias altamente significativas para el número de frutos cosechados por planta ($p=0,006$) y diferencias muy significativas para el peso de cosecha por planta ($p=0,0077$) y peso medio de frutos cosechados ($p=0,0217$) caso contrario ocurrió con el número de frutos por planta y los grados Brix los cuales fueron similares entre un ciclo y el otro para el mismo factor de variación solución nutritiva*cultivar (Anexo 6).

Cuadro 18. Significancia de las variables de producción de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor (SN)	N° Frutos/planta	N° Frutos Cosechados/planta	Peso Cosecha/planta (g)	Peso medio fruto cosechado (g)	Brix
Ciclo (SN)	S	S	S	S	S
Cultivar	NS	S	S	S	NS
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	S	S	S	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

A nivel de ciclo (solución nutritiva) se observa la presencia de diferencias significativas en todas las variables ($p<0,05$), sin embargo, a nivel de cultivar el número de frutos por planta ($p=0,4575$; Anexo 6) y los grados Brix ($p=0,1030$;

Anexo 7) muestran diferencias no significativas (Cuadro 18); el resultado de la prueba de comparación de medias para el número de frutos por planta, el número de frutos cosechados por planta, el peso de cosecha por planta (rendimiento g/planta), el peso de frutos y los grados Brix, se muestra en el Cuadro 19 .

Cuadro 19. Distribución de medias para las variables de producción de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Ciclo	Tratamiento	N° frutos promedio/planta	N° frutos cosechados/planta	Peso cosecha/Planta (g)	Peso Promedio Fruto (g)	Brix
1	Monalisa	12,50 ± 1,58 ab	5,52 ± 0,47 b	2001,56 ± 128,28 b	361.97 ± 8.73 a	4,08 ± 0,36 a
	Modán RZ	15,48± 2,48 a	8,44 ± 0,78 a	2895,31 ± 170,02 a	342.60 ± 5.06 a	3,60 ± 0,36 a
	Tropicuke	13,86 ± 2,04 ab	6,25 ± 0,60 b	2213,13 ± 102,39 b	354.25 ± 4.85 a	3,73 ± 0,36 a
2	Monalisa	5.93 ± 0,52 b	0,56 ± 0,24 c	158,91 ± 44,97 c	264.61 ± 28.20 bc	3,65 ± 0,32 a
	Modán RZ	6.81 ± 0,47 ab	1,23 ± 0,24 c	338,91 ± 36,01 c	274.40 ± 8.73 b	2,80 ± 0,08 b
	Tropicuke	6.22 ± 0,67 b	0,30 ± 0,21 c	57,97 ± 18,87 c	203.67 ± 9.95 c	3,15 ± 0,17 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

El conteo de frutos (N° frutos promedio por planta) inicio a los 15 DDT prolongándose hasta el final de cada ciclo de cultivo en todos los cultivares, como resultado se obtuvieron diferencias no significativas en la interacción solución nutritiva*cultivar ($p=0,7898$) Anexo 6, mostrándose un comportamiento similar con una diferencia entre el primer y segundo ciclo de cultivo, donde la solución nutritiva Universal de Steiner favoreció mayormente a los cultivares en comparación con la solución nutritiva Ajustada, donde todos los cultivares alcanzaron rangos de 12,50 frutos a 15,48 frutos y 5,93 frutos a 6,81 frutos por planta respectivamente.

López *et al.* (2011), reportaron para esta variable valores de 15,1 frutos por planta en el cv Camán, 16,8 frutos por planta para cv Esparón y 15 frutos por planta para cv Modán y no encontró diferencias estadísticamente significativas

entre ellos, en este caso el número de frutos por planta fue mayor en el cv Modán RZ con 15,48 frutos y 6,81 frutos, usando la solución nutritiva Universal de Steiner y la solución nutritiva Ajustada respectivamente.

Cardona (2015), obtuvo 12 frutos por planta usando una solución nutritiva con una concentración de $11,8 \text{ meq L}^{-1}$ de K con el cv Paraíso, similar a lo alcanzado por el cv Modán RZ con 12,50 frutos por planta con la solución nutritiva Universal de Steiner, que tuvo una concentración menor de K (7 meq L^{-1}) donde este autor la reporta con una cantidad de 8,33 frutos por planta inferior a lo alcanzado por los cultivares en estudio. En la cual los resultados para esta variable en esta investigación difieren de la relación que pueda tener la cantidad de nutrientes aplicada con dichas concentraciones de K en la solución nutritiva.

El número de frutos por planta en los cultivares usando la solución nutritiva Ajustada, resultaron ser muy similares al número reportado por López (2014), con la variedad Luxell (6,9 frutos/planta) usando la solución nutritiva Universal de Steiner en un ciclo de cuatro meses de duración, siendo ese un valor bajo comparándolo con la cantidad de frutos por planta alcanzado por los cultivares de esta investigación, usando la misma solución nutritiva además de presentar una diferencia en edad de 60 días aproximadamente en la duración del ciclo de cultivo.

El número de frutos cosechados por planta fue superior en el cv Modán RZ obteniendo el número más alto de frutos cuando se cultivó con la solución nutritiva Universal de Steiner, el número fue superior a ocho en comparación a los otros cultivares con la misma solución nutritiva, que lograron alcanzar entre cinco y seis frutos cosechados para los cv Monalisa y Tropicuke respectivamente.

Con la solución nutritiva Ajustada se mantiene el mismo comportamiento en los resultados, donde continúa siendo superior el cultivar Modán RZ; sin embargo entre ciclos hay una diferencia bastante notoria disminuyendo la cantidad de frutos cosechados por planta para los diferentes cultivares de pepino, tal disminución alcanza menos de un fruto cosechado por planta para los cultivares Monalisa y Tropicuke, de acuerdo a lo que menciona Barraza (2012), este comportamiento observado en los cultivares manejados con la solución nutritiva Ajustada puede estar relacionado con un alto porcentaje de aborto de flores y frutos.

En cuanto al peso de la cosecha por planta o rendimiento (g/planta) está ampliamente relacionado con lo anteriormente mencionado para el número de frutos que llegaron a ser cosechados, debido a que entre mayor es el número de frutos cosechados mayor es la cantidad en gramos de fruto cosechado. Por esta razón el cv Modán RZ fue superior con un rendimiento total de 2895,31 g/planta con la solución nutritiva Universal de Steiner, independientemente del peso de los frutos, los cuales presentaron pesos similares entre cultivares sobrepasando los 340 gramos. López *et al.* (2011), reportaron pesos de fruto en gramos de 337 en el cv Camán, 324 g en cv Esparón y 328 g en cv Modán bajo condiciones de invernadero, los cuales son similares a los obtenidos en esta investigación (Cuadro 19) que además coincide con Hochmuth *et al.* (1996) y Té (2008), citados por López *et al.* (2011), quienes evaluaron cultivares de pepino y no encontraron diferencias significativas para dicha variable.

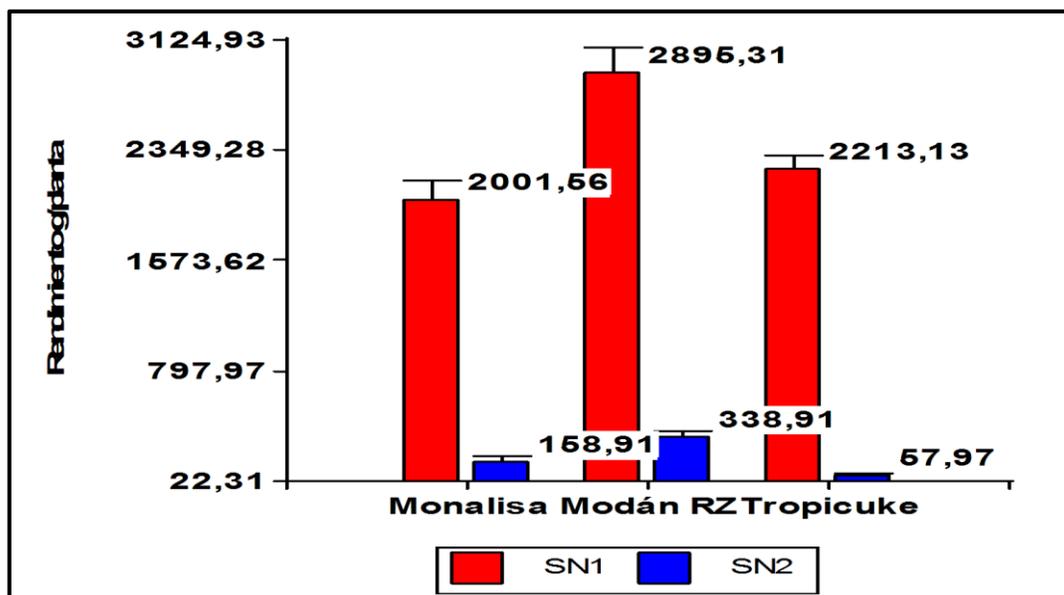


Figura 9. Rendimiento en g/planta de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Con la solución nutritiva Ajustada, el cultivar Modán RZ y los otros alcanzaron un rendimiento inferior a los 350 g/planta, además de alcanzar menos

frutos cosechados por planta y menos gramos de fruto (rendimiento/planta), los cultivares Monalisa y Tropicuke produjeron frutos menos pesados en comparación con los frutos producidos con la solución nutritiva Universal de Steiner, registrando valores de peso entre los 361,97 g y 354,25 g hasta los 264,61 g y 203,67 g entre ciclos. Sin embargo, el peso obtenido con la solución nutritiva Ajustada fueron similares a los reportados por Sánchez del Castillo *et al.* (2014), usando diferentes sistemas hidropónicos, por ejemplo en Raíz flotante fue de 270 g, en bolsa con arena de tezontle comparado con las macetas y la fibra de coco, el peso medio fue de 268 g contra 248 g, siendo este peso inferior al obtenido por los cultivares con la solución nutritiva Universal de Steiner.

Barraza (2012), obtuvo un rendimiento acumulativo de 3,310 kg/planta usando un 25% de concentración de la solución nutritiva Universal de Steiner (1961) a los 120 DDT con el híbrido Saber (Vitalis organic seeds[®]), comparado con el rendimiento mínimo y máximo (2,001 y 2,895 kg/planta) alcanzado por los cultivares Monalisa y Modán RZ respectivamente con la solución nutritiva Universal de Steiner (1984), no fue tan superior pese a que hay una diferencia en edad de 60 días de duración.

López (2014), reportó un rendimiento de 2,485 kg/planta usando la solución nutritiva Universal de Steiner con la variedad Luxell, este valor se encuentra dentro del rango de rendimientos alcanzados por los cultivares con dicha solución nutritiva, sin embargo cabe mencionar que ese rendimiento se logró en un ciclo de cultivo de cuatro meses de duración.

Los grados Brix presentaron un comportamiento similar ya que no se encontraron diferencias significativas en la interacción solución nutritiva*cultivar ($p=0,8170$; Anexo 7), sin embargo, al analizar cada factor por separado se encontraron diferencias significativas entre soluciones nutritivas ($p=0,0228$); los cultivares Modán RZ y Tropicuke usando la solución nutritiva Ajustada produjeron frutos con menor contenido de sólidos solubles, con valores de 2,80 °Brix y 3,15 °Brix respectivamente. En contraste el cultivar Monalisa con la solución nutritiva Ajustada en conjunto con su semejante y los otros dos cultivares con la solución

nutritiva Universal de Steiner, presentaron lecturas similares entre los 3,60 °Brix y 4,08 °Brix.

López (2014), evaluó soluciones nutritivas sobre la producción y calidad usando el cv Luxell, reportando un contenido de sólidos solubles de 4,2 °Brix utilizando la solución nutritiva Universal de Steiner, valor que supera ligeramente a lo alcanzado por los frutos del cv Monalisa usando esta misma solución nutritiva. Cardona (2015), reporta un valor de 4,4 °Brix en los frutos del cv Paraíso con la solución nutritiva Universal de Steiner, por lo tanto, los valores obtenidos en el contenido de sólidos solubles para los cultivares de esta investigación se encuentran dentro de los rangos reportados por Parra *et al.* (2009), citado por López (2014), que van de 3,7 °Brix a 4,2 °Brix y por Kleinhenz y Bungarner (2012), citado por Cardona (2015), que van de los 2,2 °Brix a 5,4 °Brix.

A pesar de que la planta de pepino es bastante succulenta en todas sus partes, hubo mayor acumulación de sólidos solubles totales que están relacionados con la utilización de la solución nutritiva Universal de Steiner para todos los cultivares, siendo el primer ciclo diferente al segundo (Cuadro 19); sin embargo, este efecto puede deberse a la madurez fisiológica con la que estos frutos fueron cosechados y a características propias de cada uno de los cultivares.

Los frutos de los dos cultivares que registraron valores bajos en el contenido de sólidos solubles, no están exentos a producir frutos amargos, en sí el cultivo de pepino tiene la particularidad de presentar dicha característica debido principalmente a la formación de dos sustancias llamadas cucurbitacinas, las cuales están implicadas en el control genético, donde un gen dominante y uno recesivo son los responsables de producir o inhibir la formación de estas sustancias en órganos de follaje y frutos. Por otra parte, existe una enzima llamada elateraza encargada de hidrolizar las cucurbitacinas convirtiéndolas en compuestos no orgánicos, sin embargo esta enzima se ve amenazada por las condiciones ambientales como los cambios de temperatura (Coeto 2013).

4.3 Análisis de absorción de macronutrientes

El Cuadro 20 muestra la significancia de las variables de absorción total de macronutrientes expresados como cantidad extraída por planta en gramos. Se observa en la interacción solución nutritiva*cultivar diferencias no significativas ($p>0,05$) Anexo 8, indicando porcentajes similares de absorción en todos los macronutrientes. Al analizar cada factor por separado los macronutrientes presentaron diferencias significativas a nivel de solución nutritiva ($p<0,05$) y a nivel de cultivar, solo el N ($p=0,0001$), P ($p=0,0440$) y K ($p=0,0380$); por lo que el Ca ($p=0,7633$) y Mg ($p=0,2757$) no fueron significativamente diferentes, Anexo 8.

Cuadro 20. Significancia de las variables de absorción total de macronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
Ciclo (SN)	S	S	S	S	S
Cultivar	S	S	S	NS	NS
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

Al combinar ambos factores, las diferencias de absorción de N-P-K obtenidas en cada factor no se reflejan en el análisis de cada uno de estos nutrientes con respecto a la interacción entre las soluciones nutritivas y los cultivares ($p>0,05$) Anexo 8, por lo tanto, esas diferencias están dadas como respuesta a los cambios en la composición de ambas soluciones nutritivas y a las características genéticas de cada cultivar, la combinación de ambos factores, no proporciona ningún cambio a esas diferencias ya existentes en cada factor, en el Cuadro 23 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias para todos los macronutrientes.

El Cuadro 21, muestra la significancia en la absorción de macronutrientes de la fracción vegetativa (parte aérea + raíz), presentando un comportamiento en la interacción solución nutritiva*cultivar similar al Cuadro 20 con diferencias no significativas ($p>0,05$; Anexo 9), y a nivel de solución nutritiva diferencias significativas para todos los macronutrientes, no así para el factor cultivar.

