

Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavel variedad Rony cultivado en sustrato





UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavel variedad Rony cultivado en sustrato

I.A. Nathalia Rocío Casas Ortiz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Maestría en Ingeniería – Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2015

Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavel variedad Rony cultivado en sustrato

I.A. Nathalia Rocío Casas Ortiz

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Directora:

Química, M.Sc. en Ciencias y Doctora en Ciencias Agropecuarias

Martha Cristina Bustos López

Codirector:

Químico y Doctor en Química

Nicolás Hernández Guarín

Línea de Investigación:

Calidad de Agua

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Maestría en Ingeniería – Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2015

A Dios, por siempre estar presente en cada paso de mi vida.

A mis padres, quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como madre y profesional.

A mi hija, por sus sonrisas y por ser mi mayor motivación para ser día a día una mejor persona.

Agradecimientos

Agradezco a Colciencias que, mediante financiación al proyecto con código 1101-586-35780, me permitió desarrollar este trabajo de tesis como Estudiante Auxiliar de Maestría. A QFC S.A.S por donar el material vegetal y a Brenntag Colombia S.A. por suministrar las soluciones nutritivas para fertirriego. Con los aportes de estas importantes entidades se hizo viable el proyecto **Lisímetro de pesada en campo como herramienta de ayuda en la toma de decisiones para aplicación de fertirriego en el cultivo de clavel**, en el cual desarrolle de forma exitosa el presente trabajo de tesis.

A la Facultad de Ingeniería y de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, que con su infraestructura de laboratorios y de personal docente y administrativo contribuyeron al desarrollo exitoso de este trabajo de grado.

A los profesores Martha Cristina Bustos L., Nicolás Hernández G., Carlos Alberto González M. y Víctor Julio Flórez R., por la dirección del trabajo, por su acertada asesoría y consejería en la realización del mismo, sin las cuales no habría sido posible culminar con éxito este trabajo.

Y a todas aquellas instituciones y personas que de alguna manera hicieron parte de mi formación.

Resumen

El sector floricultor ocupa un lugar privilegiado en la economía colombiana. En la Sabana de Bogotá se encuentra aproximadamente el 85% del total del área cultivada por flores en nuestro país. El nivel de producción de flores se caracteriza por presentar altos consumos de agua. Esta actividad tiene un gran impacto sobre el ambiente y los costos de producción del cultivo, en especial, cuando las labores de fertirriego se realizan de manera convencional, aplicando dosis de fertirriego uniformes durante todo su ciclo productivo, sin tener en cuenta las características del cultivo, su estadio fenológico y condiciones ambientales.

En el fertirriego, las dosis de aplicación de los fertilizantes, en especial los nitrogenados, que se ha venido utilizando responde en la mayoría de los casos a recomendaciones realizadas por las casas comerciales de productos fertilizantes y a referencias obtenidas de técnicos de las empresas florícolas. Lo anterior, ha llevado a una indiscriminada aplicación de fertilizantes nitrogenados que junto a la falta de un manejo adecuado del agua resultan en el deterioro de la calidad del suelo y de las aguas subterráneas.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo la evaluación del ajuste del contenido de nitrógeno en la fórmula de fertirriego utilizada en miniclavel cv. Rony cultivado en sustrato bajo cubierta, en el Centro Agropecuario Marengo, tomando como testigo la fórmula comercialmente utilizada por los floricultores de la Sabana de Bogotá, para después de realizar un análisis del contenido de nitrógeno en el continuo suelo planta agua, se realizó una modificación en el contenido de nitrógeno de la fórmula comercial y se observó este comportamiento tras el cambio , con el fin de evitar no solo las pérdidas económicas que ello implica para los agricultores, sino también como una contribución al desarrollo e implementación de nuevas prácticas agrícolas que permitan disminuir los impactos ambientales provocados por el vertimiento de lixiviados con altos contenidos de nitrógeno sobre los cuerpos de agua, buscando una producción más limpia.

El contenido de nitrógeno por parte de las plantas en ambos tratamientos es aceptable y se evidencia que el descenso en este nutriente con el tiempo es debido a la edad fisiológica de la planta. Lo anterior indica que para la presente investigación la reducción en la dosis de nitrógeno en el tratamiento T2 no afectó en los requerimientos nutricionales a la planta. Se observó en el tratamiento T2, como se esperaba por la reducción de N, una concentración menor de nitratos en el lixiviado, contribuyendo de esta manera con la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua y agua subterránea.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es evidente la necesidad de profundizar en el conocimiento de la dosis de fertilizantes nitrogenados óptima. La presente investigación es una primera aproximación frente a la temática de fertilización con fuentes nitrogenadas y contaminación de cuerpos de agua.

Palabras clave: lixiviados, concentración, nitratos, asimilación, medio ambiente.

Abstract

The floriculture sector employs a privileged place in the Colombian economy. In the Sheet of Bogota one finds approximately 85 % of the total of the surface cultivated by flowers in our country. The level of production of flowers is characterized for presenting high consumptions of water. This activity has a great impact on the environment and the costs of production of the culture, especially, when the labors of fertigation are realized in a conventional way, applying dose of fertigation uniforms during all his productive cycle, without bearing the characteristics of the culture in mind, his stadium phenological and environmental conditions.

In the fertigation, the doses of application of the fertilizers, especially the nitrogenous ones, which one has come using it answers in most cases to recommendations realized by the business firms of products fertilizers and to references obtained of technical personnel of the companies of flowers. This has led to an indiscriminate application of nitrogenous fertilizers which together with the lack of proper water management result in the deterioration of the quality of soil and groundwater.

The present project of investigation takes as an aim the evaluation of the adjustment of the content of nitrogen in the fórmulates of fertigation used in mini carnation cv. Rony cultivated in low substratum covered, in the Agricultural Center Marengo, taking as witness the fórmulates commercial used by the floriculturists of the Sheet of Bogota, for after an analysis of the nitrogen content in the continuous ground floor water, an amendment was made in the nitrogen content of the commercial fórmulates and this behavior was observed after the change, in order to avoid not only the economic losses that implies for farmers, but also as a contribution to the development and implementation of new agricultural practices to reduce environmental impacts caused by the dumping of leachate with high contents of nitrogen on water bodies, looking for cleaner production.

Nitrogen assimilation by plants is acceptable in both treatments and evidence that this nutrient decreased over time is due to the physiological age of the plant. This indicates that for this investigation the reduction in nitrogen doses in the treatment T2 no affect on the nutritional requirements of the plant. Was observed in the treatment T2, for reducing N, a lower concentration of nitrate leaching, thus contributing to the reduction of pollution of bodies of water and groundwater expected.

The previous thing indicates that for the present investigation the reduction in the dose of nitrogen I do not concern in the nutritional requirements the plant. In agreement with the obtained results, there is evident the need to penetrate into the knowledge of the ideal dose of nitrogenous fertilizers. The present investigation is the first approximation opposite to the subject matter of fertilization with nitrogenous sources and pollution of water bodies.

Key words: leachate, concentration, nitrates, assimilation, environment

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	XI
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	XVI
Lista de símbolos y abreviaturas	XVII
1. Introducción	1
2. Objetivos	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3. Marco Teórico	9
3.1 Antecedentes.....	9
3.2 Producción y cultivo de miniclavel.....	11
3.3 Generalidades de los sustratos.....	16
3.3.1 Cascarilla de arroz quemada.....	19
3.4 Características de los macroelementos esenciales.....	21
3.4.1 Nitrógeno (N)	21
3.4.2 Fosforo (P)	24
3.4.3 Potasio (K)	26
3.5 Fertilizantes y sus efectos ambientales.....	28
3.5.1 Composición de la solución de fertilizante.....	28
3.5.2 Efectos ambientales.....	29
4. Materiales y métodos	34
4.1 Ubicación.....	34
4.2 Material Vegetal.....	36
4.3 Montaje del cultivo	36
4.4 Sistema de riego y Fertirriego.....	36
4.5 Diseño Experimental.....	39
4.6 Variables a medir.....	42
4.7 Análisis de laboratorio.....	44
4.8 Análisis estadístico	46
5. Resultados y discusión	47

XIV Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavel variedad Rony cultivado en sustrato

5.1	Agua de Riego.....	47
5.2	Longitud de Tallo	50
5.3	Nitrógeno en tejido foliar	53
5.4	Nitrógeno en sustrato.....	58
5.5	Nitrógeno en el lixiviado	63
5.6	Productividad y calidad	69
6.	Conclusiones.....	73
7.	Recomendaciones.....	74
8.	Bibliografía	75
A.	Ajuste de curvas, Modelo Logístico - Longitud de Tallo	86
B.	Análisis estadístico, Medidas repetidas con factor intrasujetos en Agua – Sustrato – Planta	95
C.	Análisis estadístico, Medidas repetidas con factor intrasujetos en Productividad	118

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Miniclavel cv. Rony.....	12
Figura 2. Proceso productivo del miniclavel.....	13
Figura 3. Estados de desarrollo fenológico del miniclavel.....	15
Figura 4. Representación del ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas.	24
Figura 5. Ubicación del Proyecto. Lote 5	35
Figura 6. Área de experimentación.....	35
Figura 7. Material Vegetal	36
Figura 8. Distribución de los tratamientos en el invernadero.....	41
Figura 9. Muestreo Sustrato	43
Figura 10. Muestreo Lixiviado.....	44
Figura 11. Comparación de longitud de tallos de miniclavel de los tratamientos T1 y T2	51
Figura 12. Comportamiento del promedio de la longitud de tallos de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización desde la semana ocho hasta la veinticuatro de cultivo.	52
Figura 13. Evolución del contenido de nitrógeno en planta completa de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.	57
Figura 14. Evolución del contenido de nitrógeno en sustrato en clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.....	61
Figura 15. Variación del contenido de NO_3^- en los lixiviados de las plantas de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo	67
Figura 16. Productividad de tallos de miniclavel cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización durante siete semanas en el primer pico de cosecha.	71
Figura 17. Causas de tallo nacional en miniclavel cv. Rony sometido a dos fórmulas de fertilización en el primer pico de cosecha	72

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables en cualquier tipo de sustrato para ser utilizado en labores agrícolas.	18
Tabla 2. Propiedades químicas y físicas del sustrato cascarilla de arroz.	20
Tabla 3. Fórmula fertirriego comercial	39
Tabla 4. Fórmula de fertirriego modificada en el elemento nitrógeno (T2).	40
Tabla 5. Métodos empleados para la determinación de las variables en sustratos en el cultivo de miniclavel cv. Rony.	45
Tabla 6. Métodos empleados para la determinación de las variables en tejido en el cultivo de miniclavel cv. Rony.	45
Tabla 7. Métodos empleados para la determinación de las variables en lixiviados en el cultivo de miniclavel cv. Rony.	45
Tabla 8. Composición química del agua cruda del CAM en cada fase desarrollo en el cultivo de miniclavel cv. Rony.	47
Tabla 9. Composición química del agua de cruda proveniente del Distrito de Riego La Ramada.	47
Tabla 10. Intervalos de confianza de los parametros en el ajuste de la variable longitud de tallo al modelo logístico, en minicalvel cv. Rony en sustrato.	52
Tabla 11. Evolución del contenido de macroelementos y microelementos en planta completa de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.	57
Tabla 12. Evolución del contenido de macroelementos y microelementos en sustrato en clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.	62
Tabla 13. Composición química de los tipos de agua analizados en plantas de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización diferenciales hasta la semana veintiocho del cultivo.	68

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

NH ₄	Amonio
Ca	Calcio
C	Carbono
r ²	coeficiente de determinación del modelo
k	constante que determina la pendiente de la curva
dS	Decisiemens
PO ₄	Fosfato
P	Fosforo
Mg	Magnesio
α	máxima magnitud de la variable longitud
γ	momento de mayor tasa de crecimiento después de <i>pinch</i>
NO ₃	Nitrato
N	Nitrógeno
NH ₂	Óxido Nitroso
K	Potasio
Na	Sodio
SO ₄	Sulfato

Abreviaturas

CAM	Centro Agropecuario Marengo
CE	Conductividad Eléctrica
cv.	cultivar
FAO	Food and Agriculture Organization
OMS	Organización Mundial de la Salud
pH	Potencial
RAS	Relación Adsorción Sodio

XVIII Evaluación de la modificación del contenido de nitrógeno en una fórmula de fertirriego usada en el cultivo de miniclavel variedad Rony cultivado en sustrato

- T1 Tratamiento Fórmula Convencional
- T2 Tratamiento Fórmula Modificada

1. Introducción

El origen de los nutrientes en los ecosistemas puede ser natural o antropogénica. En general, la carga de nutrientes aumenta conforme se incrementa la actividad humana en las cuencas y ecosistemas acuáticos, y esta carga representa una presión sobre el medioambiente. La carga de nitrógeno (N), uno de los principales nutrientes, proviene esencialmente de la actividad agrícola, sobre todo de fertilizantes nitrogenados, usados en gran cantidad por que se asocia a un aumento del rendimiento en el cultivo según los aportes de este elemento. En las últimas décadas, la carga de nitrógeno en los ríos ha aumentado por el mayor uso de fertilizantes nitrogenados, la intensificación del cultivo y una mayor carga ganadera (Cárdenas-Navarro *et al*, 2004)

La contaminación por nitrógeno que genera la actividad agrícola se produce como consecuencia del arrastre del nitrógeno por lixiviación y escorrentía, que pasa a los acuíferos y a las corrientes superficiales (Martínez *et al* 2011). Se calcula que entre un 50 y un 90 por ciento de la carga de nitrógeno en las aguas superficiales tiene su origen en las actividades agrícolas (European Environment Agency, 1999). Los impactos de una carga excesiva de nutrientes pueden manifestarse de forma directa por contaminación del agua potable o como factor de eutrofización, que elimina el oxígeno necesario para la supervivencia de los organismos acuáticos. En las distintas determinaciones experimentales, el rango observado en el factor de emisión para cada tipo de fertilizante es amplio debido a que las pérdidas de nitratos no dependen solamente del tipo de fertilizante, sino que están influenciadas por otros factores como el contenido hídrico del suelo, la temperatura o el manejo que se haga del mismo (Fernández *et al*, 2006).