Cuadro 21. Significancia de las variables de absorción de macronutrientes en parte vegetativa de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
Ciclo (SN)	S	S	S	S	S
Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

Al analizar el factor solución nutritiva, la significancia obtenida en el Análisis de Varianza de todos los macronutrientes, indicó comportamientos diferentes al usar una solución con respecto a la otra, de modo que hubo mayor o menor absorción de macronutrientes en las plantas con una de las dos soluciones nutritivas.

A diferencia de los Cuadros 20 y 21, el Cuadro 22 muestra la significancia de absorción de macronutrientes en frutos por planta. La interacción solución nutritiva*cultivar presenta diferencias significativas ($p<0,05$) con el P, K, Ca y Mg, por otra parte el N fue el único nutriente que presentó un comportamiento similar al encontrarse diferencias no significativas ($p=0,4963$; Anexo 10).

Cuadro 22. Significancia de las variables de absorción de macronutrientes en frutos de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
Ciclo (SN)	S	NS	S	S	NS
Cultivar	S	S	S	NS	NS
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	S	S	S	S

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

El N por si solo mostró diferencias de absorción entre soluciones nutritivas ($p<0,0001$) y también a nivel de cultivares sus absorciones fueron iguales ($p<0,0001$; Anexo 10), sin embargo, al combinar ambos factores no se propició un cambio y estadísticamente no se presentaron diferencias significativas

($p=0,4963$); caso contrario sucedió con el Mg donde la combinación de ambos factores si genero cambios en la absorción de este nutriente ($p=0,0152$), que hicieron que fuera estadísticamente diferente a pesar que entre soluciones nutritivas y entre cultivares las diferencias fueron no significativas ($p>0,05$) Anexo 10.

El P por si solo mostró diferencias de absorción entre cultivares ($p<0,0001$) no así entre soluciones nutritivas ($p=0,8434$); por el contrario el Ca si presentó diferencias de absorción entre soluciones nutritivas ($p<0,0001$) y entre cultivares la absorción fue similar ($p=0,0749$), ambos nutrientes comparten el mismo comportamiento cuando fueron combinados ambos factores, resultando en un cambio que estadísticamente presentó diferencias significativas en la absorción por parte de los frutos ($p<0,05$; Anexo 10).

Para el K las diferencias significativas encontradas en cada uno de los factores analizados separadamente mostraron un cambio, el cual se distingue por la presencia de diferencias estadísticamente significativas, independientemente de su impacto positivo o negativo.

La combinación de soluciones nutritivas y cultivares analizadas por separado como fracción vegetativa y frutos, presento diferencias significativas solo en la fracción de frutos en todos los macronutrientes a excepción del N; lo cual se interpreta como una absorción a nivel de tejidos vegetativos similar en cada uno de los cultivares, donde todos los macronutrientes fueron absorbidos constantemente hasta desarrollar una planta normal, Yáñez (2002), menciona al N en conjunto con el Mg, Zn, Fe y Mn como los nutrientes que más frecuentemente interactúan en la formación de tejidos vegetativos, predisponiendo a la planta para la producción de frutos de mayor peso y tamaño, la diferencia de absorción en órganos reproductivos (frutos) pudo haberse dado a la translocación y acumulación de los nutrientes en estos tejidos, los nutrientes están implicados directamente en funciones de crecimiento y reproducción y algunos de ellos tienen la facilidad de moverse dentro de la planta (N, P, K, Mg, Cl, Na, Mo y Zn), la producción que tuvieron los cultivares cuando se usó una solución nutritiva con respecto a la otra, pudo estar influenciada por el suministro de nutrientes en la

planta, afectando diferentes procesos relacionados al crecimiento y por ende en su rendimiento (Barrera *et al.* 2007).

El Cuadro 23 contiene los resultados totales de macronutrientes absorbidos por planta y fraccionado en parte vegetativa y frutos, obtenidos mediante la prueba de comparación de medias de Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Cuadro 23. Distribución de medias para las variables de absorción de macronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Ciclo (SN)	Cultivar	Fracción	g/planta				
			N	P	K	Ca	Mg
1	Monalisa	Follaje	0,82 ± 0,07 a	0,15 ± 0,02 a	1,49 ± 0,25 ab	0,85 ± 0,16 abc	0,24 ± 0,05 ab
		Fruto	1,07 ± 0,05 ab	0,17 ± 0,010 ab	1,96 ± 0,10 a	0,22 ± 0,02 ab	0,13 ± 0,007 a
		Total	1,67 ± 0,10 ab	0,32 ± 0,04 ab	3,45 ± 0,30 ab	1,07 ± 0,18 ab	0,37 ± 0,06 a
	Modán RZ	Follaje	0,81 ± 0,13 a	0,16 ± 0,02 a	1,82 ± 0,30 a	1,00 ± 0,18 ab	0,28 ± 0,05 ab
		Fruto	0,58 ± 0,03 c	0,09 ± 0,005 c	1,06 ± 0,06 b	0,14 ± 0,02 bc	0,08 ± 0,004 a
		Total	1,39 ± 0,16 bc	0,25 ± 0,02 b	2,88 ± 0,34 b	1,14 ± 0,19 ab	0,36 ± 0,05 a
	Tropicuke	Follaje	0,60 ± 0,06 a	0,17 ± 0,02 a	1,93 ± 0,13 a	1,03 ± 0,11 a	0,31 ± 0,03 a
		Fruto	1,16 ± 0,04 a	0,20 ± 0,005 a	2,25 ± 0,08 a	0,29 ± 0,01 a	0,16 ± 0,009 a
		Total	1,98 ± 0,08 a	0,37 ± 0,02 a	4,18 ± 0,07 a	1,32 ± 0,11 a	0,47 ± 0,02 a
2	Monalisa	Follaje	0,57 ± 0,04 a	0,12 ± 0,009 a	1,06 ± 0,33 ab	0,47 ± 0,06 bc	0,20 ± 0,02 ab
		Fruto	0,95 ± 0,05 b	0,15 ± 0,007 b	1,88 ± 0,09 a	0,09 ± 0,01 c	0,08 ± 0,010 a
		Total	1,50 ± 0,03 bc	0,27 ± 0,01 ab	2,94 ± 0,38 ab	0,56 ± 0,06 b	0,28 ± 0,03 a
	Modán RZ	Follaje	0,55 ± 0,03 a	0,10 ± 0,005 a	0,57 ± 0,03 b	0,39 ± 0,03 c	0,14 ± 0,02 b
		Fruto	0,54 ± 0,03 c	0,14 ± 0,003 b	1,91 ± 0,05 a	0,17 ± 0,04 bc	0,14 ± 0,045 a
		Total	1,11 ± 0,04 c	0,24 ± 0,004 b	2,47 ± 0,06 b	0,56 ± 0,06 b	0,27 ± 0,06 a
	Tropicuke	Follaje	0,49 ± 0,07 a	0,09 ± 0,03 a	0,62 ± 0,22 b	0,35 ± 0,05 c	0,14 ± 0,02 b
		Fruto	1,03 ± 0,03 ab	0,17 ± 0,009 ab	2,06 ± 0,10 a	0,12 ± 0,01 c	0,10 ± 0,007 a
		Total	1,57 ± 0,04 abc	0,26 ± 0,04 ab	2,63 ± 0,20 b	0,50 ± 0,05 b	0,24 ± 0,01 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

Los datos de absorción de macronutrientes acumulados en los diferentes cultivares de pepino, no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la

interacción solución nutritiva*cultivar ($p>0,05$) Anexo 8, de manera que fueron proporcionalmente absorbidos a lo largo de cada ciclo de cultivo bajo cada una de las soluciones nutritivas, es decir su comportamiento fue similar entre ciclos de cultivo, sin embargo dichos valores de absorción fueron cuantitativamente más altos cuando los cultivares fueron manejados con la solución nutritiva Universal de Steiner.

El orden de absorción de macronutrientes para los cultivares fue el siguiente, Monalisa, Modán RZ y Tropicuke con la solución nutritiva Universal de Steiner y Monalisa y Modán RZ con la solución nutritiva Ajustada fue $K>N>Ca>Mg>P$, mientras que el cv Tropicuke se distingue de los demás por absorber ligeramente más Fósforo (P) que Magnesio (Mg) con la solución nutritiva Ajustada, mostrando el siguiente orden $K>N>Ca>P>Mg$, este último concuerda con el orden de absorción reportado por Ward (1967), que cultivo en suelo bajo invernadero el híbrido Burpee y con Vargas *et al.* (2014), que evaluó mezclas de sustrato de arena de tezontle y aserrín con el híbrido Rafaello de tomate tipo saladette, sin embargo el patrón que mostraron los demás cultivares independientemente del plan de fertilización difieren uno del otro en las cantidades absorbidas de Mg con respecto al P.

De acuerdo al Cuadro 23 el Nitrógeno total presento diferencias entre soluciones nutritivas, de manera que su absorción fue más elevada cuando los cultivares se trataron con la solución nutritiva Universal de Steiner, alcanzando un promedio de absorción de 1,68 g/planta, superior a 1,39 g/planta obtenido con la solución nutritiva Ajustada. Misma situación sucedió con el resto de macronutrientes, obteniendo valores promedio más elevados de absorción para los diferentes cultivares con la solución nutritiva Universal de Steiner con respecto a la solución nutritiva Ajustada, siendo estos valores de 0,31 g y 0,25 g por planta de Fósforo, 3,50 g y 2,68 g por planta de Potasio, 1,18 g y 0,54 g por planta de Calcio y por ultimo 0,40 g y 0,26 g por planta de Magnesio respectivamente. En la

Figura 10 se muestra gráficamente el comportamiento obtenido en la absorción de los macronutrientes.

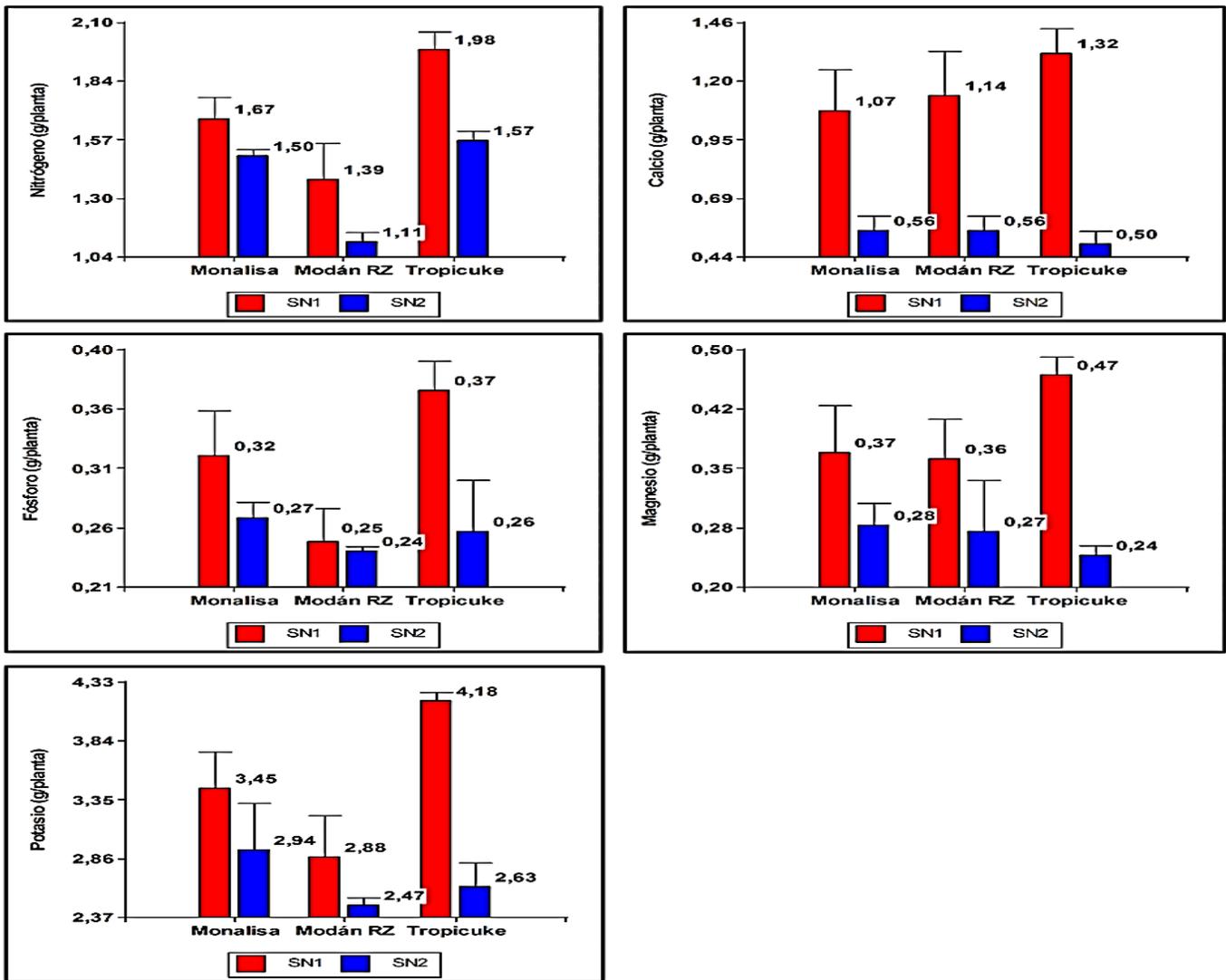


Figura 10. Absorción total de macronutrientes en plantas de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Entre cultivares las cantidades absorbidas de N, P y K fueron más altas para los cv Tropicuke y Monalisa con respecto al cv Modán RZ, para el Ca y Mg la absorción fue similar en todos los cultivares usando ambas soluciones nutritivas. El orden general de absorción para los tres cultivares fue $K > N > Ca > Mg > P$.

El orden de absorción de macronutrientes en los cultivares de pepino fue igual al reportado por Paniagua y Rojas (2015), siendo $K > N > Ca > Mg > P$ en los cultivares Sol Real y Acclaim de melón tipo cantaloupe, producido bajo invernadero en arena roja volcánica con la solución nutritiva Universal de Steiner, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos. Estos autores también cultivaron chile dulce y tomate, obteniendo el orden de absorción en los cv Nathalie y 4212 de chile dulce igual a $K > N > Ca > P > Mg$, donde citan a Chavarría (2013), quien en suelo bajo invernadero con el cv Nathalie, reportó un orden de absorción de $K > N > Ca > Mg > P$, donde la absorción de Mg fue mayor con respecto al P, coincidiendo también con el orden de absorción obtenido en los cultivares de pepino; en el caso de los cultivares de tomate el orden de absorción reportado por Paniagua y Rojas (2015), fue igual al de los cultivares de chile dulce, donde citan a Calderón (2005), quien reportó un orden de absorción para el híbrido Money Marker cultivado en sustrato de cascarilla de arroz iguala a $K > N > Ca > Mg > P$ a los 147 DDT, coincidiendo también con el orden de absorción obtenido por los cultivares de pepino.

Usando la solución nutritiva Universal de Steiner, el cultivo de pepino en invernadero presentó comportamientos en la absorción de macronutrientes similares a los cultivares de tomate y chile dulce, cultivos desarrollados en sistemas hidropónicos bajo invernaderos o ambientes protegidos, incluyendo algunos otros como el melón. La importancia que Steiner desarrolló con el concepto de solución nutritiva Universal, lo llevó a proponer la existencia que debe haber en la relación entre aniones y cationes para que las plantas puedan aprovecharlos al máximo, actualmente la solución nutritiva Universal de Steiner es considerada como base para la elaboración de soluciones nutritivas, permitiendo ajustarlas de acuerdo a los factores y condiciones específicas de los cultivos (Intagri 2010).

La fracción vegetativa (parte aérea + raíz) al igual que el total de la planta (vegetativa + fruto), logro acumular mayor cantidad de macronutrientes con la solución Universal de Steiner en los tres cultivares de manera similar con respecto a la solución nutritiva Ajustada, entre tratamientos no se encontraron diferencias de absorción de macronutrientes para esta porción de la planta.

Para la porción comprendida como fruto el N y Ca lograron acumular mayor contenido cuando se usó la solución nutritiva Universal de Steiner, el K presento mayor acumulación usando la solución nutritiva Ajustada, el P junto con el Mg mostraron una acumulación similar entre cultivares con ambas soluciones nutritivas.

Entre cultivares las cantidades absorbidas de N fueron mayores en los cultivares Tropicuke y Monalisa con respecto al cv Modán RZ, para el P y K fue mayor su acumulación en el cv Tropicuke, seguido del cv Monalisa y del cv Modán RZ, por otra parte el Ca y Mg no mostraron diferencias entre cultivares en cuanto a la cantidad acumulada en sus frutos.

En general el orden en la absorción de macronutrientes acumulada, en la parte vegetativa y en frutos para los tres cultivares fue $K > Ca > N > Mg > P$ y $K > N > Ca > P > Mg$ respectivamente, ambas fracciones concuerdan con Ward (1967), donde K-Ca y K-N son los nutrientes más absorbidos, sin embargo el orden de absorción precisamente no es el mismo puesto que este autor reporta $Ca > K > N > Mg > P$ para la parte aérea, donde el Ca se absorbió en mayor cantidad con respecto al K, para los frutos el orden fue $K > N > P > Ca > Mg$, donde el P se absorbió en mayor cantidad con respecto al Ca. La diferencia de absorción del calcio en frutos, en comparación con el resto de la planta se debe a su poca movilidad en los tejidos de la planta, su translocación es lenta y depende de la transpiración, la cual es muy baja en frutos, por lo tanto cualquier factor que altere dicho proceso puede causar desbalances de este nutrimento en ese órgano y en los puntos de crecimiento principalmente (Maroto 2008; Yáñez 2002).

El contenido de N, P y K acumulado fue mayor en los frutos de todos los cultivares de pepino con ambas soluciones nutritivas, excepto para el cv Modán RZ donde su absorción fue mayor en la parte vegetativa, de igual manera el Ca y

Mg se acumularon mayormente en la parte vegetativa para todos los cultivares con ambas soluciones nutritivas.

Considerando que se utilizó una densidad de siembra de 16.675 plantas/ha durante 60 DDT, la absorción total utilizando la solución nutritiva Universal de Steiner fue 27,85 Kg/ha de N, 5,34 Kg/ha de P, 57,53 Kg/ha de K, 17,84 Kg/ha de Ca y 6,17 Kg/ha de Mg en el cv Monalisa, 23,18 kg/ha de N, 4,17 Kg/ha de P, 48,02 Kg/ha de K, 19,01 Kg/ha de Ca y 6,00 Kg/ha de Mg en el cv Modán RZ y 33,02 kg/ha de N, 6,17 Kg/ha de P, 69,70 Kg/ha de K, 22,01 Kg/ha de Ca y 7,84 Kg/ha de Mg en el cv Tropicuke, para todos los macronutrientes la absorción total por planta fue mayor en el cv Tropicuke. En suelo Casaca *et al.* (2005), reportaron una extracción de nutrientes de 57 kg/ha de N, 43 kg/ha de P y 86 kg/ha de K y Ward (1967), bajo invernadero y en suelo obtuvo resultados mayores a los alcanzados por los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke, registrando un promedio de 262,13 Ton/ha y una absorción total de macronutrientes de 408 kg/ha de N, 92 Kg/ha de P, 550 Kg/ha de K, 237 Kg/ha de Ca y 57 Kg/ha de Mg para un ciclo de 6 meses de duración.

4.4 Análisis de absorción de micronutrientes

El Cuadro 24 muestra la significancia de las variables de absorción total de micronutrientes expresados como cantidad extraída por planta en ppm, donde se indica la presencia de diferencias no significativas en la interacción solución nutritiva*cultivar para el Cu ($p=0,2546$), el Mn ($p=0,1117$), el Fe ($p=0,1151$) y el Zn ($p=0,0870$) Anexo 11.

Cuadro 24. Significancia de las variables de absorción total de micronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	Cu	Mn	Fe	Zn
Ciclo (SN)	S	NS	S	S
Cultivar	NS	NS	NS	S
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	NS	NS	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

Al analizar cada factor por separado, se muestran diferencias significativas a nivel de solución nutritiva para todos los micronutrientes a excepción del Mn ($p=0,2644$). Entre cultivares solo el Zn presentó diferencias significativas ($p=0,0273$), siendo el Cu, Mn y Fe los micronutrientes que presentaron diferencias no significativas entre cultivares Anexo 11.

Cu ($p<0,0001$) y Fe ($p=0,0001$) presentaron diferencias significativas en su absorción total por planta al usar una solución nutritiva con respecto a la otra, entre cultivares sus absorciones fueron similares y cuando se combinaron ambos factores no se proporcionaron cambios en su absorción. El Mn no tuvo cambios considerables en su absorción en ninguno de los factores de variación, de manera que su absorción no depende de una solución nutritiva específica ni tampoco de un cultivar específico.

Por su parte, el Zn al combinar ambos factores las diferencias de absorción obtenidas en cada factor no se reflejan en el análisis con respecto a la interacción entre las soluciones nutritivas y cultivares ($p=0,0870$), por lo tanto, esas diferencias están relacionadas como respuesta a los cambios en las composiciones nutrimentales de ambas soluciones nutritivas y a las características genéticas de cada cultivar, ambos factores no proporcionaron ningún cambio a esas diferencias ya existentes en cada factor.

De la misma forma en que se presentó el cuadro anterior, se presenta el Cuadro 25 con la significancia de micronutrientes absorbidos por la parte vegetativa (parte aérea + raíz).

Cuadro 25. Significancia de las variables de absorción de micronutrientes en parte vegetativa de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica. 2015-2016.

Factor	Cu	Mn	Fe	Zn
Ciclo (SN)	S	NS	NS	S
Cultivar	NS	NS	NS	S
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	NS	S	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

En la interacción se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el Hierro únicamente ($p=0,0052$) Anexo 12, el resto de micronutrientes presentaron un comportamiento similar donde sus niveles de absorción indicaron diferencias no significativas en la interacción solución nutritiva*cultivar.

El Cu ($p<0,0001$) presentó diferencias significativas en su absorción al usar una solución nutritiva con respecto a la otra (Anexo 12), entre cultivares sus absorciones fueron similares y cuando se combinaron ambos factores no hubieron diferencias significativas en su absorción ($p=0,1557$), por lo que su efecto no fue relevante. El Mn se comportó de igual manera a como se presentó en el Cuadro 24, por lo que no tuvo cambios considerables en su absorción en ninguno de los factores de variación, de manera que su absorción no depende de una solución nutritiva específica ni tampoco de un cultivar específico para la parte aérea.

El Fe por si solo no mostró diferencias de absorción entre soluciones nutritivas ($p=0,4123$), tampoco entre cultivares ($p=0,3859$) ya que sus absorciones fueron similares, sin embargo al combinar ambos factores estadísticamente se presentaron diferencias significativas ($p=0,0052$) Anexo 12; caso contrario sucedió con el Zn donde la combinación de ambos factores no tuvo diferencias significativas en la absorción de este nutriente ($p=0,5432$), a pesar de que entre soluciones nutritivas y entre cultivares las diferencias fueron estadísticamente significativas.

A diferencia de los dos cuadros anteriores donde se muestra la significancia de absorción total por planta y de la parte vegetativa por separado, el Cuadro 26 muestra la significancia de absorción de micronutrientes en frutos por planta.

Cuadro 26. Significancia de las variables de absorción de micronutrientes en fruto de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Factor	Cu	Mn	Fe	Zn
Ciclo (SN)	S	S	S	S
Cultivar	NS	S	NS	NS
Ciclo (SN)*Cultivar	NS	S	NS	NS

SN= Solución nutritiva. NS= No significativo. S= Significativo. $p= 0,05$

La prueba de Media indicó diferencias significativas para la interacción solución nutritiva*cultivar en el caso del Mn ($p=0,0001$; Anexo 13), además el Mn también fue estadísticamente diferente en cada uno de los dos factores por separado a diferencia de su comportamiento en la parte vegetativa y total por planta. Las diferencias en la combinación de factores podrían corresponder a una translocación y a una acumulación en los frutos de los cultivares que produjeron más cuando se usó una solución nutritiva con respecto a la otra o también a algún efecto antagónico con uno o varios elementos, ya que la concentración de micronutrientes fue la misma en ambas soluciones nutritivas en cada ciclo de cultivo Anexo 1.

El Cu, Fe y Zn presentaron diferencias significativas en su absorción al usar una solución nutritiva con respecto a la otra, entre cultivares sus absorciones fueron similares y cuando se combinaron ambos factores no hubo diferencias en su absorción ($p>0,05$) Anexo 13, por lo que su efecto no fue relevante.

La combinación de soluciones nutritivas y cultivares (interacción) analizadas por separado como fracción vegetativa y frutos, presentó diferencias significativas solo para el Fe ($p=0,0052$; Anexo 12) en la parte vegetativa y solo para Mn ($p=0,0001$; Anexo 13) en la parte de frutos; lo cual se interpreta como un efecto en el cambio de su absorción a nivel de tejidos vegetativos que no se alcanzó en cada factor por separado, es decir la combinación de ambos factores significó un impacto positivo o negativo en la absorción de Fe en cada uno de los cultivares. Para el Mn su efecto en la absorción por parte de los frutos significó aún más en la interacción, generando un cambio estadísticamente diferente que pudo ser de igual forma positivo o negativo sobre los frutos de todos los cultivares.

El Cuadro 27 contiene los resultados totales de micronutrientes absorbidos por planta y fraccionado en parte vegetativa y frutos, obtenidos mediante la prueba de comparación de medias de Bonferroni ($p\leq 0,05$).

Cuadro 27. Distribución de medias para las variables de absorción total de micronutrientes de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Ciclo (SN)	Cultivar	Fracción	ppm			
			Cu	Mn	Fe	Zn
1	Monalisa	Follaje	11,75 ± 1,03 b	69,50 ± 3,77 a	82,75 ± 6,14 ab	63,50 ± 2,60 b
		Fruto	13,00 ± 1,47 a	28,50 ± 2,96 abc	104,25 ± 4,68 abc	58,50 ± 4,21 a
		Total	24,75 ± 1,89 b	98,00 ± 6,20 a	187,00 ± 10,50 abc	122,00 ± 6,72 b
	Modán RZ	Follaje	12,00 ± 0,41 b	82,50 ± 5,50 a	82,75 ± 8,34 ab	58,50 ± 1,85 b
		Fruto	13,25 ± 1,38 a	30,75 ± 1,38 ab	139,50 ± 36,42 a	59,25 ± 4,05 a
		Total	25,25 ± 1,60 b	113,25 ± 5,72 a	222,25 ± 40,62 ab	117,75 ± 3,88 b
	Tropicuke	Follaje	12,50 ± 0,96 b	73,00 ± 4,69 a	101,25 ± 10,69 a	53,00 ± 6,65 b
		Fruto	12,25 ± 1,44 a	35,00 ± 2,97 a	125,00 ± 12,31 ab	60,50 ± 3,28 a
		Total	24,75 ± 2,02 b	108,00 ± 6,75 a	226,25 ± 16,27 a	113,50 ± 8,21 b
2	Monalisa	Follaje	50,75 ± 5,17 a	79,25 ± 5,89 a	102,00 ± 6,99 a	139,25 ± 4,97 a
		Fruto	4,02 ± 1,01 b	20,25 ± 1,93 bc	48,50 ± 3,57 bc	89,25 ± 22,40 a
		Total	54,75 ± 5,16 a	99,50 ± 7,79 a	150,50 ± 7,42 abc	228,50 ± 22,88 a
	Modán RZ	Follaje	55,00 ± 8,66 a	79,75 ± 15,44 a	83,50 ± 6,74 ab	128,00 ± 7,95 a
		Fruto	8,75 ± 3,09 ab	39,00 ± 1,96 a	45,25 ± 2,98 c	100,00 ± 2,97 a
		Total	63,75 ± 8,68 a	118,75 ± 16,86 a	128,75 ± 7,06 bc	228,00 ± 8,48 a
	Tropicuke	Follaje	38,75 ± 2,69 a	59,50 ± 3,71 a	66,25 ± 1,89 b	117,25 ± 3,90 a
		Fruto	6,33 ± 0,67 ab	18,33 ± 0,88 c	36,33 ± 1,67 c	55,67 ± 2,96 a
		Total	47,00 ± 3,06 ab	74,67 ± 2,85 a	102,33 ± 2,85 c	172,67 ± 4,06 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) según la prueba de Bonferroni

La absorción de micronutrientes acumulada en los diferentes cultivares de pepino, presentó diferencias estadísticamente no significativas ($p > 0,05$; Anexo 11) en la interacción solución nutritiva*cultivar, de manera que fueron proporcionalmente absorbidos a lo largo de cada ciclo de cultivo con cada una de las soluciones nutritivas.

Su comportamiento fue similar entre ciclos de cultivo a como sucedió con los macronutrientes, sin embargo algunos micronutrientes fueron cuantitativamente más altos cuando los cultivares fueron manejados con una u otra solución nutritiva, por ejemplo el Fe fue absorbido en mayor cantidad cuando los cultivares se manejaron con la solución nutritiva Universal de Steiner, caso contrario ocurrió con el Cu y el Zn donde su absorción fue mayor cuando se manejaron los cultivares con la solución nutritiva Ajustada, por último el Mn fue similarmente absorbido con cada una de las soluciones nutritivas para los cultivares Monalisa y Modán RZ, ya que el cv Tropicuke presento mayor absorción con la solución nutritiva Universal de Steiner como se muestra en la Figura 11.