De ahí la importancia de optimizar la dosis de nitrógeno, no solo en cultivos de flores sino a nivel general en cultivos con uso de fertilización nitrogenada, un exceso de nitrógeno, tiene innegables repercusiones en el medio ambiente, amenazando el equilibrio en tierra, mar y aire. De entrada, altera el equilibrio de las especies vegetales terrestres: las que

asimilan mejor el nitrógeno crecen más rápidamente y predominan, mientras que otras desaparecen. La situación se agrava en los sistemas acuáticos (ríos, lagos y costas es donde van a parar los excedentes de nutrientes y demás residuos). La presencia en la atmósfera de gases ricos en nitrógeno también se deja sentir en el ambiente: el óxido nítrico es causante de fenómenos como el smog o la lluvia ácida, y el óxido nitroso es sospechoso de producir efecto invernadero (Boixadera y Cortés, 2000).

Los compuestos nitrogenados agregados al suelo como los fertilizantes, abonos y residuos orgánicos, son degradados mediante la acción microbiana, produciendo (entre otros compuestos inorgánicos) nitratos, los cuales son esenciales para la nutrición vegetal, pero a la vez pueden ser contaminantes del medio ambiente. Los nitratos son altamente solubles y no son retenidos por las cargas negativas de los coloides del suelo, de modo que se mueven libremente con el agua de drenaje, a través del perfil, hacia los acuíferos. El movimiento de estos compuestos nitrogenados solubles desde el suelo hacia sistemas acuáticos afecta el equilibrio de estos últimos y conduce a una disminución en el nivel de oxígeno del agua, con la consecuente muerte de peces u otras especies acuáticas y pérdida de la biodiversidad. Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada, y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presenta la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente (Carpenter et al., 1998).

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del nitrógeno es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan como fertilizantes de la vegetación acuática de tal manera que, si se concentran, pueden originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie, esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, asimismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad auto depuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos (Gaspar, F. y Barrios, O., 2011).

Del nitrógeno aplicado en los cultivos solamente un 10-50% suele ser absorbido por las plantas, mientras que el 50-90% restante es susceptible de lixivarse a las aguas

subterráneas y superficiales (produciendo su eutrofización) o de perderse en forma gaseosa. En cuanto a las pérdidas por lixiviación, existe una clara relación entre la cantidad de nitrógeno fertilizante utilizado en la agricultura intensiva y la contaminación de los acuíferos por nitratos (Murúa *et al*, 2008). Por lo anterior, la precisión en la dosificación de los fertilizantes, el manejo adecuado de los mismos y la optimización de los sistemas de riego, son aspectos que deben ser abordados a fin de minimizar los procesos de lixiviación de nutrientes hacia las reservas de agua (Arauzo *et al*, 2003).

En Colombia, según Asocolflores, para el año 2012 y 2013 hay sembradas 6.663 ha de cultivos florícolas de las cuales el 85% se encuentran en la Sabana de Bogotá, el 12% en Antioquia y el 3% en la región Centro Occidente que comprende el Eje Cafetero y el Valle del Cauca. Con una producción de 216743 Ton y un rendimiento de 32,85 Ton/ha (Biocomercio Colombia, 2013), de las cuales el miniclavel tiene un área sembrada de 425 ha (DANE, 2009), que equivale a una participación de 8% del total exportado y en donde se realizan aplicaciones de fertirriego diarias entre 40 y 60 Lt.cama⁻¹ (Asocolflores, 2009) El consumo de agua en la floricultura es utilizado para riego o fertirriego, fumigaciones, poscosecha y para consumo humano de la actividad florícola (sanitarios, duchas, cocinas, lavaderos, etc.), encontrándose un consumo diario de agua por parte de este sector de 37 m³/ha día y anual entre 60,48 y 69,34 millones de m³/año, de los cuales el 48% corresponde a una huella hídrica azul, el 16,5% a una huella hídrica verde y el 35,5% a una huella hídrica gris (Arévalo, 2012).

Este sector se beneficia de ventajas naturales (clima, topografía plana, tierras fértiles y pisos térmicos) y económicas (mano de obra relativamente barata y bajos costos de transporte y almacenamiento por cercanía a los puertos de embarque). Sin embargo, también enfrenta desventajas relacionadas con la imposición de restricciones de carácter ambiental y social por parte del mercado europeo y japonés. La imposición de estas barreras se origina en el impacto negativo sobre el medio ambiente por la utilización de ciertos insumos y, las condiciones de contratación de mano de obra. Otra desventaja que tiene el sector es la baja utilización de tecnología de punta, así como la poca investigación y desarrollo de nuevas variedades y técnicas de producción a nivel nacional. Lo anterior lleva a que los requerimientos de innovación de la producción nacional dependan de las importaciones de esquejes, que son desarrollados por competidores tales como Holanda e Israel, que realizan grandes inversiones en investigación y desarrollo (Tenjo *et al*, 2006).

Dado que entre las debilidades del sector se encuentra la poca innovación tecnológica y la falta registros de información sobre los cambios que se pueden realizar a las fórmulas de fertilización relacionándolas con estadios fenológicos, se hace imperante que se abarque este tema, con el que se espera se abra una vía de experimentación que permita determinar a futuro un protocolo para ajuste de fórmulas de fertilización que relacione las condiciones climáticas y ambientales, requerimientos nutricionales de la variedad, propiedades del sustrato, entre otros.

En cuanto a las posibles estrategias para mitigar la contaminación de las aguas por nitratos y las emisiones de gases nitrogenados a la atmósfera, el principal reto es ajustar el aporte de fertilizante a la demanda del cultivo. El desarrollo de estrategias que favorezcan una mayor eficiencia en la asimilación del N por el cultivo permitiría reducir la cantidad que potencialmente se ha lixiviado a los acuíferos o emitido a la atmósfera. El reto es afrontar el problema mediante el desarrollo de prácticas agrícolas mejoradas que puedan ser adoptadas por los agricultores. Esto se podría conseguir, siempre que fuera factible, mediante opciones como una estrategia de fertilización flexible (cantidad, fraccionamiento) basada en la producción estimada mediante modelos que incorporen la predicción de la precipitación para la época de crecimiento del cultivo, el desarrollo de fertilizantes o productos asequibles económicamente que reduzcan la nitrificación o aumenten la retención del nitrógeno en la zona radicular, el desarrollo de sistemas de apoyo a la decisión de la fertilización basados en información sobre el cultivo y el suelo o sustrato y que pueda ser adquirida rápidamente y de forma económica, y la agricultura de precisión con tecnología que facilite la aplicación de dosis variables de semillas y fertilizantes según las necesidades (Murúa *et al*, 2008).

Dada la importancia de lo anteriormente expuesto se propuso que en el marco del proyecto ***Lisímetro de pesada en campo como herramienta de ayuda en la toma de decisiones para aplicación de fertirriego en el cultivo de clavel***, el cual es financiado por Colciencias, se desarrollara el presente proyecto de investigación con el que se buscó contribuir con información para la toma de decisiones en la utilización del nitrógeno en el fertilizante, y la optimización del mismo evaluando el ajuste del contenido de nitrógeno en la fórmula de fertirriego utilizada en miniclavel cv. Rony cultivado en sustrato bajo cubierta, en el Centro Agropecuario Marengo, tomando como testigo la fórmula comercialmente utilizada por los floricultores de la Sabana de Bogotá, para después de realizar un análisis del contenido de nitrógeno en el continuo suelo planta

agua, se realizara un modificación en el contenido de nitrógeno de la fórmula comercial y observar también este comportamiento tras el cambio , con el fin de evitar no solo las pérdidas económicas que ello implica para los agricultores, sino también como una contribución al desarrollo e implementación de nuevas prácticas agrícolas que permitan disminuir los impactos ambientales provocados por el vertimiento de lixiviados con altos contenidos de nitrógeno sobre los cuerpos de agua, buscando una producción más limpia

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar el ajuste del contenido de nitrógeno en la fórmula de fertirriego utilizada en miniclavel cv. Rony cultivado en sustrato bajo cubierta, en el Centro Agropecuario Marengo.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el contenido de nitrógeno en el sustrato, tejido foliar y el lixiviado en diferentes estadios fenológicos de desarrollo del cultivo.
- Establecer el comportamiento del nitrógeno en el continuo sustrato – planta – lixiviado.
- Proponer y evaluar un contenido alternativo de nitrógeno en la fórmula de fertirriego.

3. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

El éxito de la actividad florícola en Colombia en sus 41 años de existencia se debe, principalmente, a la demanda insatisfecha de flores de corte en las principales fiestas de los estadounidenses, entre ellas, San Valentín, Madres y Navidad, y a una más baja estructura de costos, con relación a sus competidores estadounidenses y europeos, en mano de obra, tierra y recursos naturales (Flórez *et al*, 2006).

Del área mundial cultivada en flores y follajes, el 62% está localizado en Asia, el 19% en Europa, el 10% en Centro y Suramérica, el 6% en América del Norte, el 2% en África y el 1% en el Medio Oriente. En Colombia, son cerca de 6.544 hectáreas de cultivo de flores bajo cubierta establecidas en la Sabana de Bogotá (75%), Rio Negro, Antioquia (15%) y (5%) restante en la región centro-oriental del país, de cuya producción 95% es para la exportación. Del total de las exportaciones colombianas de flores en el año 2012, el 79% fueron para América del Norte, el 8% para la Unión Europea, el 9% para Asia y el 4% para el resto del mundo. En promedio, se exportan 35.000 cajas en 20 vuelos diarios. La floricultura colombiana genera más de 120.000 empleos directos, vincula el 25% de la mano de obra rural femenina. El valor de las exportaciones FOB para 2012 y 2013 fue de US\$ 1270 y 1335 millones de dólares, respectivamente. De esta forma, la actividad aporta alrededor del 7% del PIB agropecuario nacional (Biocomercio Colombia, 2013; Banco de la Republica, 2013).

Por otro lado, en algunos países, a inicios del siglo XXI, se inició una reflexión crítica sobre los posibles daños ambientales que podrían causar algunas actividades agrícolas. Entre las consecuencias de estas prácticas se encuentra la mineralización y pérdida de estructura de los suelos, su alta salinidad, la contaminación de aguas por lixiviación de los productos aplicados, los problemas de plagas y enfermedades, fenómenos cada día más difíciles de controlar; y la depredación del territorio con el consiguiente problema para la habitabilidad. Lo anterior suele llevar a una disminución progresiva de los

rendimientos, comprometiendo el futuro agrícola de muchas zonas; además de producir un impacto sobre las fuentes de agua dulce, poniendo en peligro el mantenimiento de la población en el territorio (López-Gálvez y Marins Peil, 2001). La sobreexplotación del suelo y el reciente incremento en la utilización de los sistemas de cultivo sin suelo, concentrados en la Sabana de Bogotá, vienen ocasionando otros problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

En la sabana de Bogotá en los últimos años el sector floricultor Colombiano ha afrontado limitantes en la producción del clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.) para exportación, debido a problemas fitosanitarios; principalmente a la incidencia del patógeno *Fusarium oxysporumf.sp. dianthi*, pero también a la presencia de algunas plagas como nematodos, sinfílicos colémbolos, y a los altos costos en la desinfección de los suelos afectados (EcuRed, 2001).

Esto ha conducido a los floricultores de la sabana de Bogotá a la adopción de tecnologías alternas tales como sistemas hidropónicos o en sustrato; para lo cual se han venido empleando sustratos de naturaleza orgánica como cascarilla de arroz, compost y fibra de coco, entre otras. Estas técnicas de cultivo se realizan sin recirculación del fertirriego drenado, es decir, se desechan cantidades importantes de lixiviados con contenidos de agua y nutrientes, que son vertidos al suelo o a los cuerpos de agua (Flórez et al., 2006).

El actual sistema de cultivo de clavel en sustratos genera impactos ambientales negativos derivados del alto consumo de agua y del vertimiento de sales fertilizantes al medio ambiente, por lo que es aconsejable el uso de sistemas de recirculación de la solución nutritiva o lixiviados (sistemas cerrados) a fin de buscar una disminución en la cantidad de agua y fertilizantes aplicados (Parra y Flórez, 2006). Respecto a los cultivos establecidos en suelo, el cultivo en sustrato ofrece mejor manejo sobre el desarrollo vegetativo de las plantas, mayor calidad y precocidad en la producción y admite la posibilidad de mecanizar y sistematizar la producción (Durán y Martínez, 2000).

Los sistemas de cultivo que utilizan técnicas de fertirriego producen pérdidas de agua y fertilizantes por lixiviación o drenaje de la solución que alcanzan entre 20 y 50% del total de la solución fertilizante aportada (Schröder *et al*, 1995 y Flórez et al., 2006). En la sabana de Bogotá se han reportado perdidas por lixiviación en los cultivos en sustrato de

clavel y rosa que emplean fertirriego, en aproximadamente un 30% del total de la solución nutriente utilizada (Flórez et al., 2006).

En Colombia en la actualidad no se tienen registros certificados de una práctica estándar de aplicación de fertirriego proveniente de estudios de consumo de agua y fertilización; por lo que esta práctica podría estar generando sobrecostos por la aplicación rutinaria que se realiza. Tal como lo reporta Alarcón (2000) los programas de fertilización en flores de corte se realizan con el concepto de concentración, porque no se tienen los conocimientos adecuados acerca de la demanda de la planta por unidad de área y tiempo de desarrollo. Para el manejo de la concentración de la solución nutritiva es importante realizar un diagnóstico basado en el análisis del sustrato, del tejido foliar y del drenaje con el fin de hacer las correcciones respectivas en el manejo de los fertilizantes compuestos.

Por otro lado la práctica de suministro de agua realizada por las empresas de flores en Colombia se hace en forma empírica y todas las características hidrofísicas de los sustratos, que son necesarias y recomendadas para lograr un manejo apropiado del agua, son subestimadas y se imponen los conocimientos empíricos que han producido hasta la fecha buena rentabilidad para el productor (Gonzales *et al*, 2006). Esto continúa siendo así, porque de alguna manera hasta la fecha, los costos de producción inherentes a la aplicación de fertirriego, son desconocidos, enmascarados o sencillamente difíciles de obtener a partir de la información proveniente de los productores. Este constituye uno de los elementos para tener en cuenta en futuras investigaciones sobre aplicación de agua en flores de corte.

En líneas generales, se conoce que la aplicación de fertirriego tanto en claveles (Castellanos *et al*, 2010.) y rosa (Barrientos *et al*, 2011) muestran cifras de costos de fertirriego entre el 5 y 8% de la producción, no se presentan otros costos involucrados como los equivalentes al uso de mano de obra, tecnología, energéticos y el mismo del agua.

3.2 Producción y cultivo de miniclavel

El clavel estándar y el clavel miniatura son una de las principales flores de corte dentro del comercio mundial. En la actualidad, Estados Unidos es el principal cliente de este tipo

de flor en el mundo y Colombia, con más de 4.000 hectáreas dedicadas a este cultivo, es el principal productor y proveedor mundial de clavel. En cuanto al clavel mini, si bien es cierto que Colombia lo produce, países como Marruecos, España, Costa Rica y Kenya han logrado penetrar el mercado fuertemente y están mejor posicionados en cuanto a este producto se refiere. Otro gran productor del clavel es Holanda, país que abastece la demanda de esta flor en Europa (Solano, A. 2009).

El clavel miniatura (Figura 1) es una planta con hojas lineares de 0.8 a 1.5 cm. de longitud, planas y blandas. Tiene un ramillete de 3 a 6 flores muy olorosas y el cáliz es de 2 a 2.5 cm. de longitud, con dientes triangulares. Sus pétalos son dentados de forma irregular, con una longitud de 0.5 a 1 cm. y diferentes colores que dependen de la variedad (Berrocal y Salazar; 2004).

El clavel miniatura tiene su hábitat natural en regiones entre los 30° y los 45° de latitud como lo son: California del Sur, Valparaíso y alrededores de Chile, Sudáfrica, la zona de Perth en Australia, la sabana de Bogotá y las montañas de México y Kenya.

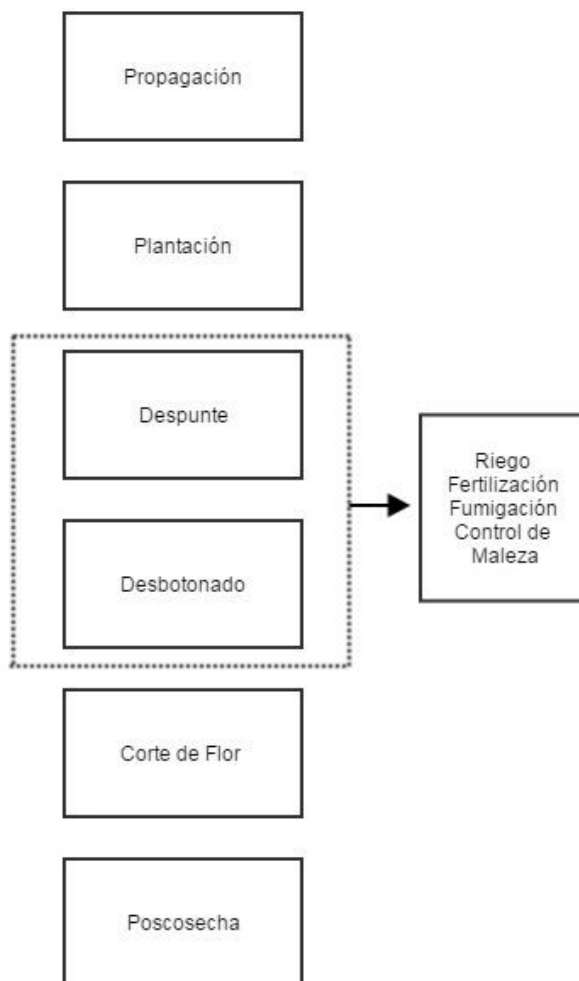
Figura 1. Miniclavel cv. Rony



Fuente: Flores Aurora, 2015

La figura 2 muestra el diagrama del proceso productivo del miniclavel, el cual inicia con la propagación, la cual se efectúa por esquejes de brotes, los cuales son almacenados entre 0,5-1°C por un tiempo que varía entre 15 días y dos meses dependiendo de si estos se encuentran enraizados o no.

Figura 2. Proceso productivo del miniclavel



Fuente: Berrocal *et al*, 2004

El proceso continúa con la plantación, en donde los esquejes son sembrados en camas separados entre sí por una distancia de 15 cm.

Durante este periodo es necesario llevar a cabo riego y fertilizaciones con el fin de garantizar las condiciones necesarias para el adecuado crecimiento de la planta.

En cuanto a la fertilización, la dosis que más se utiliza en la producción del miniclavel es la 200- 40-180, de N-P-K, respectivamente, la cual se puede fraccionar en cuatro partes y aplicarla. Las etapas de aplicación pueden ser antes de la plantación, al inicio de la elongación del tallo, al inicio del brote del botón y la cuarta cuando ya está en botón (Llanos; 2001).

Posteriormente se realiza el despunte o pinch, el objetivo de esta operación es garantizar que la planta ramifique y que las primeras flores sean más largas.

En clavel estándar el desbotone es una práctica de cultivo indispensable que consiste en quitar los brotes o botones laterales de un tallo floral desde el nudo más próximo al botón principal hasta el nudo donde se va a cortar la flor. Con esto se busca obtener sólo una flor proveniente del botón principal o yema apical del tallo floral y que ésta se desarrolle vigorosamente, que su tallo sea fuerte, que el tamaño de la flor sea grande y que complete satisfactoriamente su desarrollo (Arévalo; 2007).

Contrario a esto en el miniclavel lo que se pretende es que el tallo tenga el mayor número de botones florales, por lo cual se lleva a cabo el descabece. El descabece es la actividad en la cual se quita el botón o cabeza principal del tallo o planta, es decir, la de mayor desarrollo. Tiene como objetivo eliminar la dominancia apical que ejerce este botón y permitir que los fotosintetizados lleguen a los botones laterales y así lograr un desarrollo más rápido y uniforme y por consiguiente, una floración más pareja. El momento de hacer el descabece se ha denominado "punto de descabece" y es el estado de desarrollo en que se encuentre el botón que se va a eliminar. Este estado afecta directamente el momento del corte, de tal forma que entre más rápido se descabece más rápido se obtiene el punto de corte y viceversa. Sin embargo, el punto ideal es aquel que una vez realizado permita la apertura uniforme de todos los botones del spray (Torres; sf).

Los estados de desarrollo o puntos de descabece en clavel miniatura cambian para las diferentes variedades, y muchas de ellas se pueden agrupar por su punto de descabece.

Teniendo en cuenta que dentro de la literatura revisada no se encontró una clasificación clara y formal de los estados de desarrollo fenológico del miniclavel, se realizó una adaptación de los estados definidos para la rosa y el clavel, teniendo en cuenta los

estándares de tamaño del miniclavel, dicha adaptación fue realizada por Peña (2012), gerente técnico de la empresa Florval. Los estados establecidos fueron:

- Arveja: se califica dentro del estado arveja al botón floral principal cuyo diámetro se encuentra entre 8 y 10 mm y su forma tiende a ser ovalada.
- Garbanzo: se califica dentro del estado garbanzo al botón floral principal que presenta un diámetro entre 10 y 12mm y una tendencia del botón a formar una punta más definida que tiende a desvanecerse en la medida que aumenta de tamaño.
- Bola: se califica dentro del estado bola al botón floral principal que presenta un diámetro entre 12 y 15mm y la punta de los sépalos es de forma redondeada (cúpula).
- Estrella: se califica dentro del estado estrella al botón floral principal que presenta un diámetro entre 15 y 17mm en este estado el botón presenta cinco puntas que muestran el color de la variedad.
- Ajustado: se califica dentro del estado ajustado al botón floral principal que presenta un diámetro de 18 mm, este tamaño varía según la variedad observada, sin embargo, se clasifican como ajustados aquellos botones que presentan una apertura de los pétalos entre 3 y 5mm de longitud.

Figura 3. Estados de desarrollo fenológico del miniclavel



Fuente: Florval Ltda.

El cultivo del miniclavel exige una temperatura diurna entre los 15-22°C y una temperatura nocturna entre 10-13°C. (Newman; 1999).

En el cultivo de miniclavel estándar, temperaturas inferiores a las indicadas producen rajaduras en los cálices, grupos adicionales de pétalos (cabezas de toros) y flores

aplanadas con botones que no abren totalmente. Con temperaturas inferiores a 2°C se observan manchas negras y necróticas en la flor, ocurre desnaturalización de encimas y proteínas e interrupción de rutas de energía necesarias para la fotosíntesis. (Fisher, 2007).

Las temperaturas bajas estimulan la iniciación floral, en tanto que las temperaturas elevadas ocasionan un crecimiento vegetativo rápido, entrenudos más cortos, tallos más débiles, menor tamaño de la flor y poca vida en florero. (Beisland y Knstofferse, 1969; citados por Boshell, 2009).