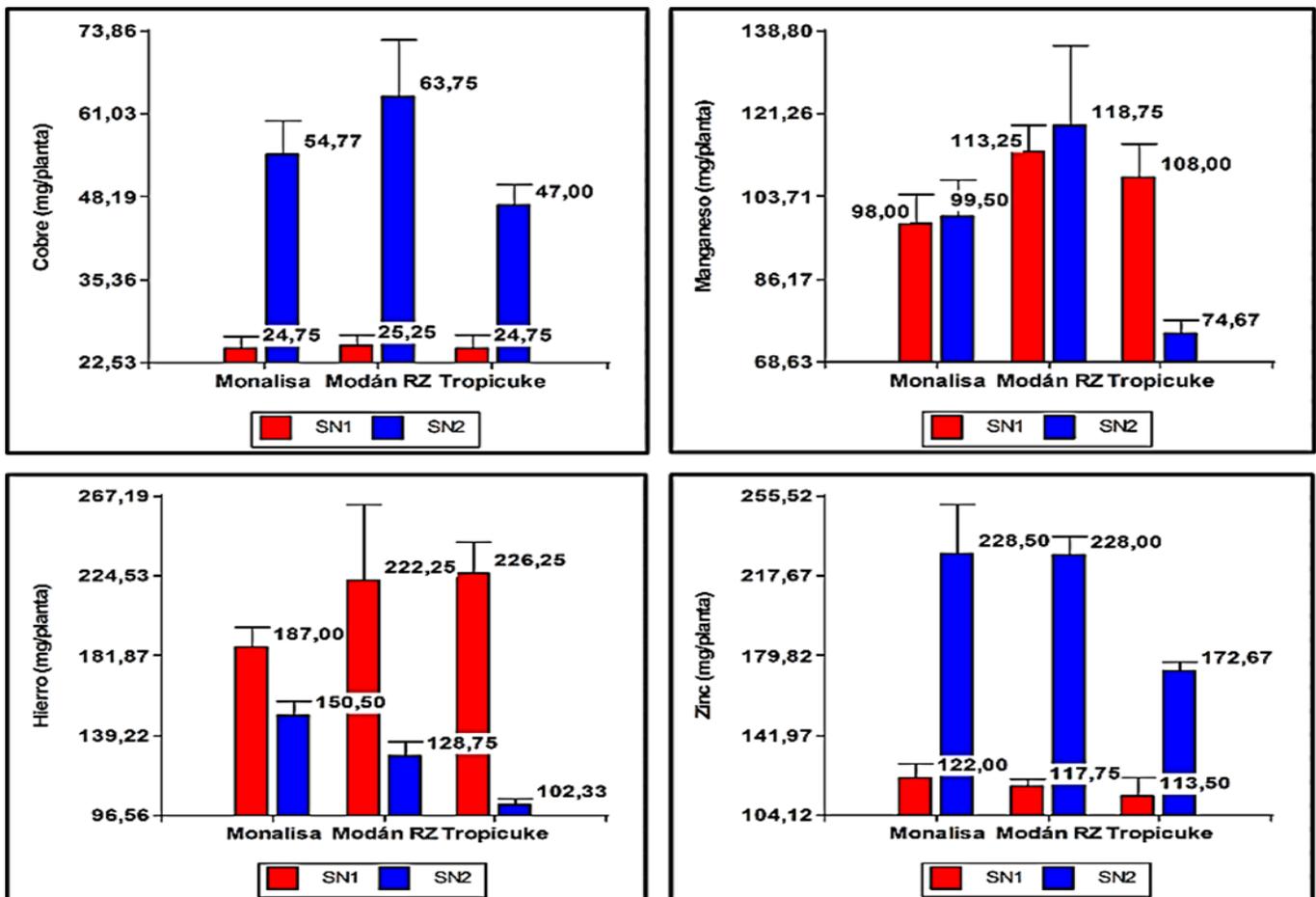


Figura 11. Absorción de micronutrientes en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus*. L) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

El comportamiento del Cu y del Zn pudo verse afectado por el cambio en las concentraciones de los macronutrientes, ya que la de los micronutrientes se mantuvo igual en ambas soluciones nutritivas, causando antagonismos principalmente con el N y el P (Coeto 2013).

Tzerakis *et al.* (2013), estimó la absorción de Mn y Zn en pepino usando el cv Myrthos RZ en un sistema hidropónico cerrado con recirculación de la solución nutritiva, evaluando diferentes concentraciones de Mn y Zn para conocer la influencia de estos micronutrientes sobre la absorción de la planta mediante dos métodos. Concluyendo que las absorciones más altas se dieron al usar las concentraciones más altas de Mn y Zn, llegando a estabilizarse a los 70 DDT como respuesta ante una entrada constante de sales en la solución nutritiva. Sin embargo este comportamiento causó una reducción en la biomasa total de la planta (inferior al 25%), la influencia del Mn y el Zn en niveles superiores a los 40 mM afectan el contenido de materia seca total y fraccionado en los diferentes órganos de la planta, por lo que permite suponer que los niveles óptimos de concentración de Mn deben ser de 12 mM a 14 mM durante los primeros dos meses de crecimiento y 6 mM a 7 mM de Zn durante las primeras tres semanas de crecimiento.

El orden de absorción de micronutrientes total en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke con la solución nutritiva Universal de Steiner fue Fe>Zn>Mn>Cu y con la solución nutritiva Ajustada fue Zn>Fe>Mn>Cu, donde su orden difiere en la cantidad absorbida de Hierro con respecto al Zinc.

Entre cultivares las cantidades absorbidas de Cu, Mn y Fe, fueron similares para los cv Monalisa, Tropicuke y Modán RZ, excepto el Zn donde el cv Monalisa registro la mayor cantidad absorbida de este nutriente respecto al cv Tropicuke, por lo que el cv Modán RZ no fue diferente de los otros dos cultivares. En síntesis el orden general de absorción de micronutrientes para los tres cultivares fue Fe>Zn>Mn>Cu.

Paniagua y Rojas (2015), reportaron también el orden de absorción de los micronutrientes para los cultivares de chile dulce, tomate y melón cultivado en invernadero usando la solución nutritiva Universal de Steiner en el Instituto

Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, donde el cv Sol Real de melón tuvo un orden de $Mn > Fe > Zn > Cu$ y el cv Acclaim de $Fe > Mn > Zn > Cu$ donde la cantidad absorbida de Mn fue mayor a la del Fe entre los cultivares respectivamente. Con relación a los cultivares de pepino, la cantidad absorbida de Zn fue mayor a la de Mn en el cultivar Sol Real de melón con ambas soluciones nutritivas, tratándose de especies de la misma familia, sin embargo Soto (2008), citado por Paniagua y Rojas (2015), reportó un orden de absorción igual al obtenido en los cultivares de pepino con la solución nutritiva Universal de Steiner, cuando evaluó el cv Sol Real de melón a campo abierto ($Fe > Zn > Mn > Cu$). Por otra parte el orden de absorción que obtuvieron Paniagua y Rojas en los cv Lyro y JR de tomate, concuerda con el obtenido por los cultivares de pepino con la solución nutritiva Ajustada, siendo este igual a $Zn > Fe > Mn > Cu$.

En la parte vegetativa (parte aérea + raíz) al igual que en el total de la planta (vegetativa + fruto), el comportamiento en la acumulación de micronutrientes fue prácticamente igual a como se mencionó anteriormente para cada factor por separado, a excepción del Fe donde su absorción junto a la del Mn fue similar en ambas soluciones nutritivas y diferente entre cultivares. En general el orden de absorción de micronutrientes en la parte vegetativa fue $Zn > Fe > Mn > Cu$.

En la parte de frutos Cu, Mn y Fe lograron acumular mayor cantidad cuando se usó la solución nutritiva Universal de Steiner, sin embargo bajo la solución nutritiva Ajustada el Zn fue mayormente acumulado con respecto a la solución nutritiva Universal de Steiner para todos los cultivares, a pesar de que la concentración de micronutrientes fue la misma en ambas soluciones nutritivas.

Entre cultivares las cantidades absorbidas de Mn fueron mayores en el cv Modán RZ con respecto a los cultivares Tropicuke y Monalisa, para el resto de micronutrientes no se presentaron diferencias significativas entre cultivares en la cantidad acumulada en sus frutos. En general el orden de absorción de micronutrientes en fruto para los tres cultivares fue $Fe > Zn > Mn > Cu$.

El Zn se acumuló en mayor cantidad en la parte vegetativa para los tres cultivares con la solución nutritiva Ajustada y también para el cv Monalisa con la solución nutritiva Universal de Steiner, por lo que los cultivares Modán RZ y

Tropicuke acumularon mayor cantidad de este nutriente en los frutos con la solución nutritiva Universal de Steiner. El Fe concentro mayor cantidad en la parte vegetativa con la solución nutritiva Ajustada para los tres cultivares, caso contrario ocurrió con la solución nutritiva Universal de Steiner, donde se concentró mayormente en los frutos, lo mismo del Fe sucedió con el Cu y para el Mn su absorción se acumuló en mayor cantidad en la parte vegetativa para todos los cultivares.

5 CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló este experimento se concluye que:

La absorción de macronutrientes acumulada en las plantas de pepino de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke presentó el mismo orden (K>N>Ca>Mg>P) con ambas soluciones nutritivas, a excepción del cv Tropicuke que absorbió ligeramente más P que Mg con la solución nutritiva Ajustada (K>N>Ca>P>Mg).

La absorción de micronutrientes acumulada en las plantas de pepino de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke fue similar (Fe>Zn>Mn>Cu) con ambas soluciones nutritivas, a excepción de la cantidad absorbida de Hierro con respecto al Zinc obtenida con la solución nutritiva Ajustada (Zn>Fe>Mn>Cu).

El crecimiento en las plantas pepino de los cultivares Monalisa y Tropicuke mostró una disminución en la altura máxima (270,03 cm y 285,53 cm respectivamente) al usar la solución nutritiva Ajustada, correspondiente a 226,09 cm y 221,72 cm respectivamente.

El cv Modán RZ alcanzó el máximo rendimiento (2,895 Kg/planta), seguido del cv Tropicuke (2,213 kg/planta) y del cv Monalisa (2,001 kg/planta) usando la solución nutritiva Universal de Steiner, los rendimientos de estos cultivares fueron insignificantes al usar la solución nutritiva Ajustada.

El contenido de sólidos solubles en los frutos de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke fue de 2,80 °Brix a 4,08 °Brix, considerado como un rango aceptable usando la solución nutritiva Universal de Steiner y la solución nutritiva Ajustada.

La prueba de Media indicó, que la interacción entre factores (Solución nutritiva* Cultivar) mostró mejores resultados al combinar las plantas de pepino de los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke con la solución nutritiva Universal de Steiner para la mayoría de variables evaluadas.

6 RECOMENDACIONES

Evaluar más cultivares y determinar cuáles resultan mejor al utilizar las mismas soluciones nutritivas.

Evaluar otras soluciones nutritivas y otros sustratos con el fin de obtener la combinación que mejor se adapte a las condiciones imperantes.

Realizar un monitoreo constante de la conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva a nivel de sustrato.

Cuantificar la remoción de órganos podados en la planta para estimar las variables relacionadas como el peso seco por planta, la absorción de nutrientes y el número de hojas por planta.

Hacer más muestreos destructivos para conocer la absorción de nutrientes durante el ciclo de cultivo.

Realizar una evaluación financiera que permita cuantificar los costos e ingresos del sistema de cultivo protegido hidropónico en la región norte del país y determinar la rentabilidad económica de la actividad.

7 BIBLIOGRAFIA

- Arias, S. 2007. Manual de producción de pepino. USAID, Programa de Diversificación Económica Rural. La Lima, HN.
- Ayala, F.; Yáñez, M.; Partida, L.; Ruiz, F.; Campos, H.; Vásquez, O.; Velázquez, T.; Díaz, T. 2014. Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreo fotoselectivo. ITEA. 20:1-15.
- Barraza, F. 2012. Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. Montería, CO . Temas Agrarios 17(2):18-29.
- Barrera, J.; Cruz, M.; Melgarejo, L. 2007. Nutrición Mineral (en línea). Consultado 22 oct. 2016. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/14/07_Cap05.pdf
- Bolaños, A. 2001. Introducción a la Olericultura. Editorial UNED. San José, Costa Rica. 351 p.
- Cadahia, C. 2005. Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa, 3.^a edición. Madrid, España. 135-141.
- Calvo, L. 1987. Evaluación de cultivares de pepino (*Cucumeris sativus*) en la estación experimental Enrique Jiménez Núñez. Investigación Agrícola, Costa Rica 1(1): 22-23.
- Cardona, B. 2015. Efecto del potasio sobre la calidad y el rendimiento del fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.) desarrollado en un sistema hidropónico. Tesis Ing. Agr en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. 38-56 h.
- Casaca, A.; Sierra, E.; Cruz, J.; Arellano, R.; Jiménez, M.; Flores, S. 2005. El cultivo del pepino (*Cucumis sativus*) (en línea). Consultado 23 jul. 2015.

Disponible

en:

<http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/pepino.pdf>

Castellanos, M. 2012. Optimización del abonado nitrogenado en el melón (*Cucumis melo L.*) tipo piel de sapo. Madrid. Tesis Ph.D., Universidad Politécnica de Madrid. 38 h.

Chacón, K. 2015. Caracterización agronómica de 15 genotipos de pepino partenocárpico cultivados bajo ambiente protegido en Alajuela, Costa Rica. Tesis Lic. Ing. Agr. ITCR. 34 h.

Coeto, J. 2013. El sabor amargo de los pepinos. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (en línea). Consultado 22 ago. 2016. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos>

Coeto, J. 2013. Sinergismos y Antagonismos entre nutrientes (en línea). Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. México. Consultado 24 oct. 2016. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes>

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M.; Robledo C. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>

Díaz, K. 2016. Cultivo protegido de pepino japonés (en línea). Consultado 28 ene. 2016. Disponible en: <http://www.clubeamigosdocampo.com.br/artigo/cultivo-protegido-de-pepino-japones-1188>

East-West Seed Group. 2011. Productos, pepino Monalisa F1 (en línea). Consultado 08 feb. 2016. Disponible en: http://www.eastwestseed.com/latin-america/la/products/detail.php?SECTION_ID=498&ELEMENT_ID=3147

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s08.htm>
- Favela, E.; Preciado, P.; Benavides, A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro.
- Fundación de Desarrollo Agropecuario, INC (FDA). 1992. Cultivo de pepino. Boletín Técnico no.15. República Dominicana.
- Gül, A.; Kidoglu, F.; Anac, D. 2007. Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. Elsevier. Scientia Horticulturae 113: 216-220.
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). 2010. Las soluciones nutritivas para cultivos protegidos (en línea). Consultado 24 oct. 2016. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/soluciones-nutritivas-para-cultivos-protegidos>
- Jofre, J.; Mujeriego, R. 2012. La crisis de los pepinos españoles: Microorganismos, calidad del agua y cultivos hortícolas (en línea). Consultado 07 mar. 2016. Disponible en: <http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticias/la-falta-de-informacion-clave-en-la-crisis-alimentaria-de-los-2018pepinos-espanoles2019-segun-un-estudio/Lacrisisdelospepinosespanoles.pdf>
- Juárez, H.; De Jesús, M.; Baca, C.; Aceves, N.; Sánchez, P.; Tirado, T; Sahagún, C.; Colinas, MT. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. Caracas, VE. Revista INCI 31(4):246-253.

- Lara, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Terra Latinoamericana 17(003): 221-229.
- Lazia, B. 2011. Cultivo de pepino en estufa (en línea). Consultado 03 mar. 2016. Disponible en: <http://www.portalagropecuario.com.br/agricultura/horticultura/cultivo-de-pepino-em-estufa-rico-em-agua-nutrientes-essencias-para-saude-humana/>
- López, C. 2003. Guía Técnica no. 17 Cultivo de pepino. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Pepino%202003.pdf>
- López, E.; Rodríguez, J.; Huéz, M.; Garza, S.; Jiménez, J.; Leiva, E. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. Scielo 29(2): 21-27.
- López, G. 2014. Soluciones nutritivas orgánicas en la producción y calidad del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero. Tesis M. Sc en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. 51-54 h.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), 2014. Cultivos agrícolas. Hortalizas, pepino. (en línea). Consultado 25 ene. 2016. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-pepino.pdf
- Maroto, J. 2008. Elementos de Horticultura General. Especialmente aplicada al cultivo de planas de consistencia herbácea, 3.^a edición. Mundi-Prensa Libros. 258 p.
- Mejía, R. 2010. Comparación del método de siembra del pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos tipos de acolchado plástico y riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria. México.