Por su parte, la humedad tiene un papel fundamental en la generación de plagas y enfermedades, en especial las de origen fungoso, las cuales se activan con una humedad relativa superior al 80% y se inhiben en periodos con humedad inferior a dicho umbral.

Cuando la humedad relativa es baja, existe un gradiente importante entre la tensión hídrica en el aire en relación con los tejidos vegetales. Una humedad relativa inferior al 60% incrementa significativamente la demanda hídrica. Los valores de humedad menores al 30% son considerados críticos ya que ocasionan elevada transpiración, requiriendo de riegos adecuados (Boshell, 2009).

3.3 Generalidades de los sustratos

La palabra hidroponía proviene de los vocablos griegos “hidros” (agua) y “ponos” (labor, trabajo). Los jardines colgantes de Babilonia, los huertos flotantes de los aztecas en México o los de la China imperial son algunos ejemplos de cultivos hidropónicos (Resh, 1982). De acuerdo con esta etimología, la hidroponía se define como la ciencia del crecimiento de las plantas en un medio acuoso. Los sistemas que, sin utilizar el suelo, en su lugar usan un medio inerte, tal como grava, arena, turba, vermiculita, piedra pómez o aserrín, a los cuales se les añade una solución con los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo normal de la planta, se denominan cultivos sin suelo (CSS) o cultivos en sustratos.

En Colombia, el cultivo en sustrato tuvo una acogida tardía debido principalmente al alto costo de instalación comparado con el cultivo directamente en suelo y sólo se

implementó a partir de la década de los noventa como consecuencia de las costosas aplicaciones para desinfección del suelo, agravada por los acuerdos internacionales de prohibición del uso de bromuro de metilo, ocasionadas por la incidencia de diferentes patógenos del suelo, entre los que destaca *F. oxysporum* f.sp. *dianthi*, causante de la marchitez vascular del clavel, además de nematodos, sinfílicos y colémbolos. Según Patiño (2000), el cultivo en sustrato constituye una alternativa económicamente viable para controlar este tipo de problemas fitosanitarios (Quintero *et al*, 2011).

Un sustrato se define como todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Ansorena, 1994). Los sustratos en la agricultura Colombiana anteriormente eran usados en su mayoría en cultivos de hortalizas, sin embargo en los cultivos de flores en el país se comenzó a implementar como una práctica cultural física para disminuir la presencia del patógeno *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* causante de la marchitez vascular en el cultivo del clavel estándar y miniclavel. Otras de las razones para el uso de sustratos en flores, es que la utilización de sustratos permite manejar en cierto grado las entradas (fertirriego) y las salidas (lixiviados) del sistema, e identificar los posibles nutrientes retenidos por el sustrato y por la planta como parte de su nutrición, tendiendo un mayor control con lo que se esperaría mejorar la calidad y los rendimientos.

Entre los sustratos más sobresalientes en los cultivos sin suelo se encuentra la cascarilla de arroz quemada y cruda, fibra de coco, residuos orgánicos compostados, turba, perlita, vermiculita, arena, lana de vidrio y de roca, entre otros. Para poder considerar como adecuado un sustrato tanto orgánico como mineral, según Bures (1997), deben cumplir con las características descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables en cualquier tipo de sustrato para ser utilizado en labores agrícolas.

Propiedades físicas	Propiedades químicas	Propiedades biológicas
Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible	Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.	Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas
Granulometría debe permitir un volumen de aire entre 15 y 35% y de agua entre 20 y 60% de agua en relación con el volumen total.	Suficiente nivel de nutrientes asimilables.	Reproductividad y disponibilidad.
Suficiente suministro de aire.	Baja salinidad.	Fácil de mezclar.
Baja densidad aparente (entre 0,7-01 g.cm ⁻³).	Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.	Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
Porosidad alta entre el 80-85% y una densidad real entre 2,5-3 g.cm ⁻³ .	Mínima velocidad de descomposición.	Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales
Estructura estable, que impida la contracción.		

Fuente: Bures (1997)

No obstante algunas de estas propiedades pueden variar dependiendo del uso del sustrato y del cultivo. Según Bures (1997), para garantizar el éxito de un cultivo sin suelo, el sustrato debe mantener sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el tiempo o mejorarlas con el fin de establecer un manejo adecuado del cultivo, además los materiales del sustrato deben ser seleccionados teniendo en cuenta su disponibilidad, costo, facilidad de manejo, capacidad para ser reciclados, optimización del manejo de agua y nutrientes, e impacto sobre el medio ambiente al momento de ser desechados.

Los sustratos pueden ser clasificados como inertes y químicamente activos, los primeros, actúan como soporte de la planta, sin intervenir en el proceso de adsorción y fijación de

los nutrientes por lo que deben ser suministrados mediante la solución fertilizante, presentando generalmente una baja o nula CIC; los segundos actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, por lo que interactúan con la solución nutritiva generando la liberación y/o retención de iones presentándose generalmente una alta CIC. La identificación del tipo de sustrato empleado permite identificar si los materiales que lo componen son aptos para ser trabajados de manera individual o mezclados para lograr un manejo adecuado de los mismos y favorecer el desarrollo y crecimiento de la planta (Abad y Noguera, 2000).

Entre los sustratos empleados en el cultivo de rosa se han llevado a cabo investigaciones para caracterizarlos químicamente, además de caracterizar los lixiviados generados y los contenidos de nutrientes en el tejido foliar. Triana et al. (2006), encontraron en cultivos de rosa sembrada en cascarilla de arroz quemada y fibra de coco una mayor pérdida de lixiviados en el estadio fenológico arroz, la cual fue más acentuada en los sustratos en el cual presentaban mayores contenidos de cascarilla de arroz en su composición y, a su vez, presentaba menores niveles de calcio foliar, que en los demás estadios fenológicos. De igual manera, se evidenció que en el estadio fenológico rayar color los niveles de micronutrientes fueron excesivos en comparación con los demás estadios y con más notoriedad en el sustrato fibra de coco.

En avances con relación a la caracterización química de sustratos y lixiviados en un cultivo de rosa, Henao y Flórez (2006) lograron establecer que la CE mostró valores más altos en el estadio fenológico arroz, llegando casi a salinidad, lo que se atribuyó a la acumulación de sales en razón al drenaje deficiente del fertirriego aplicado. Los mismos autores encontraron que la mayoría de los iones presentes en la solución disminuían a medida que aumentaba el pH como en el caso del hierro, potasio, magnesio y fosfatos; a su vez observaron una relación entre el pH de los lixiviados con el de los sustratos, indicando que el lixiviado refleja relativamente bien el ambiente químico del sustrato.

3.3.1 Cascarilla de arroz quemada

La cáscara de arroz es uno de los residuos resultantes de la producción, estimándose que de cada cuatro toneladas de arroz producidas una tonelada es cáscara, la cual se consideraba como problema, pero en la actualidad es una generación de ingresos adicional a la producción de arroz. Para disminuir este efecto, se ha utilizado como

práctica la quema parcial, con lo que se logra un incremento de la retención del agua por parte del sustrato. En la Tabla 2 se presentan las propiedades químicas y físicas de la cascarilla de arroz, según Calderón y Cevallos (2001).

Tabla 2. Propiedades químicas y físicas del sustrato cascarilla de arroz.

Variable	Rango
Capacidad de intercambio catiónico (meq.100mL ⁻¹)	2 – 3
Nitrógeno (%)	0,50 – 0,60
Fosforo (%)	0,08 – 0,10
Potasio (%)	0,20 – 0,40
Calcio (%)	0,10 – 0,15
Magnesio (%)	0,10 – 0,12
Azufre (%)	0,12 – 0,14
Cenizas (%)	12 – 13
Silicio (SiO ₂) (%)	10 – 12
Hierro (ppm)	200 – 400
Manganeso (ppm)	200 – 800
Cobre (ppm)	3 - 5
Zinc (ppm)	15 – 30
Boro (ppm)	4 - 10
Tamaño de grano (mm)	3 – 6
Densidad aparente (Kg.m ⁻³)	0,12
Porosidad total (% volumen)	85 – 95
Capacidad de aire (% volumen)	40– 60
Agua fácilmente disponible (% volumen)	5 – 15
Agua de reserva (% volumen)	1 – 5
Agua difícilmente disponible (% volumen)	0,5
Capilaridad	Mala

Fuente: Calderón y Cevallos (2001)

La cascarilla de arroz se caracteriza por presentar altos contenidos de sílice lo que le permite conservar sus propiedades físicas y químicas durante largos periodos de tiempo. Es uno de los sustratos más utilizados en el establecimiento y manejo de cultivos, por cumplir varias de las características mencionadas en la tabla 1. Sin embargo, sus principales problemas radican en su poca retención de humedad y la dificultad de lograr un reparto homogéneo de la misma (humectabilidad) cuando se usa como sustrato único en camas o macetas.

3.4 Características de los macronutrientes esenciales

Aparte del carbono (C), la planta coge todos los nutrientes de la solución del suelo. Estos se dividen en dos categorías (clasificación cuantitativa):

- macronutrientes, divididos en nutrientes primarios y secundarios.
- micronutrientes o microelementos.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y estas tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales.

En contraste a los macronutrientes, los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades pequeñas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en pocas cantidades cuando no pueden ser provistos por el suelo.

Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas, los nutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio (International Fertilizer Industry Association, 2002).

3.4.1 Nitrógeno (N)

Dependiendo de la especie vegetal, etapa de desarrollo y del órgano, el contenido de nitrógeno necesario para el crecimiento óptimo varía entre 2 y 5% de la masa seca de las plantas (Marschner, 1995); los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes, en los cuales el porcentaje oscila entre 5,5 y 6,5% de la masa seca. A medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta, el porcentaje de nitrógeno disminuye y se eleva la relación C/N. Las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno pero su valor disminuye durante la floración (Navarro y Navarro, 2003).

El nitrógeno es uno de los nutrientes minerales más importante en el desarrollo de la planta debido a que se encuentra en muchos compuestos orgánicos incluyendo todos los

aminoácidos y los ácidos nucleicos (Epstein y Bloom, 2005); del nitrógeno total en las plantas, las proteínas contienen cerca del 85%, los ácidos nucleicos alrededor del 5%, y entre 5 y 10% en varios tipos de compuestos orgánicos de bajo peso molecular solubles en agua (Barker y Bryson, 2007). El nitrógeno también es constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos (nucleo porfirínico), indispensables para la fotosíntesis y la respiración; está presente en varias coenzimas como fosfato de piridoxal (transaminación aminoacídica) y de los nicotinamida-adenin-dinucleótidos (NAD y NADP) (Navarro y Navarro, 2003).

El nitrógeno es el motor del crecimiento de la planta, y constituye entre el uno y el cuatro por ciento del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo la forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). La mayor proporción es absorbida en forma nitrato, sin embargo, hay otras formas orgánicas que son utilizadas por la planta pero en menor escala (ácidos nucleídos, aminoácidos) (Avila *et al*, 2002). En las plantas el contenido promedio de N es de 1,6%, lo que representa el 10% del peso total; para el caso del clavel el contenido de N según algunos autores (Ortega, 1997; Microfertisa, 2006; Arevalo, 2004) está en el rango de 3.2 a 5.2%. Independientemente de la forma como es absorbido siempre se transforma en amina (NH_2), luego en aminoácidos y proteínas. Las proteínas, antes que importancia estructural, tienen características esenciales en el metabolismo, no son estables sino que se están transformando continuamente. Además el N, tiene funciones en otros procesos: es parte componente de la clorofila y por ende de la fotosíntesis, interviene en la función de las hormonas, consecuentemente en el crecimiento. También es componente de la energía respiratoria al formar parte del trifosfato de adenosina (Padilla, 2005 citado por Vargas, 2013; Pastrana *et al*, 2013). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (International Fertilizer Industry Association, 2002).

La deficiencia de nitrógeno limita el crecimiento de todos los órganos de la planta: tallos, raíz y frutos (incluyendo semilla). Las hojas permanecen pequeñas y se tornan rígidas adquiriendo un color verde amarillento; el peciolo se acorta y las nervaduras aparecen

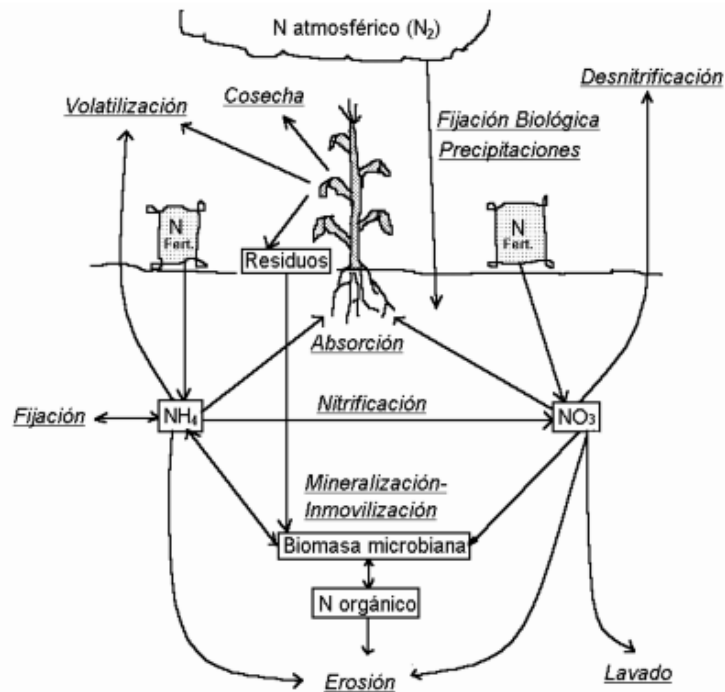
más pronunciadas, y cuando la deficiencia es severa la floración es escasa (Navarro y Navarro, 2003).

Debido a que es un elemento muy móvil en la planta, las primeras evidencias de deficiencia se observan en las hojas más viejas, debido a que ocurre desplazamiento hacia los órganos de mayor demanda, es decir, hacia las hojas jóvenes. La maduración de frutos se acelera, con disminución del rendimiento. Bajo deficiencia de nitrógeno el fósforo tiende a acumularse y presentar contenidos elevados. En contraste, las plantas con excesos de nitrógeno son suculentas, con tejidos poco leñosos, desarrollo radicular pobre y amplio desarrollo vegetativo; las hojas son de color verde oscuro, la maduración se atrasa y se disminuye la calidad del fruto. Adicionalmente la planta se hace más susceptible a enfermedades, al ataque de plagas y a condiciones climatológicas adversas (Alarcón, 2000). De acuerdo con Navarro y Navarro (2003), el crecimiento vigoroso que resulta de aplicar nitrógeno en exceso provoca también la rápida utilización de otros elementos, que si no se encuentran en cantidades suficientes en forma asimilable, pueden ocasionar deficiencias, como la del cobre.

El nitrógeno forma parte de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y con frecuencia es el nutriente más limitante en la mayoría de los suelos agrícolas (Daughtry et al., 2000; Samborski et al., 2009). Sin el aporte de fertilizantes nitrogenados no hubiese sido posible el incremento en la producción de los cultivos en la agricultura moderna (Balasubramanian et al., 2004). La aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados es una práctica común para asegurar la disponibilidad del elemento pero no es sostenible desde el punto de vista medioambiental (Schröder et al., 2000; Scharf y Lory, 2009). Normalmente, hasta un máximo del 50% del N mineral aportado a un cultivo es recuperado por las plantas y el resto se disipa al medioambiente causando impactos adversos (Balasubramanian et al., 2004). Los nitratos procedentes de la actividad agrícola contribuyen a la contaminación de ecosistemas acuáticos y de las aguas subterráneas (Samborski et al., 2009, Thompson et al., 2009) Las condiciones económicas del sector agropecuario tanto a nivel mundial como nacional y la necesidad de preservar el ambiente, básicamente los recursos suelo, agua y atmósfera, requieren del uso más eficiente de los nutrientes. Para maximizar la eficiencia de uso de N debemos conocer la dinámica del nutriente en el sistema suelo-planta-atmósfera y como el manejo de suelos y cultivos afecta esta dinámica. La Figura 9 muestra un esquema del

ciclo terrestre del nitrógeno con las distintas fracciones y transformaciones que las relacionan (García, F. O., y Agronomía, A., 1996).

Figura 4. Representación del ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas.



Fuente: García *et al*, 1996

3.4.2 Fosforo (P)

El fósforo está presente en todas las células, con tendencia a concentrarse en las semillas y en las zonas de crecimiento de las plantas (Thompson y Troeh, 1988). Se encuentra en los tejidos de la planta en concentración variable, los requerimientos de fósforo para un crecimiento óptimo están entre 0,3 y 0,5% de la masa seca durante la etapa vegetativa de crecimiento; y la probabilidad de toxicidad aumenta con contenidos superiores al 1% de la masa seca (Marschner, 1995). El contenido de fósforo es mayor en los tejidos con crecimiento más activo en la planta, tal es el caso de regiones meristemáticas jóvenes, desarrollo de flores, frutos y semillas; pero, en promedio, el contenido de fósforo en una planta saludable, está considerado en el rango de 0,25 a 1% del peso de materia seca producida. Los valores con suficiencia están entre 0,20% y 0,40% en tejidos de hojas recientemente maduras.

El fósforo no se encuentra en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato en forma libre o como un compuesto orgánico, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos ricos en energía como ATP o ADP. Por lo que desempeña un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y en todo el metabolismo energético (Bonilla, 2000). Es un componente vital de la estructura de los ácidos nucleicos, nucleoproteínas, fitinas, fosfolípidos, adenosina, trifosfato (ATP) y muchos compuestos fosforilados. Como componente de los ácidos nucleicos, el fósforo constituye parte del DNA de los cromosomas y del RNA de los núcleos y ribosomas, donde es vital para el proceso de división del núcleo y de la célula y regulación de cada uno de los procesos celulares (Padilla, 2005 citado por Vargas, 2013; Marschner, 1995; Navarro y Navarro, 2003).

El fósforo es necesario en cantidades especialmente grandes en los tejidos meristemáticos, donde las células rápidamente se dividen y se agrandan. El fósforo es un componente clave de la fitina, compuesto que en semillas es esencial para la inducción de la germinación; la deficiencia de fósforo puede reducir el tamaño de las semillas, el número de semillas, y su viabilidad. De otro lado, la nutrición con fósforo se relaciona con todas las fases de la fijación de N_2 en las leguminosas, probablemente debido a la relación entre fósforo y los mecanismos de transferencia de energía. El fósforo, que supone de 0,1 a 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (International Fertilizer Industry Association, 2002; Fageria, 2009).

Uno de los primeros síntomas de deficiencia de fósforo es una inhibición de la expansión y del área foliar (Fredeen et al., 1989); esto es atribuido a la restricción en el suministro de agua a las hojas que están creciendo, como resultado de la reducción en la conductancia hídrica en las raíces (Radin et al., 1989). En el sistema radicular la inhibición es menor, sin embargo se forman raíces más largas y más delgadas (Anghinoni y Barber, 1980, citados por Mengel et al., 2001), también se presenta un incremento en el número y longitud de los pelos radiculares (Foehse y Jungk, 1983). El fósforo no es un constituyente de la clorofila, por lo que en plantas deficientes en fósforo, la concentración de clorofila en la hoja se vuelve comparativamente alta y el color de las

hojas, especialmente las más jóvenes, cambian a verde oscuro (Fageria y Gheyi, 1999, citado por Fageria, 2009).

3.4.3 Potasio (K)

La corteza terrestre contiene aproximadamente 2,5 % de K, siendo el contenido en Este nutriente es absorbido como catión univalente (K^+). Su contenido fluctúa dependiendo de la especie y el órgano considerado; en especies hortícolas se pueden alcanzar niveles foliares del 5% con base en la masa seca (Alarcón, 2000). Aunque las concentraciones de potasio en la solución del suelo no son muy altas, las plantas son capaces de acumular grandes cantidades requeridas, usualmente entre 2 y 10% de la masa seca de la planta (Leigh y Wyn Jones, 1984). En la planta, el potasio juega un papel crucial en la elongación celular, movimiento de hojas, tropismos, homeostasis metabólica, germinación, osmoregulación, función estomática y numerosos procesos bioquímicos (Cuin et al., 2008).

La absorción del potasio es altamente selectiva y está estrechamente asociada con la actividad metabólica. El potasio es tomado por las raíces de la planta como el ión K^+ . Las raíces intercambian H^+ por K^+ en la solución o por los iones de K^+ retenidos en la superficie de las arcillas o la materia orgánica, este proceso es conocido como intercepción y se asume que aproximadamente un 4% del potasio es tomado por este mecanismo y 7% es barrido por las raíces por el flujo del agua que se mueve hacia la raíz, mecanismo conocido como flujo de masas. Esta baja cantidad se debe a la poca concentración de K en la solución del suelo. El sobrante 89%, se aproxima a las raíces por el mecanismo de difusión. A medida de que las raíces toman K^+ en la rizósfera (creando una zona de baja concentración), el K^+ se mueve hacia la raíz una distancia relativamente corta (de varios milímetros), a través del film húmedo desde las zonas de alta concentración (Padilla, 2005 citado por Vargas, 2013). El rango normal de contenido de K en el clavel se encuentra entre 2.0 a 6.3 % del peso de materia seca producida (Ortega, 1997).

El potasio realiza variadas funciones en la planta y hasta la fecha no se han llegado a conocer a plenitud ciertos aspectos del mismo. El potasio debido a su gran movilidad, actúa en la planta como un agente neutralizante de los ácidos orgánicos resultantes del

metabolismo, asegurando así un balance de la concentración del hidrógeno presente en los jugos celulares. De allí que cuando en un análisis del extracto celular se detectan valores de pH ácidos, se puede advertir una deficiencia de potasio en las células, lo cual puede ser corregido con una fertilización foliar o al suelo. Entre las funciones más importantes del potasio se tienen su rol en la: Fotosíntesis, fortalecimiento de tejidos, metabolismo de las proteínas y de los carbohidratos (Padilla, 2005 citado por Vargas, 2013, Navarro y Navarro, 2003). Según Le Bot y Wyn Jones (1984), una función probable del potasio es en la síntesis de polipéptidos en los ribosomas y la síntesis de proteínas requeriría de alta concentración de potasio. Sin embargo, no está claro que enzima en particular o que sitio ribosomal es activado por el potasio.

La deficiencia del potasio no da lugar inmediatamente a síntomas visibles; inicialmente solo hay una reducción en la tasa de crecimiento (hambre oculta), y sólo más tarde se produce clorosis y necrosis (Mengel et al., 2001). Puesto que es un elemento muy móvil, los primeros signos visibles de la deficiencia se presenta en las hojas maduras, donde se presentan marchitamiento o quemado de los márgenes (Navarro y Navarro, 2003). Inicialmente, la falta de potasio origina un retraso general en el crecimiento, que se manifiesta especialmente en los órganos de reserva: semillas, frutos y tubérculos, órganos que deben formarse con el concurso de glúcidos. Estos signos de deficiencia se observan marcadamente cuando su contenido de potasio es tres a cinco veces inferior al normal (Navarro y Navarro, 2003). Además del crecimiento lento, las plantas tienen baja resistencia a enfermedades, sistema radicular mal desarrollado, tallos débiles y es común el acame; las semillas y los frutos son pequeños y deformes (Salgado, 2004). También presentan un bajo estatus de energía, debido a su esencialidad en la transferencia eficiente de energía en cloroplastos y mitocondrias; en una etapa avanzada de deficiencia estos colapsan. Esta deficiencia tiene un impacto en numerosos procesos sintéticos, como síntesis de azúcares y almidón, lípidos y ascorbato y también en la formación de la cutícula de las hojas (Mengel, 2007).

3.5 Fertilizantes y sus efectos ambientales

3.5.1 Composición de la solución de fertilizante

Estudios en nutrición mineral en clavel, según Calderón (2001), se tiene que las plantas jóvenes desarrollan fácilmente deficiencias de nutrientes pero rara vez desarrollan toxicidades de nutrientes así que se recomienda utilizar una solución inicial relativamente concentrada como inicial. Una solución con concentraciones adecuadas de nutrientes para el crecimiento vegetativo inicial foliar generalmente es muy concentrada cuando las plantas están desarrollando tallos y hojas así que se recomienda alterar la composición de la solución para ajustarla a la etapa del crecimiento de la planta para prevenir la acumulación de nutriente en la solución de drenaje o el sustrato.