- Montero, S.; Singh, B.; Taylor, R. 2006. Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. EARTH. Limón, CR. Tierra Tropical 2(1): 1-11.
- Mora, N.; Campos, H.; Fallas, J.; Morales, S.; Blanco, M.; Alfaro, J. 2007. Caracterización de la agrocadena pepino Holandés. MAG. Dirección Regional Central Occidental. Alajuela, CR.
- Moreno, D.; Hernández, B.; Barrios, D.; Ibáñez, A.; Cruz, W.; Berdeja, R. 2015. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(3): 637-643.
- Paniagua, F.; Rojas, J. 2015. Comportamiento agronómico de *Capsicum annum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo cultivo protegido hidropónico utilizando la solución universal de Steiner. Tesis Lic. Ing. Agr. ITCR. 25-71 h.
- Pérez, G.; Luque, A.; Carpena, O. 1977. Estudio de la solución nutritiva, variedades y densidades utilizadas en el cultivo hidropónico de pepinos (*Cucumis sativus*). 17(4):509-515.
- Pérez, G.; Luque, A.; Carpena, O. 1979. Absorción de agua e iones en el cultivo de pepinos. II. Relaciones entre los macronutrientes catiónicos. Madrid, ES. Agroquim. Tecnol. Aliment 18(2): 245-251.
- Ramírez, C.; Nienhuis, J. 2012. Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. Tecnología en Marcha 25(2): 10-20.
- Reche, J. 2008. Cultivo de Melón en Invernadero (en línea). Lumen Grafica, S.L. Andalucía, ES. (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: www.juntadeandalucia.es/opencms/opencms/.../melon_baja.pdf
- Reche, J. 2011. Cultivo de pepino en invernadero. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, Madrid, ES. (en línea). Consultado 23 jul. 2015.

Disponible en:
http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/cultivo_del_pepino_en_invernadero_primeras_p%C3%A1ginas_tcm7-213611.pdf

Reyes, C. 2012. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino en sistemas hidropónicos con recirculación de la solución nutritiva. Tesis M. Sc en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 19h.

Rijk Zwaan. 2016. Productos y servicios. Pepino Modan RZ F1 (en línea). Consultado 08 feb. 2016. Disponible en:
[http://www.rijkszwaan.es/wps/wcm/connect/RZ+ES/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Pepino?pcpage=3&frm=1&varname=MODAN%20RZ%20F1%20\(22-951\)&his=c293LHVuZGVmaW5lZCwwO2hcnYsdW5kZWZpbmVkLDA7cGxhbnQsdW5kZWZpbmVkLDA7cmFkaW9zY2hIZCxoYXJ2LDA7](http://www.rijkszwaan.es/wps/wcm/connect/RZ+ES/Rijk+Zwaan/Products_and_Services/Products/Crops/Pepino?pcpage=3&frm=1&varname=MODAN%20RZ%20F1%20(22-951)&his=c293LHVuZGVmaW5lZCwwO2hcnYsdW5kZWZpbmVkLDA7cGxhbnQsdW5kZWZpbmVkLDA7cmFkaW9zY2hIZCxoYXJ2LDA7)

Salas, M. 2005. Manejo de los nutrientes aportados por fertirrigación en cultivos sin suelo (en línea). Consultado 07 mar. 2016. Disponible en:
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%2FVrural_2005_205_38_43.pdf

Sánchez, F.; Gonzales, L.; Moreno, E.; Pineda, J.; Reyes, E. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. Fitotecnia Mexicana 37(3): 261-269.

Santos, B.; Obregón, H.; Salame, T. 2010. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: Estructuras para la agricultura protegida. University of Florida (en línea). Consultado 28 ene. 2016. Disponible en:
<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS18200.pdf>

Silva, B.; Rodríguez, A.; Gui, L. 2014. Cultivo Protegido. Em busca de mais eficiência produtiva. Hortifruti Brasil (en línea). Consultado 28 ene. 2016. Disponible en: http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf

- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Netherlands. Plant and Soil 15(2): 134-154.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth international congress on soilless culture, Lunteren, Netherlands. Publicado por International Society for Soilless Culture (ISOSC). Wageningen, Holanda. 633-649.
- Tencio, R. 2013. Información general de la Región Central Oriental. Ministerio de Agricultura y Ganadería Región Central Oriental, CR.
- Trisan Agro. s.f. Catálogo semillas, Pepino Tropicuke II (en línea). Consultado 08 feb. 2016. Disponible en: <http://trisanagro.com/product/pepino-tropicuke-ii/>
- Tzerakis, C.; Savvas, D.; Sigrimis, N.; Mavrogiannopoulos, G. 2013. Uptake of Mn and Zn by Cucumber grown in closed hydroponic systems as influenced by the Mn and Zn concentrations in the supplied nutrient solution. HortScience 48(3): 173-179.
- University of Alaska Fairbanks (UAF). 2013. Cucumber Production in Geenhouses (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: <http://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/anr/HGA-00434.pdf>
- United States Department of Agriculture (USDA). 2015. Natural Resources Conservation Service. *Cucumis sativus* L. (en línea). Consultado 23 jul. 2015. Disponible en: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=cusa4#>
- Vargas, J.; Castillo, A.; Pineda, J.; Ramírez, A.; Avitia, E. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. Chapingo serie Horticultura 20(1):71-88.
- Ward, G. 1967. Greenhouse cucumber nutrition a growth analysis study. Ontario, CA. Plant and Soil 26(2): 324-332.

Yáñez, J. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales (en línea). Consultado 21 oct. 2016. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio2/Ponencia03.pdf>

8 ANEXOS

Anexo 1. Multimineral Microplex (Miller, Gran Bretaña), ácido bórico (Inkabor, Perú) y sulfato de zinc heptahidratado (Chengdu Chuanke Fine Chemicals, China) utilizado en el cultivo de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo protegido hidropónico con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Producto comercial	Nutriente	Contenido (%)
Microplex	Magnesio (Mg)	5,43%
	Boro (B)	0,5%
	Cobalto (Co)	0,05%
	Cobre (Cu)	1,5%
	Hierro (Fe)	4%
	Manganeso (Mn)	4%
	Molibdeno (Mo)	0,1%
	Zinc (Zn)	1,5%
H3BO3	Boro (B)	17,5%
ZnSO₄*7H₂O	Zinc (Zn)	22%
	Azufre (S)	11%

Anexo 2. Abejas “Mariolas” polinizando en flores de las plantas de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.



Anexo 3. Resultados de laboratorio sobre análisis químico de tejidos para determinar la extracción nutrimental de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.

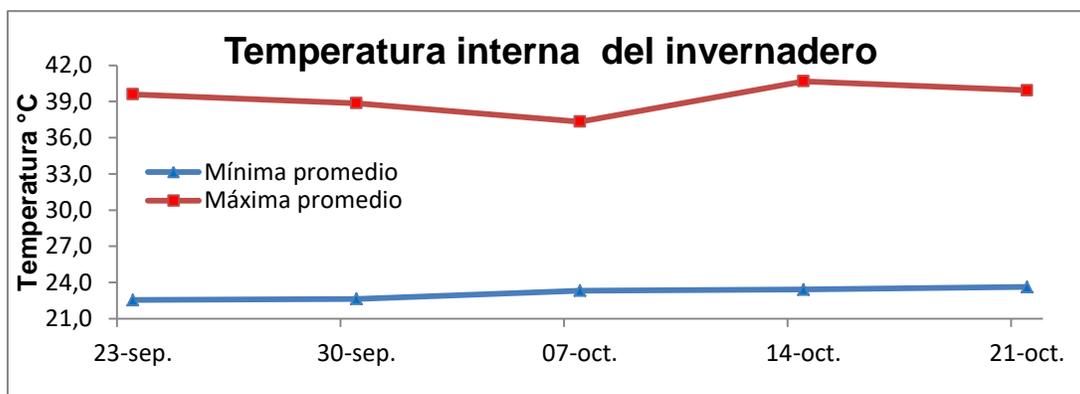
Cultivar	%					mg/L			
	N-Total	Ca	Mg	K	P	Cu	Mn	Fe	Zn
SN1									
Monalisa	3,20	2,32	0,75	6,70	0,62	12,38	49,00	93,50	61,00
Modán RZ	3,31	2,35	0,78	6,70	0,58	12,63	56,63	111,13	58,88
Tropicuke	3,37	2,35	0,82	7,16	0,63	12,38	54,00	113,13	56,75

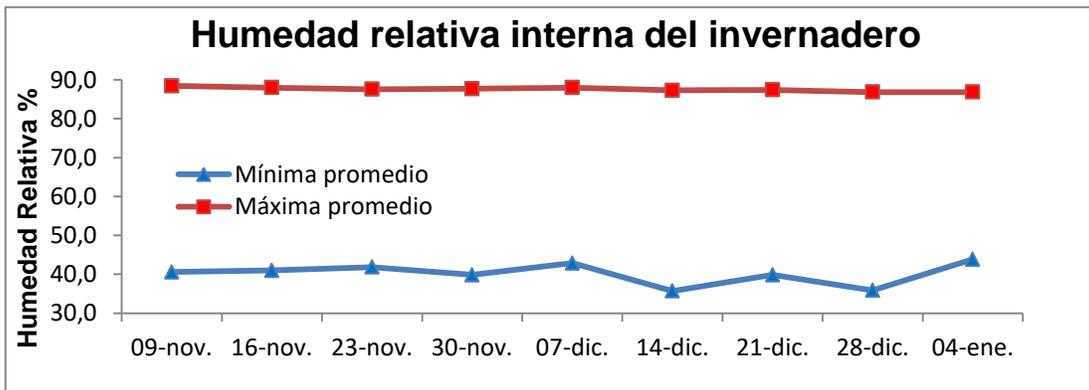
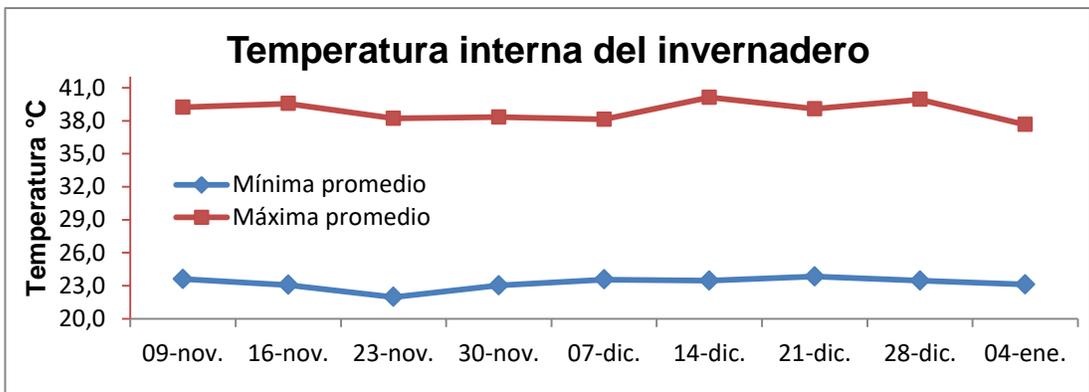
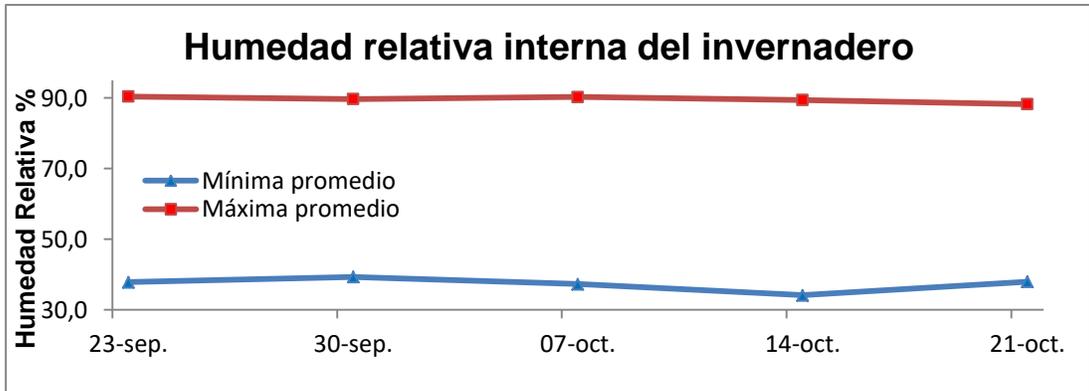
*SN1= Solución nutritiva Universal de Steiner

Cultivar	%					ppm			
	N-Total	Ca	Mg	K	P	Cu	Mn	Fe	Zn
SN2									
Monalisa	3,36	1,67	0,78	6,43	0,64	27,38	49,75	75,25	114,25
Modán RZ	3,52	1,78	0,86	7,75	0,76	31,88	59,38	64,38	114,00
Tropicuke	3,04	1,40	0,64	5,82	0,60	21,75	36,63	46,75	79,50

*SN2= Solución nutritiva Ajustada

Anexo 4. Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero durante el cultivo de tres cultivares de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo protegido hidropónico usando dos soluciones nutritivas en San Carlos. 2015-2016.