Para el caso del cultivo del clavel, el ciclo vital se puede dividir en 3 etapas:

1. Crecimiento vegetativo temprano, semanas 0-10, se compone sobre todo de tejido de hojas. Se recomienda la utilización de una solución inicial más rica en N.
2. Crecimiento vegetativo tardío, semanas 10 a 20, durante el cual el crecimiento se compone de cantidades aproximadamente iguales de tejido de tallos y hojas.
3. Crecimiento reproductivo, semanas 20 - 30, durante el cual el crecimiento de la hoja es mínimo y los nutrientes se movilizan hacia los órganos reproductivos. Se recomienda la utilización de una solución para llenado de estructuras reproductivas.

El crecimiento primario de las raíces ocurre sobre todo durante el crecimiento vegetativo temprano y es mucho menos significativo durante el crecimiento vegetativo tardío. El enraizamiento disminuye e incluso para durante la etapa reproductiva.

Algunas recomendaciones de los macro elemento esenciales son: a) Nitrógeno, usualmente se debe suministrar entre un 75 y un 90 % del N como nitrógeno nítrico. Cuando se necesita controlar el pH, se recurre al uso de ácido nítrico, el cual debe ser descontado de la formula global. El uso de fuentes amoniacaes como el nitrato de amonio y el sulfato de amonio causan descenso del pH así que estas pueden ser utilizadas para buscar este efecto. b) Fósforo, suministrado como ácido fosfórico, debe ir dividido en dos tanques en los sistemas duales de inyección. c) Potasio, debe ir más

concentrado al final del ciclo cuando las plantas tienen mayor necesidad para la translocación del elemento a las partes altas de la planta (Alarcón, 2004).

3.5.2 Efectos ambientales

Las plantas requieren para su crecimiento de 16 elementos esenciales que extraen del aire y suelo circundantes; cuando la planta muere, los nutrientes regresan de manera natural al suelo, pero cuando estas se cultivan y cosechan, los nutrientes que se extraen con las plantas ya no regresan y es necesario reemplazarlos para que el suelo siga siendo productivo, de lo contrario las plantas dejarán de crecer (Shakhashiri Bassam, 2011).

La agricultura intensiva necesita nutrir de manera artificial los suelos; para ello utiliza elementos como el N en forma de amoníaco, urea; fósforo (P) en su forma más concentrada de pentóxido de fósforo, de fosfato monoamónico y diamónico y, potasio (K) como potasa u óxido de potasio (Shakhashiri Bassam, 2011).

Los fertilizantes minerales o químicos proveen los nutrientes faltantes en el suelo que los cultivos necesitan, su uso puede mejorar la baja fertilidad en suelos sobreexplotados y pueden duplicar o triplicarlos rendimientos (FAO – IFA, 2002).

Los sistemas intensivos de producción agrícola tienen fuertes efectos en el ambiente; son la actividad consumidora principal y fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas que contribuye, en gran medida, a otros tipos de contaminación del aire y agua. La agricultura comercial también degrada la tierra, es causa de salinización, exceso de extracción de agua y reducción de la diversidad genética agropecuaria. La necesidad de mayores rendimientos y de un incremento en la producción de alimentos son los factores principales que impulsan el crecimiento en el consumo de fertilizantes, sin embargo, es importante destacar que una mayor utilización de estos no necesariamente significa la aplicación de dosis óptimas (Pérez *et al*, 2012).

El uso inadecuado y abuso de fertilizantes minerales propicia el agotamiento de la materia orgánica del suelo, que se presente un desbalance nutrimental y que el suelo pierda su fertilidad y capacidad productiva. El hecho de que los fertilizantes químicos se concentren en unos pocos elementos, sin tomar en cuenta la falta de otros nutrientes que limitan la productividad de los cultivos, provoca problemas ambientales, como el deterioro y contaminación de otros recursos naturales, además del suelo (Sagarpa, 2000).

Aun con las mejores prácticas agrícolas, las pérdidas de nutrientes causadas por desnitrificación, volatilización y lixiviación naturales son inevitables y fuente potencial de contaminación que afecta la calidad del ambiente y la salud de las personas. La contaminación se produce cuando se utiliza más fertilizante que el que puede absorber el cultivo, o cuando se transporta con el agua o viento antes de ser absorbido. Un indicador que permite tener idea de la cantidad de nutriente que no absorbe la planta y se pierde en el ambiente, es el porcentaje de eficiencia, que muestra la cantidad de nutriente recuperado por la planta después de la aplicación del fertilizante. En la década de los años sesenta, la FAO determinó teóricamente que el porcentaje de eficiencia era de 50% (FAO, 1984). Del nitrógeno aplicado a muchos cultivos, solamente entre 10-50% suele ser absorbido por las plantas, mientras que cerca de 50-90% restante se puede lixiviar, generar escorrentía o perderse en forma gaseosa (Murúa et al., 2008).

En el sector rural, el uso sin control de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes es el principal causante de contaminación del suelo y el agua. Dentro de las actividades practicadas a gran escala en el país, la floricultura es una de las que contamina los cuerpos de agua, debido al descargue de químicos por lavado del suelo. Dentro de las unidades de producción agrícola, los minifundios y cultivos familiares son los que menos control ejercen sobre el empleo de agroquímicos (García, 2013).

Dentro de los aspectos a considerar en la amplia gama de estos compuestos, se tiene:

1. Toxicidad. Los efectos del compuesto en humanos y mamíferos puede variar desde alergias hasta dolencias agudas y la muerte.
2. Bioacumulación. Varios de los sidas se acumulan en ciertos tejidos en particular. Los plaguicidas lipofílicos, son aquellos que permanecen en el tejido graso de los peces. Otros se metabolizan y son eliminados con la excreción.
3. Afinidad. Los compuestos pueden ser afines a la materia sólida del suelo, a la materia líquida de los cuerpos de agua, o puede ser favorecida la volatilización. De la naturaleza de afinidad depende el grado de persistencia.
4. Persistencia: La biodegradación del compuesto puede ser de sólo unos meses hasta años. Los plaguicidas modernos suelen tener una vida media que corresponde con el tiempo durante el cual la plaga debe ser controlada.

En cuanto a los efectos de estos agroquímicos, no han sido evaluados seriamente en el país pero son insistentes y crecientes las denuncias de la población campesina en general sobre diferentes dolencias y sintomatologías. El daño más difícil de reparar, es el desequilibrio ecológico que genera la contaminación en los diferentes ecosistemas: la disminución de ciertas poblaciones, que causan por tanto una reacción en cadena. Esto a su vez puede generar fenómenos de plagas, pérdida de la biodiversidad, y reacciones mutagénicas en todos los niveles de la vida, incluyendo el hombre (García, 2013).

Los principales problemas relacionados con el uso de fertilizantes son: la eutrofización de aguas superficiales por el elevado contenido de nitrógeno y fósforo; riesgos en la salud humana por el consumo de aguas subterráneas contaminadas con nitratos lixiviados, que pueden producir cáncer de estómago e hígado, mayor mortalidad en recién nacidos debido a malformaciones que afectan al sistema nervioso central, muscular u óseo (en niños menores de seis meses puede producir metahemoglobinemia); daños por salinidad y contaminación de acuíferos causados por una dosificación muy alta de nitrógeno; emisión de óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera, que puede afectar la capa de ozono; problemas renales en personas inmunodeprimidas por el cadmio de los fertilizantes fosfatados, que además afectan la calidad del suelo y la salud humana en la cadena alimenticia (Scott, 2005) y, acidificación de los suelos por sulfato de amonio (Salgado et al., 2010).

Los nitratos actualmente constituyen la principal “fuente de contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas), que se caracterizan por una gran cantidad de puntos de entrada de la contaminación en el terreno y por la dificultad que supone hacer una localización precisa de las zonas donde se produce la entrada de los contaminantes; tienden a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, ya que cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, mayor es el peso relativo de este tipo de contaminación, sobre todo si se tiene en cuenta que en determinadas cuencas hidrográficas la aportación de nitrógeno de origen difuso representa más del 50 % del total de la cuenca (Álvarez et al., 2000).

Los compuestos nitrogenados agregados al suelo, como los fertilizantes, abonos y residuos orgánicos, son degradados mediante la acción microbiana, produciendo (entre otros compuestos inorgánicos) nitratos, los cuales son esenciales para la nutrición vegetal, pero a la vez pueden ser contaminantes del medio ambiente. Los nitratos son

altamente solubles y no son retenidos por las cargas negativas de los coloides del suelo, de modo que se mueven libremente con el agua de drenaje, a través del perfil, hacia los acuíferos. El movimiento de estos compuestos nitrogenados solubles desde el suelo hacia sistemas acuáticos afecta el equilibrio de estos últimos y conduce a una disminución en el nivel de oxígeno del agua, con la consecuente muerte de peces u otras especies acuáticas y pérdida de la biodiversidad. Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada, y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presenta la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente (Carpenter et al., 1998).

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del nitrógeno es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan como fertilizantes de la vegetación acuática de tal manera que, si se concentran, pueden originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie, esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, asimismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad auto depuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos (Martínez *et al.*, 2011).

Una fertilización excesiva de nitrógeno no solo es contraria a las buenas prácticas agrícolas, sino también una pérdida de trabajo y capital, daña el ambiente y no es sostenible (IFA, 2002).

En el caso del fósforo, algunas investigaciones demuestran que si se aplica de manera adecuada, no contamina, a menos de que se arrastre, adherido a la tierra, en los procesos de erosión y llegue a cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Los fosfatos son un problema en el agua dulce, el nitrógeno en las aguas salobres, y ambos son la principal causa de la eutrofización del agua (Núñez, 1973; Murphy *et al.*, 2008).

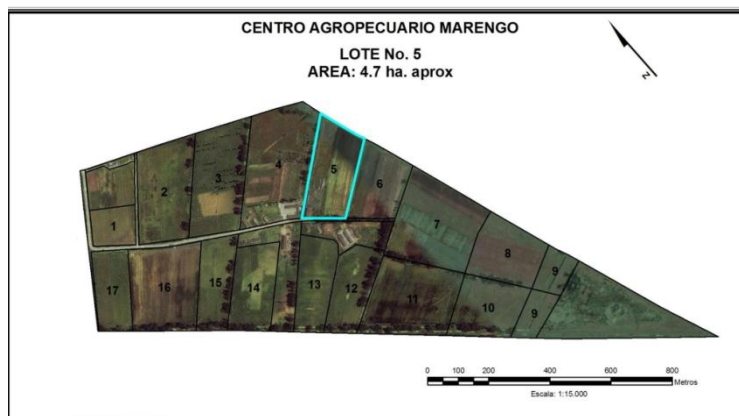
Los fertilizantes potásicos pueden tener un efecto salinizante, en especial los cloruros, aunque no existe evidencia de contaminación ambiental por su uso, ni por el uso de micro nutrientes fertilizantes (Núñez, 1973; Gonzalez, 2011).

4. Materiales y métodos

4.1 Ubicación

El presente estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto **Lisímetro de pesada en campo como herramienta de ayuda en la toma de decisiones para aplicación de fertirriego en el cultivo de clavel**.

El ensayo se realizó en las instalaciones del Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (figura 5), ubicado en la Sabana de Bogotá zona sur occidente (Km 14 vía Bogotá - Mosquera), cuyas coordenadas geográficas corresponden a 74°12' Longitud Oeste y 4°72' Latitud Norte, localizado dentro del área de captación del distrito de riego La Ramada, se encuentra ubicado en el costado oriental de La Sabana, limita por el occidente con el Río Subachoque el cual lo separa del distrito de Bojacá; al norte con la vía La Mesa - Funza y las ciénagas de Tres Esquinas y Gualí, y al oriente y el sur con el río Bogotá. Este presenta una extensión de 6.500 Ha brutas, el área neta para explotación agropecuaria es de 5.500 Ha. Actualmente el distrito acoge a 463 predios rurales y 252 urbanos cuya única fuente de abastecimiento es, precisamente, este sistema de riego (Instituto de estudios urbanos, 2015). La zona en mención se ubica en la cuenca media - alta del río Bogotá, con características de zona de vida correspondientes a bosque seco montano bajo (bsmb), temperatura media de 13,1°C, humedad relativa media de 80,7 %, brillo solar diario medio 4,6 h, velocidad del viento 1,7 m.s⁻¹ y precipitación anual media de 680 mm (CAM, 2010).

Figura 5. Ubicación del Proyecto. Lote 5

El ensayo se ubicó en una nave de 6,8 x 50 m, para un total de 340 m² de invernadero tradicional con estructura metálica, con ventilación lateral y cenital pasiva. Se contó con un tanque de reservorio de 8000 m³ de capacidad de almacenamiento como fuente de agua, filtrado y un sistema de fertirrigación (figura 6).

Figura 6. Área de experimentación.

A



B



C



D

A: Naves de invernadero, **B:** Camas de cultivo, **C:** Bombas para el tratamiento de riego y **D:** Bomba que impulsa el agua del tanque de reserva

4.2 Material Vegetal

Para el establecimiento del ensayo se utilizó miniclavel estándar cv. Rony, de color rojo, proveniente de esquejes con raíz (Figura 7), suministrados por la empresa Queens Flowers (QFC SAS).

Figura 7. Material Vegetal



4.3 Montaje del cultivo

Los esquejes para el experimento fueron cultivados en un sustrato compuesto por cascarilla de arroz cruda, cascarilla de arroz reutilizada y compost de residuos vegetales, los cuales se llevaron hasta primer pico de cosecha.

Se construyeron seis camas (15 x 0,75 m) elevadas, compuestas por dos contenedores plásticos de 0,25 m cada uno. Se sembraron 360 plantas por cama, para una densidad de siembra de 24,7 plantas.m⁻² de invernadero.

4.4 Sistema de riego y Fertirriego

El sistema de riego estuvo conformado por 2 motobombas Pedrollo PKM60 de 0.5 HP; cada una de estas contaba con un tanque hidroneumático o “Hidroflow” de 20libras, que

regulaba la presión de operación de la motobomba y hacia que funcionara de forma automática.

Estas motobombas regaban las 6 camas y se encontraban en una base de concreto de 1,2*1,7m (2.04 m²) y 0,15m de alto, encerradas en una jaula de 1,5 *1,2m de lado y 0,9 m de alto. Cada una regaba tres camas de cultivo (tres camas tratamiento convencional y tres camas tratamiento modificado)

La manguera que se utilizó para riego en las camas fue de 16mm con goteros auto-compensados, separados a 15cm, con caudal por gotero de 1L/hora y presión de operación de 14 a15psi. Cada cama tenía dos mangueras de goteo de 15m; una por contendedor.

Adicionalmente se tenía una bomba marca Aquarium 2x2 motor marca WEG de 1hp, que se encontraba sobre una base de 1,2 *1,2m de lado y 0,15m de profundidad y encerrada en una jaula de 1*1m de lado y 1m de altura (1m³), para reimpulsar el agua desde el tanque de reserva a los tanques para mezcla de fertilizante y poder utilizar la manguera de pvc de 1" con poma mil huecos, para refrescar el cultivo, lavado de caminos, llenado de tanque para aplicaciones y demás labores en las que se requería el uso de agua. Esta bomba contaba con un filtro de malla de 1" para limpiar de sedimentos e impurezas del agua que venía de la planta de tratamiento del CAM.

Por cada motobomba se tenía un filtro de anillos de 1" a la salida para evitar impurezas y sedimentos del agua en la válvula y a las mangueras de riego por cama. Adicionalmente cada bomba contaba con un programador y una válvula reguladora de presión a la entrada de las mangueras de riego, la cual ajustaba la presión de 0 a 40psi, de esta forma se tenía la presión exacta para un caudal más preciso en los goteros.

El programador ajustaba la duración del pulso (volumen de riego), frecuencia entre pulsos (tiempo) y la jornada de fertirriego (inicio y final del último pulso). De acuerdo con estos parámetros se realizaba el riego.

Cada motobomba estaba conectada con tubería de 1 ¼" a un tanque de 500 litros de capacidad para realizar las mezclas fertilizantes de las respectivas camas a regar. En cada uno de estos tanques se tenía un flotador eléctrico, el cual apagaba las motobombas y evitaba que cuando se acabara la mezcla fertilizante siguiera funcionando

y se pudiera quemar debido al vacío. Adicionalmente Brenntag Colombia S.A, dono un tanque en fibra de vidrio, para reserva de agua con capacidad de 8m^3 (8000 litros) el cual se utilizaba cuando no se podía tomar el agua directa de la planta de tratamiento del CAM.

La motobomba que impulsaba el agua desde la planta de tratamiento era una IHM de 2 hp con salida de dos pulgada y caudal de 160L por minuto, con filtro de anillos y al punto donde se tomaba el agua se contaba con 40psi de presión suficiente para la llegada del agua al invernadero.

El agua de riego del CAM, proveniente del distrito de riego La Ramada, fue tratada con cloruro de hierro a 60ppm para sedimentación y floculación de partículas y cada 8 días se realizaba un retro lavado de los filtros de arena. Se hizo una conexión de una tubería de pvc de 1 ¼" en el lote cinco a 70m del invernadero, donde se extendió tubería del mismo diámetro enterrada a 40cm de profundidad hasta el invernadero con los respectivos accesorios y demás material necesario de acuerdo al diseño del sistema de riego.

El mismo sistema de riego fue utilizado para ambos tratamientos, de forma secuencial. Como criterio de riego se aplicaron en promedio a partir de la semana cinco, después de la siembra, hasta la semana catorce, 60L/cama experimental/día; en la etapa del cultivo de la semana 15 a 26 se incrementó a 80L/cama experimental/día y se finalizó con un promedio de 50L/cama experimental/día de solución fertilizada en cuatro pulsos desde las siete de la mañana hasta las dos de la tarde. En días soleados o nublados los volúmenes de riego se aumentaron o disminuyeron según el criterio del agrónomo encargado del cultivo. En algunas circunstancias fue necesario aplicar pulsos de solo agua, con la finalidad de lavar los excesos de sales. Para el cálculo inicial de la lámina de riego se consideró la información obtenida de un tanque evaporímetro clase A ubicado en las instalaciones del invernadero.

Durante las dos primeras semanas de siembra se regó solamente con agua y, en seguida, se aplicó la fórmula de fertirrigación comercial para la fase vegetativa hasta la semana 16 de cultivo y posteriormente se realizó el cambio para la fase productiva, a través de un sistema de riego por goteo.

4.5 Diseño Experimental

Se evaluaron dos tratamientos modificando la fórmula de fertirriego, el primero con la fórmula convencional de solución de fertirriego (T1) y el segundo con una fórmula modificada en el elemento nitrógeno (T2). El experimento se desarrolló en dos fases:

- Fase 1. Fórmula Convencional (T1)
 - En esta fase se realizó el establecimiento del testigo, también se monitoreo el pH y CE en solución de entrada y salida.
 - Se realizó análisis químico del sustrato y de la solución de entrada y drenada para determinar niveles de inicio.
 - Se realizó un análisis de tejido foliar para determinar el contenido de nutrientes en las plantas.

- Fase 2. Fórmula Modificada (T2)
 - Se realizó la aplicación de la fórmula ajustada en el elemento nitrógeno.
 - Se realizó la segunda siembra y el establecimiento de las camas en las que se aplicó la fórmula modificada.
 - Se continuó con los análisis de sustrato, tejido foliar y de solución de entrada y salida para determinar contenido y niveles de nutrientes.
 - Se mantuvo la fórmula vegetativa hasta la semana 15 y posteriormente se empezó con la fórmula productiva.

En la Tabla 3 se presenta la fórmula de un programa de fertilización comercial utilizadas comúnmente en el cultivo de miniclavel sembrado en la modalidad de sustrato en la Sabana de Bogotá, la cual fue aplicada en el tratamiento convencional. Las soluciones fertilizantes fueron suministradas por la compañía Brenntag Colombia S.A.

Tabla 3. Fórmula fertirriego comercial

ELEMENTO	F. VEGETATIVA	F. PRODUCTIVA
	(Semana 1 – Semana 15) (mg.L ⁻¹)	(Semana 16 – Semana 25) (mg.L ⁻¹)
N	220	165
P	30	25
K	130	190

Ca	120	120
Mg	40	40
Fe	3	2,5
Zn	0,5	1
Cu	1	1
B	2	1,5
Mo	0,1	0,1

Para la modificación de fórmula de fertirriego en el elemento nitrógeno, previo al inicio de la fase dos se realizó una reunión con un equipo de docentes de diferentes áreas y con la participación de empresas del sector floricultor en donde se revisaron los resultados obtenidos en el análisis de tejido foliar para la fase uno hasta la semana catorce y tomando como punto de partida los contenidos de nitrógeno en la planta completa se tomó la decisión de pasar a la mitad del contenido de nitrógeno en la fórmula sin modificar ningún otro elemento, se tuvo en cuenta para esto el criterio del Ing. Agrícola Jhon Franco (2013), quien recomendó no bajar más de la mitad con el fin de que el cultivo no se viera afectado por posibles elevaciones en el contenido de azufre.

A continuación en la Tabla 4 se muestra la fórmula modificada en el contenido de nitrógeno utilizada en el tratamiento dos (T2).

Tabla 4. Fórmula de fertirriego modificada en el elemento nitrógeno (T2).

ELEMENTO	F. VEGETATIVA	F. PRODUCTIVA
	(Semana 1 – Semana 15)	(Semana 16 – Semana 25)
	(mg.L⁻¹)	(mg.L⁻¹)
N	110	90
P	30	25
K	130	190
Ca	120	120
Mg	40	40
Fe	3	2,5
Zn	0,5	1
Cu	1	1
B	2	1,5
Mo	0,1	0,1

Para el comportamiento sustrato – lixiviado - planta se utilizó un diseño experimental de medidas repetidas con tres factores entre sujetos (lixiviado, tejido vegetal y sustrato) y un factor intra sujetos (tiempo). Cada siete semanas se recolectaron tres muestras de sustrato, tres de lixiviado y tres de tejido de planta completa, se realizó seguimiento al experimento durante 28 semanas, obteniéndose cinco muestreos.

- Fase 1 entre 21 de agosto de 2013 y 26 de febrero de 2014
- Fase 2 entre 15 de enero de 2014 y 30 de julio de 2014

**Figura 8. Distribución de los tratamientos en el invernadero.
UE completamente al azar**

TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
1	1 1	1 1	1 1	1 1	1
2	2 2	2 2	2 2	2 2	2
3		3 3	3 3	3 3	3
4		4 4	4 4	4 4	4
5	5 5		5 5	5 5	5
6	6 6		6 6	6 6	6
7	7 7		7 7	7 7	7
8	8 8		8 8	8 8	8
9	9 9		9 9	9 9	9
10	10 10		10 10	10 10	10
11	11 11		11 11	11 11	11
12		12 12	12 12	12 12	12
13		13 13	13 13	13 13	13
14	14 14		14 14	14 14	14
15	15 15		15 15	15 15	15

Para la productividad se utilizó un diseño experimental de medidas repetidas con un factor entre sujetos (productividad) y un factor intra sujetos (tiempo). Semanalmente se registraron el número de tallos por cama, se realizó seguimiento al experimento durante siete semanas.

- Fase 1 entre 12 de enero de 2014 y 1 de marzo de 2014
- Fase 2 entre 15 de junio de 2014 y 2 de agosto de 2014

Para la longitud de tallo semanalmente se registró la longitud de tallo de siete plantas al azar, durante 28 semanas.

- Fase 1 entre 21 de agosto de 2013 y 26 de febrero de 2014
- Fase 2 entre 15 de enero de 2014 y 30 de julio de 2014

4.6 Variables a medir

Durante el ensayo se llevó a cabo un cronograma de muestreos para los lixiviados, el sustrato y el material vegetal. El primero con el fin de obtener información del comportamiento de pH, CE y del contenido de NO_3^- en los lixiviados. Para el sustrato se realizó una caracterización química en las semanas de desarrollo del cultivo correspondientes a la cero, siete, catorce, veintiuno y veintiocho. Se hizo para el material vegetal un análisis de tejido foliar a plantas de clavel en las mismas cinco semanas de desarrollo que el sustrato. También se midió la longitud de tallo desde el *pinch* hasta la semana 24 de cultivo.

Las muestras de tejido vegetal se sometieron a análisis conforme el protocolo del Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (Carrillo, I. F., Mejía, B. y Franco, H. F., 1994.) y las muestras del lixiviado, se sometieron a caracterización conforme al protocolo del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia (APHA, 2012).

El protocolo de muestreo seguido durante los el desarrollo de los tratamientos se describe a continuación.