Anexo 5. Análisis de varianza de las variables de crecimiento evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos
Especificación del modelo en R

```
modelo.000_AP.Max_REML<-glms(AP.Max~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.000_AP.Max_REML

Variable dependiente: AP.Max

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	177,45	183,68	-81,73	18,00	0,75	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	5069,25	<0,0001
SN	1	28,36	<0,0001
Cultivar	2	8,76	0,0022
SN:Cultivar	2	4,64	0,0238

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	5069,25	<0,0001
SN	1	28,36	<0,0001
Cultivar	2	8,76	0,0022
SN:Cultivar	2	4,64	0,0238

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	28,36	<0,0001
2 Cultivar	2	18	8,76	0,0022
3 SN:Cultivar	2	18	4,64	0,0238

AP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	281,16	5,20	A
2	242,03	5,20	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

AP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	283,10	6,36	A
Pep-Tcuke	253,63	6,36	B
Pep-Mona	248,06	6,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

AP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	287,92	9,00	A
1	Pep-Tcuke	285,53	9,00	A
2	Pep-RZ	278,28	9,00	A
1	Pep-Mona	270,03	9,00	A
2	Pep-Mona	226,09	9,00	B
2	Pep-Tcuke	221,72	9,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_HP.Max_REML<-gls(HP.Max~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.001_HP.Max_REML

Variable dependiente: HP.Max

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	151,89	158,12	-68,94	8,85	0,92	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	605,70	<0,0001
SN	1	187,76	<0,0001
Cultivar	2	3,84	0,0407
SN:Cultivar	2	3,37	0,0572

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	605,70	<0,0001
SN	1	187,76	<0,0001
Cultivar	2	3,84	0,0407
SN:Cultivar	2	3,37	0,0572

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	187,76	<0,0001
2 Cultivar	2	18	3,84	0,0407
3 SN:Cultivar	2	18	3,37	0,0572

HP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	69,20	2,55	A
2	19,70	2,55	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	51,46	3,13	A
Pep-Mona	41,84	3,13	A
Pep-RZ	40,06	3,13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HP.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	82,83	4,42	A
1	Pep-Mona	62,92	4,42	A
1	Pep-RZ	61,86	4,42	A
2	Pep-Mona	20,75	4,42	B
2	Pep-Tcuke	20,09	4,42	B
2	Pep-RZ	18,27	4,42	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.002_IAF.Max_REML<-gls (IAF.Max~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.002_IAF.Max_REML

Variable dependiente: IAF.Max

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	63,13	69,36	-24,57	0,75	0,92	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1126,69	<0,0001
SN	1	175,03	<0,0001
Cultivar	2	14,00	0,0002
SN:Cultivar	2	0,19	0,8306

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1126,69	<0,0001
SN	1	175,03	<0,0001
Cultivar	2	14,00	0,0002
SN:Cultivar	2	0,19	0,8306

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	175,03	<0,0001
2 Cultivar	2	18	14,00	0,0002
3 SN:Cultivar	2	18	0,19	0,8306

IAF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	7,18	0,22	A
2	3,12	0,22	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IAF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	6,25	0,27	A
Pep-Mona	4,90	0,27	B
Pep-Tcuke	4,31	0,27	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IAF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	8,34	0,38	A
1	Pep-Mona	6,79	0,38	A B
1	Pep-Tcuke	6,41	0,38	B
2	Pep-RZ	4,16	0,38	C
2	Pep-Mona	3,00	0,38	C D
2	Pep-Tcuke	2,21	0,38	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.003_AF.Max_REML<-gls(AF.Max~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.003_AF.Max_REML

Variable dependiente: AF.Max

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	214,76	221,00	-100,38	50,74	0,92	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1127,24	<0,0001
SN	1	175,08	<0,0001
Cultivar	2	13,99	0,0002
SN:Cultivar	2	0,19	0,8295

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1127,24	<0,0001
SN	1	175,08	<0,0001

Cultivar	2	13,99	0,0002
SN:Cultivar	2	0,19	0,8295

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	175,08	<0,0001
2 Cultivar	2	18	13,99	0,0002
3 SN:Cultivar	2	18	0,19	0,8295

AF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Medias E.E.

1 484,81 14,65 A

2 210,70 14,65 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

AF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar Medias E.E.

Pep-RZ 421,79 17,94 A

Pep-Mona 330,54 17,94 B

Pep-Tcuke 290,93 17,94 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

AF.Max - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Cultivar Medias E.E.

1 Pep-RZ 562,83 25,37 A

1 Pep-Mona 458,61 25,37 A B

1 Pep-Tcuke 432,98 25,37 B

2 Pep-RZ 280,75 25,37 C

2 Pep-Mona 202,47 25,37 C D

2 Pep-Tcuke 148,88 25,37 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.000_PFP_REML<-gls(PFP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.000_PFP_REML

Variable dependiente: PFPlanta

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	236,46	242,69	-111,23	92,70	0,44	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186,65	<0,0001
SN	1	12,97	0,0020
Cultivar	2	0,04	0,9582
SN:Cultivar	2	0,45	0,6445

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186,65	<0,0001
SN	1	12,97	0,0020
Cultivar	2	0,04	0,9582
SN:Cultivar	2	0,45	0,6445

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	12,97	0,0020
2 Cultivar	2	18	0,04	0,9582
3 SN:Cultivar	2	18	0,45	0,6445

FFP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	326,67	26,76	A
2	190,35	26,76	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FFP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	262,53	32,77	A
Pep-Tcuke	262,32	32,77	A
Pep-Mona	250,68	32,77	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FFP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	349,70	46,35	A
1	Pep-RZ	335,44	46,35	A
1	Pep-Mona	294,86	46,35	A
2	Pep-Mona	206,50	46,35	A
2	Pep-RZ	189,63	46,35	A
2	Pep-Tcuke	174,94	46,35	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_PSP_REML<-gls(PSP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.004_PSP_REML

Variable dependiente: PSP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
24	133,56	139,79	-59,78	5,32	0,59

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales modelo.004_PSP_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	64,63	<0,0001
SN	1	2,60	0,1243
Cultivar	2	1,49	0,2522
SN:Cultivar	2	1,08	0,3599

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	336,96	<0,0001
SN	1	22,77	0,0002
Cultivar	2	0,56	0,5817
SN:Cultivar	2	1,08	0,3599

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	22,77	0,0002
2 Cultivar	2	18	0,56	0,5817
3 SN:Cultivar	2	18	1,08	0,3599

PSP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	25,11	1,54	A
2	14,75	1,54	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PSP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	21,03	1,88	A
Pep-Tcuke	20,41	1,88	A
Pep-Mona	18,34	1,88	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PSP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	27,26	2,66	A
1	Pep-RZ	26,68	2,66	A
1	Pep-Mona	21,38	2,66	A B
2	Pep-RZ	15,38	2,66	A B
2	Pep-Mona	15,31	2,66	A B
2	Pep-Tcuke	13,55	2,66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

modelo.000_PPFCP.PFFrut_REML<-gls(PPFCP.PFFrut~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar

```
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.000_PPFCP.PFFrut_REML

Variable dependiente: PFFrut

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	192,09	198,32	-89,04	27,03	0,86	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2961,33	<0,0001
SN	1	91,20	<0,0001
Cultivar	2	3,79	0,0424
SN:Cultivar	2	4,78	0,0217

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2961,33	<0,0001
SN	1	91,20	<0,0001
Cultivar	2	3,79	0,0424
SN:Cultivar	2	4,78	0,0217

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	91,20	<0,0001
2 Cultivar	2	18	3,79	0,0424
3 SN:Cultivar	2	18	4,78	0,0217

PPFCP.PFFrut - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	352,94	7,80 A
2	247,56	7,80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PPFCP.PFFrut - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Mona	313,29	9,56 A
Pep-RZ	308,50	9,56 A
Pep-Tcuke	278,96	9,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PPFCP.PFFrut - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-Mona	361,97	13,52 A
1	Pep-Tcuke	354,25	13,52 A
1	Pep-RZ	342,60	13,52 A
2	Pep-RZ	274,40	13,52 B

2	Pep-Mona	264,61	13,52	B	C
2	Pep-Tcuke	203,67	13,52		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos Especificación del modelo en R

```
modelo.001_PSFruto_REML<-gls(PSFruto~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.001_PSFruto_REML

Variable dependiente: PSFruto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	62,52	68,35	-24,26	0,80	0,94	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2102,01	<0,0001
SN	1	82,18	<0,0001
Cultivar	2	69,36	<0,0001
SN:Cultivar	2	10,95	0,0009

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2164,65	<0,0001
SN	1	82,65	<0,0001
Cultivar	2	71,04	<0,0001
SN:Cultivar	2	10,95	0,0009

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	82,18	<0,0001
2 Cultivar	2	17	69,36	<0,0001
3 SN:Cultivar	2	17	10,95	0,0009

PSFruto - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	9,17	0,23	A
2	6,14	0,24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PSFruto - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Mona	9,42	0,28	A
Pep-Tcuke	8,56	0,30	A
Pep-RZ	4,98	0,28	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PSFruto - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	11,05	0,40	A
1	Pep-Mona	10,92	0,40	A
2	Pep-Mona	7,92	0,40	B
2	Pep-Tcuke	6,08	0,46	B C
1	Pep-RZ	5,53	0,40	C
2	Pep-RZ	4,43	0,40	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 6. Análisis de varianza para las variables de producción evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos Especificación del modelo en R

```
modelo.005_NFPP_REML<-glms(NFPP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05)
```

Resultados para el modelo: modelo.005_NFPP_REML

Variable dependiente: NFPP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	113,28	119,51	-49,64	3,03	0,69	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	268,78	<0,0001
SN	1	38,06	<0,0001
Cultivar	2	0,82	0,4575
SN:Cultivar	2	0,24	0,7898

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	268,78	<0,0001
SN	1	38,06	<0,0001
Cultivar	2	0,82	0,4575
SN:Cultivar	2	0,24	0,7898

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	38,06	<0,0001
2 Cultivar	2	18	0,82	0,4575
3 SN:Cultivar	2	18	0,24	0,7898

NFPP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	13,94	0,87	A
2	6,32	0,87	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFPP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	11,14	1,07	A
Pep-Tcuke	10,04	1,07	A
Pep-Mona	9,21	1,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFPP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	15,48	1,51	A
1	Pep-Tcuke	13,86	1,51	A B
1	Pep-Mona	12,50	1,51	A B C
2	Pep-RZ	6,81	1,51	B C
2	Pep-Tcuke	6,22	1,51	C
2	Pep-Mona	5,93	1,51	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_NFCP_REML<-gls(NFCP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data01)
```

Resultados para el modelo: modelo.001_NFCP_REML

Variable dependiente: NFCP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	46,37	52,60	-16,18	0,47	0,98	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1488,18	<0,0001
SN	1	981,69	<0,0001
Cultivar	2	34,28	<0,0001
SN:Cultivar	2	11,41	0,0006

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1488,18	<0,0001
SN	1	981,69	<0,0001
Cultivar	2	34,28	<0,0001
SN:Cultivar	2	11,41	0,0006

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

		numDF	denDF	F-value	p-value
1	SN	1	18	981,69	<0,0001
2	Cultivar	2	18	34,28	<0,0001
3	SN:Cultivar	2	18	11,41	0,0006

NFCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Medias E.E.

1 6,73 0,14 A

2 0,70 0,14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFCP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar Medias E.E.

Pep-RZ 4,84 0,17 A

Pep-Tcuke 3,27 0,17 B

Pep-Mona 3,04 0,17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Cultivar Medias E.E.

1 Pep-RZ 8,44 0,24 A

1 Pep-Tcuke 6,25 0,24 B

1 Pep-Mona 5,52 0,24 B

2 Pep-RZ 1,23 0,24 C

2 Pep-Mona 0,56 0,24 C

2 Pep-Tcuke 0,30 0,24 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.007_PCP_REML<-gls(PCP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05)
```

Resultados para el modelo: modelo.007_PCP_REML

Variable dependiente: PCP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	264,00	270,23	-125,00	199,20	0,98	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	987,26	<0,0001
SN	1	721,71	<0,0001
Cultivar	2	17,58	0,0001
SN:Cultivar	2	6,45	0,0077

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	987,26	<0,0001
SN	1	721,71	<0,0001
Cultivar	2	17,58	0,0001
SN:Cultivar	2	6,45	0,0077

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	721,71	<0,0001
2 Cultivar	2	18	17,58	0,0001
3 SN:Cultivar	2	18	6,45	0,0077

PCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	2370,00	57,50	A
2	185,26	57,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PCP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	1617,11	70,43	A
Pep-Tcuke	1135,55	70,43	B
Pep-Mona	1080,23	70,43	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	2895,31	99,60	A
1	Pep-Tcuke	2213,13	99,60	B
1	Pep-Mona	2001,56	99,60	B
2	Pep-RZ	338,91	99,60	C
2	Pep-Mona	158,91	99,60	C
2	Pep-Tcuke	57,97	99,60	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.008_PPFCP_REML<-gls(PPFCP~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=R.data05)
```

Resultados para el modelo: modelo.008_PPFCP_REML

Variable dependiente: PPFCP

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	192,09	198,32	-89,04	27,03	0,86	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2961,33	<0,0001
SN	1	91,20	<0,0001
Cultivar	2	3,79	0,0424
SN:Cultivar	2	4,78	0,0217

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2961,33	<0,0001
SN	1	91,20	<0,0001
Cultivar	2	3,79	0,0424
SN:Cultivar	2	4,78	0,0217

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	91,20	<0,0001
2 Cultivar	2	18	3,79	0,0424
3 SN:Cultivar	2	18	4,78	0,0217

PPFCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	352,94	7,80 A
2	247,56	7,80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PPFCP - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Mona	313,29	9,56 A
Pep-RZ	308,50	9,56 A
Pep-Tcuke	278,96	9,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PPFCP - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-Mona	361,97	13,52 A
1	Pep-Tcuke	354,25	13,52 A
1	Pep-RZ	342,60	13,52 A
2	Pep-RZ	274,40	13,52 B
2	Pep-Mona	264,61	13,52 B C
2	Pep-Tcuke	203,67	13,52 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7. Análisis de varianza para la variable calidad evaluada en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos
Especificación del modelo en R

```
modelo.009_Brix_REML<-gls(Brix~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data05)
```

Resultados para el modelo: modelo.009_Brix_REML

Variable dependiente: Brix

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	54,43	60,66	-20,22	0,59	0,40	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	843,35	<0,0001
SN	1	6,20	0,0228
Cultivar	2	2,59	0,1030
SN:Cultivar	2	0,20	0,8170

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	843,35	<0,0001
SN	1	6,20	0,0228
Cultivar	2	2,59	0,1030
SN:Cultivar	2	0,20	0,8170

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	6,20	0,0228
2 Cultivar	2	18	2,59	0,1030
3 SN:Cultivar	2	18	0,20	0,8170

Brix - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	3,80	0,17 A
2	3,20	0,17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Brix - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Mona	3,86	0,21 A
Pep-Tcuke	3,44	0,21 A

Pep-RZ 3,20 0,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Brix - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-Mona	4,08	0,30 A
1	Pep-Tcuke	3,73	0,30 A
2	Pep-Mona	3,65	0,30 A
1	Pep-RZ	3,60	0,30 A
2	Pep-Tcuke	3,15	0,30 A
2	Pep-RZ	2,80	0,30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 8. Análisis de varianza para las variables de absorción total de macronutrientes evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.026_N_REML<-gls(N~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=R.data26)
```

Resultados para el modelo: modelo.026_N_REML

Variable dependiente: N

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	11,36	17,20	1,32	0,18	0,76	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1715,27	<0,0001
SN	1	15,32	0,0011
Cultivar	2	16,93	0,0001
SN:Cultivar	2	0,89	0,4281

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1732,08	<0,0001
SN	1	17,22	0,0007
Cultivar	2	17,56	0,0001
SN:Cultivar	2	0,89	0,4281

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	15,32	0,0011

2	Cultivar	2	17	16,93	0,0001
3	SN:Cultivar	2	17	0,89	0,4281

N - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	1,68	0,05	A
2	1,39	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

N - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	1,77	0,07	A
Pep-Mona	1,58	0,06	A
Pep-RZ	1,25	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

N - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	1,98	0,09	A
1	Pep-Mona	1,67	0,09	A B
2	Pep-Tcuke	1,57	0,10	A B C
2	Pep-Mona	1,50	0,09	B C
1	Pep-RZ	1,39	0,09	B C
2	Pep-RZ	1,11	0,09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.027_P_REML<-gls(P~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data26)
```

Resultados para el modelo: modelo.027_P_REML

Variable dependiente: P

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	-31,19	-25,36	22,59	0,05	0,54	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	712,76	<0,0001
SN	1	7,20	0,0157
Cultivar	2	3,78	0,0440
SN:Cultivar	2	2,03	0,1618

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
--	-------	---------	---------

(Intercept)	1	726,89	<0,0001
SN	1	7,32	0,0150
Cultivar	2	4,17	0,0335
SN:Cultivar	2	2,03	0,1618

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	7,20	0,0157
2 Cultivar	2	17	3,78	0,0440
3 SN:Cultivar	2	17	2,03	0,1618

P - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,31	0,01	A
2	0,25	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

P - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	0,31	0,02	A
Pep-Mona	0,29	0,02	A
Pep-RZ	0,24	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

P - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,37	0,03	A
1	Pep-Mona	0,32	0,03	A B
2	Pep-Mona	0,27	0,03	A B
2	Pep-Tcuke	0,26	0,03	A B
1	Pep-RZ	0,25	0,03	B
2	Pep-RZ	0,24	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.028_K_REML<-gls(K~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data26)
```

Resultados para el modelo: modelo.028_K_REML

Variable dependiente: K

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	47,85	53,68	-16,92	0,52	0,63	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	811,85	<0,0001
SN	1	14,34	0,0015
Cultivar	2	3,99	0,0380
SN:Cultivar	2	2,71	0,0951

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	831,98	<0,0001
SN	1	14,31	0,0015
Cultivar	2	4,50	0,0270
SN:Cultivar	2	2,71	0,0951

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	14,34	0,0015
2 Cultivar	2	17	3,99	0,0380
3 SN:Cultivar	2	17	2,71	0,0951

K - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	3,50	0,15	A
2	2,68	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

K - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	3,40	0,20	A
Pep-Mona	3,19	0,18	A B
Pep-RZ	2,67	0,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

K - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	4,18	0,26	A
1	Pep-Mona	3,45	0,26	A B
2	Pep-Mona	2,94	0,26	A B
1	Pep-RZ	2,88	0,26	B
2	Pep-Tcuke	2,63	0,30	B
2	Pep-RZ	2,47	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.029_Ca_REML<-gls(Ca~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data26)
```

Resultados para el modelo: modelo.029_Ca_REML

Variable dependiente: Ca

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	23,03	28,86	-4,51	0,25	0,70	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	269,60	<0,0001
SN	1	37,59	<0,0001
Cultivar	2	0,27	0,7633
SN:Cultivar	2	0,74	0,4925

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	282,71	<0,0001
SN	1	37,55	<0,0001
Cultivar	2	0,37	0,6984
SN:Cultivar	2	0,74	0,4925

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	37,59	<0,0001
2 Cultivar	2	17	0,27	0,7633
3 SN:Cultivar	2	17	0,74	0,4925

Ca - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	1,18	0,07	A
2	0,54	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Ca - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	0,91	0,10	A
Pep-RZ	0,85	0,09	A
Pep-Mona	0,82	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Ca - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	1,32	0,12	A
1	Pep-RZ	1,14	0,12	A B
1	Pep-Mona	1,07	0,12	A B
2	Pep-RZ	0,56	0,12	B
2	Pep-Mona	0,56	0,12	B
2	Pep-Tcuke	0,50	0,14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos
Especificación del modelo en R

```
modelo.030_Mg_REML<-glms (Mg~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data26)
```

Resultados para el modelo: modelo.030_Mg_REML

Variable dependiente: Mg

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	-12,10	-6,27	13,05	0,09	0,49	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	318,88	<0,0001
SN	1	13,02	0,0022
Cultivar	2	0,37	0,6991
SN:Cultivar	2	1,39	0,2757

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	330,18	<0,0001
SN	1	12,75	0,0024
Cultivar	2	0,52	0,6014
SN:Cultivar	2	1,39	0,2757

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	13,02	0,0022
2 Cultivar	2	17	0,37	0,6991
3 SN:Cultivar	2	17	1,39	0,2757

Mg - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	0,40	0,03 A
2	0,26	0,03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mg - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Tcuke	0,35	0,03 A
Pep-Mona	0,32	0,03 A
Pep-RZ	0,32	0,03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mg - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-Tcuke	0,47	0,04 A
1	Pep-Mona	0,37	0,04 A
1	Pep-RZ	0,36	0,04 A
2	Pep-Mona	0,28	0,04 A
2	Pep-RZ	0,27	0,04 A
2	Pep-Tcuke	0,24	0,05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9. Análisis de varianza para las variables de absorción de macronutrientes en planta (parte vegetativa) evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos Especificación del modelo en R

```
modelo.009_NFo_REML<-gls(NFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data09)
```

Resultados para el modelo: modelo.009_NFo_REML

Variable dependiente: NFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
24	4,37	10,60	4,82	0,15	0,51

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	455,11	<0,0001
SN	1	12,25	0,0026
Cultivar	2	1,36	0,2810
SN:Cultivar	2	1,84	0,1881

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	455,11	<0,0001
SN	1	12,25	0,0026
Cultivar	2	1,36	0,2810
SN:Cultivar	2	1,84	0,1881

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	12,25	0,0026
2 Cultivar	2	18	1,36	0,2810
3 SN:Cultivar	2	18	1,84	0,1881

NFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,75	0,04	A
2	0,54	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	0,69	0,05	A
Pep-Tcuke	0,66	0,05	A
Pep-Mona	0,57	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,82	0,07	A
1	Pep-RZ	0,81	0,07	A
1	Pep-Mona	0,60	0,07	A
2	Pep-RZ	0,57	0,07	A
2	Pep-Mona	0,55	0,07	A
2	Pep-Tcuke	0,49	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.010_Pfo_REML<-gls(Pfo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data09)
```

Resultados para el modelo: modelo.010_Pfo_REML

Variable dependiente: Pfo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	-37,34	-31,10	25,67	0,05	0,38	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186,85	<0,0001
SN	1	9,32	0,0069
Cultivar	2	0,02	0,9768
SN:Cultivar	2	0,85	0,4457

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186,85	<0,0001
SN	1	9,32	0,0069
Cultivar	2	0,02	0,9768
SN:Cultivar	2	0,85	0,4457

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

		numDF	denDF	F-value	p-value
1	SN	1	18	9,32	0,0069
2	Cultivar	2	18	0,02	0,9768
3	SN:Cultivar	2	18	0,85	0,4457

Pfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,16	0,01	A
2	0,10	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pfo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Mona	0,13	0,02	A
Pep-Tcuke	0,13	0,02	A
Pep-RZ	0,13	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,17	0,02	A
1	Pep-RZ	0,16	0,02	A
1	Pep-Mona	0,15	0,02	A
2	Pep-Mona	0,12	0,02	A
2	Pep-RZ	0,10	0,02	A
2	Pep-Tcuke	0,09	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.011_Kfo_REML<-gls(Kfo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data09)
```

Resultados para el modelo: modelo.011_Kfo_REML

Variable dependiente: Kfo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	46,11	52,34	-16,06	0,47	0,64	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	169,98	<0,0001
SN	1	27,19	0,0001
Cultivar	2	0,08	0,9220
SN:Cultivar	2	2,21	0,1387

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	169,98	<0,0001
SN	1	27,19	0,0001
Cultivar	2	0,08	0,9220
SN:Cultivar	2	2,21	0,1387

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	27,19	0,0001
2 Cultivar	2	18	0,08	0,9220
3 SN:Cultivar	2	18	2,21	0,1387

Kfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	1,75	0,14	A
2	0,75	0,14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Kfo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	1,28	0,17	A
Pep-Mona	1,27	0,17	A
Pep-RZ	1,19	0,17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Kfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	1,93	0,23	A
1	Pep-RZ	1,82	0,23	A
1	Pep-Mona	1,49	0,23	A B
2	Pep-Mona	1,06	0,23	A B
2	Pep-Tcuke	0,62	0,23	B
2	Pep-RZ	0,57	0,23	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.012_CaFo_REML<-glms(CaFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data09)
```

Resultados para el modelo: modelo.012_CaFo_REML

Variable dependiente: CaFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	20,38	26,61	-3,19	0,23	0,68	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	211,11	<0,0001
SN	1	35,79	<0,0001
Cultivar	2	0,05	0,9494
SN:Cultivar	2	0,96	0,4030

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	211,11	<0,0001
SN	1	35,79	<0,0001
Cultivar	2	0,05	0,9494
SN:Cultivar	2	0,96	0,4030

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	35,79	<0,0001
2 Cultivar	2	18	0,05	0,9494
3 SN:Cultivar	2	18	0,96	0,4030

CaFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,96	0,07	A
2	0,40	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CaFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	0,69	0,08	A
Pep-Tcuke	0,69	0,08	A
Pep-Mona	0,66	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CaFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	1,03	0,11	A
1	Pep-RZ	1,00	0,11	A B
1	Pep-Mona	0,85	0,11	A B C
2	Pep-Mona	0,47	0,11	B C
2	Pep-RZ	0,39	0,11	C
2	Pep-Tcuke	0,35	0,11	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.013_MgFo_REML<-gls(MgFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=R.data09)
```

Resultados para el modelo: modelo.013_MgFo_REML

Variable dependiente: MgFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	-23,71	-17,48	18,86	0,07	0,56	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	246,32	<0,0001
SN	1	18,51	0,0004
Cultivar	2	0,08	0,9202
SN:Cultivar	2	2,22	0,1380

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	246,32	<0,0001
SN	1	18,51	0,0004
Cultivar	2	0,08	0,9202
SN:Cultivar	2	2,22	0,1380

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	18,51	0,0004
2 Cultivar	2	18	0,08	0,9202
3 SN:Cultivar	2	18	2,22	0,1380

MgFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,28	0,02	A
2	0,16	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MgFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	0,22	0,02	A
Pep-Mona	0,22	0,02	A
Pep-RZ	0,21	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MgFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,31	0,03	A
1	Pep-RZ	0,28	0,03	A B
1	Pep-Mona	0,24	0,03	A B
2	Pep-Mona	0,20	0,03	A B
2	Pep-Tcuke	0,14	0,03	B
2	Pep-RZ	0,14	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 10. Análisis de varianza para las variables de absorción de macronutrientes en frutos evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-216.

Modelos lineales generales y mixtos
Especificación del modelo en R

```
modelo.018_NFr_REML<-gls (NFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data18)
```

Resultados para el modelo: modelo.018_NFr_REML

Variable dependiente: NFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	-15,57	-9,73	14,78	0,08	0,93	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2794,44	<0,0001
SN	1	8,19	0,0108
Cultivar	2	98,74	<0,0001
SN:Cultivar	2	0,73	0,4963

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2788,46	<0,0001
SN	1	11,45	0,0035
Cultivar	2	99,75	<0,0001
SN:Cultivar	2	0,73	0,4963

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	8,19	0,0108
2 Cultivar	2	17	98,74	<0,0001
3 SN:Cultivar	2	17	0,73	0,4963

NFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	0,94	0,02 A
2	0,84	0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Tcuke	1,09	0,03 A

Pep-Mona 1,01 0,03 A
 Pep-RZ 0,56 0,03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Cultivar Medias E.E.

1	Pep-Tcuke	1,16	0,04	A	
1	Pep-Mona	1,07	0,04	A	B
2	Pep-Tcuke	1,03	0,05	A	B
2	Pep-Mona	0,95	0,04		B
1	Pep-RZ	0,58	0,04		C
2	Pep-RZ	0,54	0,04		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.019_PFr_REML<-gls(PFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data18)
```

Resultados para el modelo: modelo.019_PFr_REML

Variable dependiente: PFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	-76,84	-71,00	45,42	0,01	0,89	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3074,37	<0,0001
SN	1	0,04	0,8434
Cultivar	2	47,02	<0,0001
SN:Cultivar	2	21,89	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3087,01	<0,0001
SN	1	0,18	0,6755
Cultivar	2	49,99	<0,0001
SN:Cultivar	2	21,89	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	0,04	0,8434
2 Cultivar	2	17	47,02	<0,0001
3 SN:Cultivar	2	17	21,89	<0,0001

PFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Medias E.E.

1	0,15	3,8E-03	A
---	------	---------	---

2 0,15 4,0E-03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	0,18	0,01	A
Pep-Mona	0,16	4,7E-03	B
Pep-RZ	0,12	4,7E-03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

PFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,20	0,01	A
1	Pep-Mona	0,17	0,01	A B
2	Pep-Tcuke	0,17	0,01	A B
2	Pep-Mona	0,15	0,01	B
2	Pep-RZ	0,14	0,01	B
1	Pep-RZ	0,09	0,01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.020_KFr_REML<-gls(KFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data18)
```

Resultados para el modelo: modelo.020_KFr_REML

Variable dependiente: KFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
23	8,10	13,94	2,95	0,16	0,88

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3021,07	<0,0001
SN	1	8,40	0,0100
Cultivar	2	34,05	<0,0001
SN:Cultivar	2	24,10	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3025,76	<0,0001
SN	1	7,60	0,0135
Cultivar	2	36,72	<0,0001
SN:Cultivar	2	24,10	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	8,40	0,0100

2	Cultivar	2	17	34,05	<0,0001
3	SN:Cultivar	2	17	24,10	<0,0001

KFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
----	--------	------	--

2	1,95	0,05	A
---	------	------	---

1	1,75	0,05	B
---	------	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

KFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
----------	--------	------	--

Pep-Tcuke	2,15	0,06	A
-----------	------	------	---

Pep-Mona	1,92	0,06	B
----------	------	------	---

Pep-RZ	1,48	0,06	C
--------	------	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

KFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
----	----------	--------	------	--

1	Pep-Tcuke	2,25	0,08	A
---	-----------	------	------	---

2	Pep-Tcuke	2,06	0,09	A
---	-----------	------	------	---

1	Pep-Mona	1,96	0,08	A
---	----------	------	------	---

2	Pep-RZ	1,91	0,08	A
---	--------	------	------	---

2	Pep-Mona	1,88	0,08	A
---	----------	------	------	---

1	Pep-RZ	1,06	0,08	B
---	--------	------	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.021_CaFr_REML<-gls(CaFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data18)
```

Resultados para el modelo: modelo.021_CaFr_REML

Variable dependiente: CaFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
---	-----	-----	--------	-------	----	---

23	-38,24	-32,41	26,12	0,04	0,79	
----	--------	--------	-------	------	------	--

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	396,76	<0,0001
SN	1	29,48	<0,0001
Cultivar	2	3,03	0,0749
SN:Cultivar	2	12,53	0,0005

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	412,60	<0,0001

SN	1	29,30	<0,0001
Cultivar	2	3,88	0,0408
SN:Cultivar	2	12,53	0,0005

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

		numDF	denDF	F-value	p-value
1	SN	1	17	29,48	<0,0001
2	Cultivar	2	17	3,03	0,0749
3	SN:Cultivar	2	17	12,53	0,0005

CaFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	0,22	0,01	A
2	0,12	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CaFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Tcuke	0,20	0,02	A
Pep-Mona	0,16	0,01	A
Pep-RZ	0,16	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CaFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	0,29	0,02	A
1	Pep-Mona	0,22	0,02	A B
2	Pep-RZ	0,17	0,02	B C
1	Pep-RZ	0,14	0,02	B C
2	Pep-Tcuke	0,12	0,02	C
2	Pep-Mona	0,09	0,02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.022_MgFr_REML<-glms(MgFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data18)
```

Resultados para el modelo: modelo.022_MgFr_REML

Variable dependiente: MgFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	-39,18	-33,35	26,59	0,04	0,44	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
--	-------	---------	---------

(Intercept)	1	187,21	<0,0001
SN	1	1,27	0,2745
Cultivar	2	0,56	0,5835
SN:Cultivar	2	5,41	0,0152

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	192,09	<0,0001
SN	1	1,17	0,2938
Cultivar	2	0,77	0,4770
SN:Cultivar	2	5,41	0,0152

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	1,27	0,2745
2 Cultivar	2	17	0,56	0,5835
3 SN:Cultivar	2	17	5,41	0,0152

MgFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	0,12	0,01 A
2	0,11	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MgFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-Tcuke	0,13	0,02 A
Pep-Mona	0,11	0,01 A
Pep-RZ	0,11	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MgFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-Tcuke	0,16	0,02 A
2	Pep-RZ	0,14	0,02 A
1	Pep-Mona	0,13	0,02 A
2	Pep-Tcuke	0,10	0,02 A
2	Pep-Mona	0,08	0,02 A
1	Pep-RZ	0,08	0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11. Análisis de varianza para las variables de absorción total de micronutrientes evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos
Especificación del modelo en R

```
modelo.044_Cu_REML<-glS(Cu~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data44)
```

Resultados para el modelo: modelo.044_Cu_REML

Variable dependiente: Cu

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	145,30	151,13	-65,65	9,08	0,81	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	441,79	<0,0001
SN	1	63,05	<0,0001
Cultivar	2	1,68	0,2155
SN:Cultivar	2	1,48	0,2546

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	440,18	<0,0001
SN	1	66,83	<0,0001
Cultivar	2	1,48	0,2547
SN:Cultivar	2	1,48	0,2546

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	63,05	<0,0001
2 Cultivar	2	17	1,68	0,2155
3 SN:Cultivar	2	17	1,48	0,2546

Cu - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Medias E.E.

2 55,17 2,76 A

1 24,92 2,62 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cu - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar Medias E.E.

Pep-RZ 44,50 3,21 A

Pep-Mona 39,76 3,21 A

Pep-Tcuke 35,88 3,47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cu - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
2	Pep-RZ	63,75	4,54	A
2	Pep-Mona	54,77	4,54	A
2	Pep-Tcuke	47,00	5,24	A B
1	Pep-RZ	25,25	4,54	B
1	Pep-Tcuke	24,75	4,54	B
1	Pep-Mona	24,75	4,54	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.045_Mn_REML<-glms(Mn~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data44)
```

Resultados para el modelo: modelo.045_Mn_REML

Variable dependiente: Mn

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	168,80	174,63	-77,40	18,13	0,42	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	719,89	<0,0001
SN	1	1,33	0,2644
Cultivar	2	3,69	0,0467
SN:Cultivar	2	2,50	0,1117

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	745,31	<0,0001
SN	1	0,78	0,3891
Cultivar	2	3,30	0,0617
SN:Cultivar	2	2,50	0,1117

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	1,33	0,2644
2 Cultivar	2	17	3,69	0,0467
3 SN:Cultivar	2	17	2,50	0,1117

Mn - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	106,42	5,23	A
2	97,64	5,52	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mn - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-RZ	116,00	6,41 A
Pep-Mona	98,75	6,41 A
Pep-Tcuke	91,33	6,92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mn - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
2	Pep-RZ	118,75	9,07 A
1	Pep-RZ	113,25	9,07 A
1	Pep-Tcuke	108,00	9,07 A
2	Pep-Mona	99,50	9,07 A
1	Pep-Mona	98,00	9,07 A
2	Pep-Tcuke	74,67	10,47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.046_Fe_REML<-gls(Fe~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data44)
```

Resultados para el modelo: modelo.046_Fe_REML

Variable dependiente: Fe

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	194,67	200,50	-90,33	38,81	0,65	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	433,76	<0,0001
SN	1	27,03	0,0001
Cultivar	2	0,16	0,8549
SN:Cultivar	2	2,46	0,1151

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	454,03	<0,0001
SN	1	25,86	0,0001
Cultivar	2	0,10	0,9063
SN:Cultivar	2	2,46	0,1151

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	27,03	0,0001

2	Cultivar	2	17	0,16	0,8549
3	SN:Cultivar	2	17	2,46	0,1151

Fe - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	211,83	11,20	A
2	127,19	11,81	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fe - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	175,50	13,72	A
Pep-Mona	168,75	13,72	A
Pep-Tcuke	164,29	14,82	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fe - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-Tcuke	226,25	19,41	A
1	Pep-RZ	222,25	19,41	A B
1	Pep-Mona	187,00	19,41	A B C
2	Pep-Mona	150,50	19,41	A B C
2	Pep-RZ	128,75	19,41	B C
2	Pep-Tcuke	102,33	22,41	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.047_Zn_REML<-gls(Zn~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data44)
```

Resultados para el modelo: modelo.047_Zn_REML

Variable dependiente: Zn

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	176,46	182,29	-81,23	22,72	0,87	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1181,13	<0,0001
SN	1	93,17	<0,0001
Cultivar	2	4,48	0,0273
SN:Cultivar	2	2,83	0,0870

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
--	-------	---------	---------

(Intercept)	1	1189,14	<0,0001
SN	1	101,08	<0,0001
Cultivar	2	3,84	0,0420
SN:Cultivar	2	2,83	0,0870

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	93,17	<0,0001
2 Cultivar	2	17	4,48	0,0273
3 SN:Cultivar	2	17	2,83	0,0870

Zn - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
2	209,72	6,91	A
1	117,75	6,56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Zn - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Mona	175,25	8,03	A
Pep-RZ	172,88	8,03	A B
Pep-Tcuke	143,08	8,68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Zn - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
2	Pep-Mona	228,50	11,36	A
2	Pep-RZ	228,00	11,36	A
2	Pep-Tcuke	172,67	13,12	A B
1	Pep-Mona	122,00	11,36	B
1	Pep-RZ	117,75	11,36	B
1	Pep-Tcuke	113,50	11,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 12. Análisis de varianza para las variables de absorción de micronutrientes en planta (parte vegetativa) evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.034_CuFo_REML<-gls(CuFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data34)
```

Resultados para el modelo: modelo.034_CuFo_REML

Variable dependiente: CuFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	150,89	157,12	-68,44	8,61	0,86	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	294,05	<0,0001
SN	1	105,47	<0,0001
Cultivar	2	1,78	0,1976
SN:Cultivar	2	2,07	0,1557

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	294,05	<0,0001
SN	1	105,47	<0,0001
Cultivar	2	1,78	0,1976
SN:Cultivar	2	2,07	0,1557

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	105,47	<0,0001
2 Cultivar	2	18	1,78	0,1976
3 SN:Cultivar	2	18	2,07	0,1557

CuFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
2	48,17	2,48	A
1	12,08	2,48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CuFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	33,50	3,04	A
Pep-Mona	31,25	3,04	A
Pep-Tcuke	25,63	3,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CuFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
2	Pep-RZ	55,00	4,30	A
2	Pep-Mona	50,75	4,30	A
2	Pep-Tcuke	38,75	4,30	A
1	Pep-Tcuke	12,50	4,30	B
1	Pep-RZ	12,00	4,30	B
1	Pep-Mona	11,75	4,30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```

modelo.035_Mnfo_REML<-gls (Mnfo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data34)

```

Resultados para el modelo: modelo.035_Mnfo_REML

Variable dependiente: Mnfo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	171,72	177,95	-78,86	15,35	0,26	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	556,61	<0,0001
SN	1	0,12	0,7335
Cultivar	2	1,88	0,1808
SN:Cultivar	2	1,15	0,3390

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	556,61	<0,0001
SN	1	0,12	0,7335
Cultivar	2	1,88	0,1808
SN:Cultivar	2	1,15	0,3390

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	0,12	0,7335
2 Cultivar	2	18	1,88	0,1808
3 SN:Cultivar	2	18	1,15	0,3390

Mnfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
1	75,00	4,43 A
2	72,83	4,43 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mnfo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-RZ	81,13	5,43 A
Pep-Mona	74,38	5,43 A
Pep-Tcuke	66,25	5,43 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mnfo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
1	Pep-RZ	82,50	7,67 A

2	Pep-RZ	79,75	7,67	A
2	Pep-Mona	79,25	7,67	A
1	Pep-Tcuke	73,00	7,67	A
1	Pep-Mona	69,50	7,67	A
2	Pep-Tcuke	59,50	7,67	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos Especificación del modelo en R

```
modelo.036_FeFo_REML<-gls(FeFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data34)
```

Resultados para el modelo: modelo.036_FeFo_REML

Variable dependiente: FeFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	169,89	176,13	-77,95	14,59	0,49	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	841,89	<0,0001
SN	1	0,70	0,4123
Cultivar	2	1,00	0,3859
SN:Cultivar	2	7,15	0,0052

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	841,89	<0,0001
SN	1	0,70	0,4123
Cultivar	2	1,00	0,3859
SN:Cultivar	2	7,15	0,0052

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	0,70	0,4123
2 Cultivar	2	18	1,00	0,3859
3 SN:Cultivar	2	18	7,15	0,0052

FeFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	88,92	4,21	A
2	83,92	4,21	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FeFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Mona	92,38	5,16	A
Pep-Tcuke	83,75	5,16	A

Pep-RZ 83,13 5,16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FeFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
2	Pep-Mona	102,00	7,30	A
1	Pep-Tcuke	101,25	7,30	A
2	Pep-RZ	83,50	7,30	A B
1	Pep-Mona	82,75	7,30	A B
1	Pep-RZ	82,75	7,30	A B
2	Pep-Tcuke	66,25	7,30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.037_ZnFo_REML<-glms(ZnFo~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data34)
```

Resultados para el modelo: modelo.037_ZnFo_REML

Variable dependiente: ZnFo

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
24	157,17	163,40	-71,58	10,25	0,94	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1988,08	<0,0001
SN	1	278,74	<0,0001
Cultivar	2	5,03	0,0184
SN:Cultivar	2	0,63	0,5432

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1988,08	<0,0001
SN	1	278,74	<0,0001
Cultivar	2	5,03	0,0184
SN:Cultivar	2	0,63	0,5432

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	18	278,74	<0,0001
2 Cultivar	2	18	5,03	0,0184
3 SN:Cultivar	2	18	0,63	0,5432

ZnFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
2	128,17	2,96	A
1	58,33	2,96	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ZnFo - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-Mona	101,38	3,62	A
Pep-RZ	93,25	3,62	A B
Pep-Tcuke	85,13	3,62	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ZnFo - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
2	Pep-Mona	139,25	5,12	A
2	Pep-RZ	128,00	5,12	A
2	Pep-Tcuke	117,25	5,12	A
1	Pep-Mona	63,50	5,12	B
1	Pep-RZ	58,50	5,12	B
1	Pep-Tcuke	53,00	5,12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 13. Análisis de varianza para las variables de absorción de micronutrientes en frutos evaluadas en los cultivares Monalisa, Modán RZ y Tropicuke de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo ambiente protegido en sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en San Carlos, Costa Rica 2015-2016.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.039_CuFr_REML<-gls(CuFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data39)
```

Resultados para el modelo: modelo.039_CuFr_REML

Variable dependiente: CuFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	111,39	117,22	-48,70	3,35	0,60	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186,61	<0,0001
SN	1	21,16	0,0003
Cultivar	2	1,15	0,3401
SN:Cultivar	2	0,93	0,4138

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	194,39	<0,0001

SN	1	21,34	0,0002
Cultivar	2	1,16	0,3374
SN:Cultivar	2	0,93	0,4138

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

		numDF	denDF	F-value	p-value
1	SN	1	17	21,16	0,0003
2	Cultivar	2	17	1,15	0,3401
3	SN:Cultivar	2	17	0,93	0,4138

CuFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	12,83	0,97	A
2	6,37	1,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CuFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	11,00	1,18	A
Pep-Tcuke	9,29	1,28	A
Pep-Mona	8,51	1,18	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CuFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	13,25	1,68	A
1	Pep-Mona	13,00	1,68	A
1	Pep-Tcuke	12,25	1,68	A
2	Pep-RZ	8,75	1,68	A B
2	Pep-Tcuke	6,33	1,93	A B
2	Pep-Mona	4,02	1,68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.040_MnFr_REML<-gls(MnFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data39)
```

Resultados para el modelo: modelo.040_MnFr_REML

Variable dependiente: MnFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	120,65	126,48	-53,33	4,40	0,79	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	963,11	<0,0001
SN	1	9,06	0,0079
Cultivar	2	12,47	0,0005
SN:Cultivar	2	15,64	0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1004,98	<0,0001
SN	1	7,03	0,0168
Cultivar	2	11,95	0,0006
SN:Cultivar	2	15,64	0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	9,06	0,0079
2 Cultivar	2	17	12,47	0,0005
3 SN:Cultivar	2	17	15,64	0,0001

MnFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Medias E.E.

1 31,42 1,27 A

2 25,86 1,34 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MnFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar Medias E.E.

Pep-RZ 34,88 1,56 A

Pep-Tcuke 26,67 1,68 B

Pep-Mona 24,38 1,56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MnFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN Cultivar Medias E.E.

2 Pep-RZ 39,00 2,20 A

1 Pep-Tcuke 35,00 2,20 A

1 Pep-RZ 30,75 2,20 A B

1 Pep-Mona 28,50 2,20 A B C

2 Pep-Mona 20,25 2,20 B C

2 Pep-Tcuke 18,33 2,54 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.041_FeFr_REML<-gls(FeFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data39)
```

Resultados para el modelo: modelo.041_FeFr_REML

Variable dependiente: FeFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	188,93	194,77	-87,47	32,79	0,68	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	146,20	<0,0001
SN	1	33,47	<0,0001
Cultivar	2	0,51	0,6111
SN:Cultivar	2	0,79	0,4682

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	155,22	<0,0001
SN	1	33,25	<0,0001
Cultivar	2	0,50	0,6170
SN:Cultivar	2	0,79	0,4682

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	33,47	<0,0001
2 Cultivar	2	17	0,51	0,6111
3 SN:Cultivar	2	17	0,79	0,4682

FeFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.	
1	122,92	9,46	A
2	43,36	9,98	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FeFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.	
Pep-RZ	92,38	11,59	A
Pep-Tcuke	80,67	12,52	A
Pep-Mona	76,38	11,59	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FeFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.	
1	Pep-RZ	139,50	16,39	A
1	Pep-Tcuke	125,00	16,39	A B
1	Pep-Mona	104,25	16,39	A B C
2	Pep-Mona	48,50	16,39	B C
2	Pep-RZ	45,25	16,39	C
2	Pep-Tcuke	36,33	18,93	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```

modelo.042_ZnFr_REML<-gls (ZnFr~1+SN+Cultivar+SN:Cultivar
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data39)

```

Resultados para el modelo: modelo.042_ZnFr_REML

Variable dependiente: ZnFr

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	171,93	177,76	-78,96	19,88	0,51	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	286,10	<0,0001
SN	1	7,10	0,0163
Cultivar	2	2,28	0,1324
SN:Cultivar	2	2,63	0,1014

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	294,74	<0,0001
SN	1	8,77	0,0087
Cultivar	2	1,86	0,1853
SN:Cultivar	2	2,63	0,1014

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 SN	1	17	7,10	0,0163
2 Cultivar	2	17	2,28	0,1324
3 SN:Cultivar	2	17	2,63	0,1014

ZnFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Medias	E.E.
2	81,64	6,05 A
1	59,42	5,74 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ZnFr - Medias ajustadas y errores estándares para Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Cultivar	Medias	E.E.
Pep-RZ	79,63	7,03 A
Pep-Mona	73,88	7,03 A
Pep-Tcuke	58,08	7,59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ZnFr - Medias ajustadas y errores estándares para SN*Cultivar

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

SN	Cultivar	Medias	E.E.
2	Pep-RZ	100,00	9,94 A
2	Pep-Mona	89,25	9,94 A
1	Pep-Tcuke	60,50	9,94 A

1	Pep-RZ	59,25	9,94	A
1	Pep-Mona	58,50	9,94	A
2	Pep-Tcuke	55,67	11,48	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)