- Muestreo de sustrato: este se realizó según la consistencia del sustrato y el número de muestras a enviar al laboratorio. Se tomaron entre 3 a 5 de submuestras elementales en diferentes lugares de la unidad experimental a caracterizar. Se evitó tomar submuestras en la superficie y primeros cinco centímetros de profundidad y en las zonas donde pudiera existir una acumulación de agua. En seguida estas submuestras se mezclaron en un recipiente limpio. Una vez homogeneizada esta mezcla de submuestras se sacó de ella una muestra final de 1 Kg. para su envío al laboratorio (figura 9). La identificación de las muestras para ser ingresadas al laboratorio fue.

TxSxRxSu

En donde:

x: Numero consecutivo de la muestra

T: indica el tratamiento al que corresponde la muestra.

S: indica la semana de cultivo en la que se realizó el muestreo.

R: corresponde al número de la repetición.

Su: identifica que la muestra corresponde a sustrato.

Figura 9. Muestreo Sustrato



- Muestreo de tejido foliar: se realizó un muestreo al azar de las mismas unidades experimentales de donde se obtuvo muestra de sustrato, en ellas se tomaron tres plantas en diferentes estadios fenológicos. Se hizo un análisis de estado nutricional en planta completa. Se aseguró de cada muestreo obtener al menos 200g. La identificación de las muestras para ser ingresadas al laboratorio fue.

TxSxRxTF

En donde:

x: Numero consecutivo de la muestra

T: indica el tratamiento al que corresponde la muestra.

S: indica la semana de cultivo en la que se realizó el muestreo.

R: corresponde al número de la repetición.

TF: identifica que la muestra corresponde a tejido foliar.

- Muestreo de lixiviado: para el análisis de las muestras de lixiviado se requería de 250 a 500 ml para facilitar el traslado al laboratorio. La muestra debía ser homogénea y representativa de la fuente de agua que se deseaba analizar. La muestra se depositó en una botella limpia tomado de los recipientes que se

colocaron debajo de cada unidad experimental (figura 10). La identificación de las muestras para ser ingresadas al laboratorio fue.

TxSxRxL

En donde:

- x: Numero consecutivo de la muestra
- T: indica el tratamiento al que corresponde la muestra.
- S: indica la semana de cultivo en la que se realizó el muestreo.
- R: corresponde al número de la repetición.
- L: identifica que la muestra corresponde a lixiviado.

Figura 10. Muestreo Lixiviado



- **Altura Plantas:** se seleccionaron siete plantas al azar de una unidad experimental y semanalmente desde el *pinch* hasta la semana antes de inicio del corte se les midió la altura con una regleta metálica.
- **Productividad:** se realizó el corte según los criterios de calidad establecidos para miniclavel estándar, donde se tuvo en cuenta los puntos de color de la flor, la longitud del tallo y las condiciones fitosanitarias de la planta.

4.7 Análisis de laboratorio

Para el análisis de tejido foliar y sustrato después del muestreo se realizó un presecado a 65°C por una hora, se molió y posteriormente se secó a 105°C por una hora, finalmente

se pesaron 0,1 g de muestra para el análisis. El método empleado para la determinación de nitrógeno en tejido foliar y sustrato fue nitrógeno total por Micro-kjeldahl.

Para las muestras de lixiviado previo al análisis se realizó una dilución según la conductividad eléctrica de la muestra para que esta cumpliera con el protocolo del equipo de laboratorio. Para la determinación de nitratos se utilizó la cromatografía de aniones.

Los métodos utilizados en la caracterización química de sustratos, lixiviados y tejido se describen en las Tablas 5, 6 y 7, respectivamente.

Tabla 5. Métodos empleados para la determinación de las variables en sustratos en el cultivo de miniclavel cv. Rony.

Variable	Método de análisis
N: Nitrógeno total	Micro-kjeldahl, valoración volumétrica
F: Fósforo total	Calcinación de la muestra a 475°C, valoración colorimétrica con vanadato y molibdato de amonio
Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn totales	Calcinación de la muestra a 475°C, espectrofotometría de absorción atómica
B: total	Calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con Azometina-H
pH	Potenciómetro, determinación en el extracto de saturación (relación peso :volumen 1:5)
CE	Lectura en conductímetro a 25°C en el extracto de saturación.
CIC	Desplazamiento del NH intercambiado con NaCl 1M, valoración volumétrica.

Tabla 6. Métodos empleados para la determinación de las variables en tejido en el cultivo de miniclavel cv. Rony.

Variable	Método de análisis
N: Nitrógeno total	Micro-kjeldahl, valoración volumétrica
F: Fósforo total	Calcinación de la muestra a 475°C, valoración colorimétrica con vanadato y molibdato de amonio
Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn totales	Calcinación de la muestra a 475°C, espectrofotometría de absorción atómica
B: total	Calcinación de la muestra, valoración colorimétrica con Azometina-H

Tabla 7. Métodos empleados para la determinación de las variables en lixiviados en el cultivo de miniclavel cv. Rony.

Variable	Método de análisis
pH	Potenciométrico

F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻	Cromatografía de aniones
CE	Lectura en conductímetro a 25°C

4.8 Análisis estadístico

Los datos se procesaron y se determinaron diferencias estadísticas entre los tratamientos utilizando el paquete estadístico mediante el paquete estadístico SAS versión 9.2 (Anónimo, 2009) conforme al diseño experimental descrito, donde se analizó la interacción de los tratamientos con el tiempo y los efectos de los tratamientos en el lixiviado y tejido foliar. También se analizó el efecto de cada tratamiento en la productividad del cultivo.

Para el análisis de la curva de crecimiento del cultivo los datos se ajustaron a un modelo logístico. La forma del modelo logístico es:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k}{\alpha} y(\alpha - y)$$

Donde $k > 0$ y $0 < y < \alpha$. Se usa k/α como constante de proporcionalidad debido a que los parámetros se pueden interpretar separadamente. La curva de crecimiento es:

$$y = \frac{\alpha}{1 + e^{-k(t-\gamma)}}$$

Donde α , la asíntota superior, es el máximo tamaño, es decir, $y = \alpha$ cuando $t \rightarrow \infty$ y $y = 0$ cuando $x \rightarrow -\infty$ es la asíntota inferior, valores que realmente nunca se obtienen, por lo cual se llaman asíntóticos; γ es el tiempo en el que se logra la máxima tasa de crecimiento ($W_m = k\alpha/4$) o punto de inflexión, en este punto $y = \alpha/2$ y la función es una curva simétrica sigmoideal. Al igual que en la curva exponencial, k es un parámetro de escala sobre el tiempo t que influencia la tasa de crecimiento. En la práctica, el monitoreo inicia tiempo después del valor cero de crecimiento, por lo tanto no siempre se cumple que la asíntota inferior sea igual a cero; sin embargo, es posible adicionarle al modelo otro parámetro que ajuste mejor la curva en la etapa de crecimiento inicial (Flórez *et al.*, 2006). Los parámetros del modelo se ajustaron por el modelo de Gauss-Newton mediante el paquete estadístico SAS versión 9.2 (Anónimo, 2009).

5. Resultados y discusión

5.1 Agua de Riego

En la Tabla 8 se presentan los análisis del agua del CAM muestreada al inicio de cada fase, en sus dos etapas (vegetativa y productiva). Con esta agua cruda se realizó la preparación de las soluciones fertilizantes utilizadas durante el periodo de cultivo correspondiente al primer pico de cosecha para T1 y T2.

Tabla 8. Composición química del agua cruda del CAM en cada fase desarrollo en el cultivo de miniclavil cv. Rony.

MUESTRA	CE	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	RAS
	(dS.m ¹)											
FASE 1 – Vegetativa	0,47	6,74	89,58	10,03	6,86	10,76	126,50	105,50	50,10	129,50	15,9	2,44
FASE 1 – Productiva	0,60	6,0	75,92	3,17	<0,01	4,66	28,20	19,80	15,40	65,80	15,9	2,45
FASE 2 – Vegetativa	0 58	6,40	61,05	3,85	<0,01	27,50	108,25	59,80	36,10	95,50	15,9	2,01
FASE 2 – Productiva	0,75	6,77	83,18	10,34	4,76	126,13	59,10	16,95	18,70	63,70	15,9	1,83

El CAM tiene como concesión para actividades agrícolas y pecuarias el Distrito de Riego La Ramada. En la Tabla 9 se presentan los resultados de la composición química del agua cruda utilizada en la investigación de Henao y Flórez (2006), para producción de clavel y rosa, agua proveniente también del Distrito de Riego La Ramada.

Tabla 9. Composición química del agua de cruda proveniente del Distrito de Riego La Ramada.

Tipo de Agua	CE	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SO ₄ ⁼	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	RAS
	(dS.m ¹)											
Agua Riego	0,4	6,4	82	1	1	30	17	9	6	50	2,8	2,62

Al comparar los resultados obtenidos en las semanas evaluadas con los reportados por Henao y Flórez (2006), se observa que para el pH en promedio se tiene el mismo valor, según este parámetro no se presentó algún grado de restricción por alcalinidad o acidez. En el caso de la CE, es la misma para las condiciones iniciales del estudio y en las semanas siguientes es mayor, estando en el tratamiento dos etapa productiva por encima del grado de restricción de uso ($0,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), encontrándose este según el método de clasificación de la USDA en una categoría altamente salina apta para plantas tolerantes a las sales, como lo es el clavel.

De los aniones y cationes, según García (2012) los valores se encuentran dentro de los rangos usuales sin tener esta ninguna restricción de uso. Los valores de RAS para cada una de las semanas evaluadas se encuentran en el rango de 0- 10, según el método de clasificación de la USDA es un agua con bajo riesgo de sodicidad. El RAS para los datos reportados por Henao y Flórez (2006) también se encuentra en este rango, esto indica que la calidad del agua para riego a lo largo del tiempo ha sido la misma sin afectar esto los cultivos sembrados en suelo o sustrato de la zona. Para el cloruro, según García (2012) dentro de las determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad de agua de riego este parámetro se debe encontrar en un rango de 0 - 300 mmol/L, en las semanas evaluadas la máxima concentración alcanzada fue de 2,53 mmol/L (89,58 mg/L) lo que evidencia que no se presentó toxicidad en el agua de riego por este anión. Por lo general, aguas de riego con concentraciones de cloruro mayores a 100 mg.L deben considerarse cuidadosamente, ya que el crecimiento y calidad de muchos cultivos ornamentales, tanto de flor como de follaje, se afectará significativamente (Cabrera, 2011).

En el presente trabajo de tesis el calcio y el magnesio presentaron una alta variabilidad a lo largo del tiempo, al igual que el sodio, estos valores son más altos a los reportados por Henao y Flórez (2006) pero en ambos casos los valores obtenidos para RAS se encuentran en el mismo rango de clasificación para el método de la USDA. Para la calidad de agua de riego, la concentración total de sodio en el agua no es índice de su peligro, sino que depende de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} . El CAM se encuentra en cercanías de una zona con diferentes actividades industriales y agrícolas, entre las que se encuentran empresas de alimentos y concentrados de animales, podría considerarse que los vertimientos de estas empresas afectan la concentración de iones y aniones en el agua de riego, y que esta es la razón por la cual se presenta una alta variación de las concentraciones de diferentes elementos en el tiempo. En

general, aunque a lo largo del tiempo se presentó variabilidad en cuanto a la calidad de agua de riego, esta no afectó el cultivo de miniclavel.

En cuanto al contenido de amonio en el agua cruda este fue analizado al salir de la planta de tratamiento. Los valores encontrados en el agua son menores al 10% de total de N incorporado en la fórmula, por lo que estas cantidades no afectan la relación óptima de nitrato/amonio en cultivos sin suelo. En hidroponía, las cantidades estándar de NH_4^+ incorporadas en las soluciones nutritivas están entre 5 a 10% del total de N y difícilmente excederá 15 %. En rosas, estos niveles pueden alcanzar 25% durante la etapa vegetativa. La adaptación a la adición de NH_4^+ ocurre simplemente durante crecimiento del cultivo en relación con el pH en el ambiente de la zona radicular. La adición de NH_4^+ disminuye el pH en el entorno de las raíces, debido a una activación en la absorción del catión (NH_4^+) y una disminución en la absorción del anión (NO_3^-). Cuando el NH_4^+ es absorbido, la planta libera H^+ de manera de mantener la neutralidad eléctrica, lo que provoca una disminución en el pH en el entorno de las raíces. El pH óptimo en la solución de suelo está entre 5 y 6 para casi todos los cultivos (Sonneveld and Voogt, 2009), para el presente estudio el pH de la solución nutritiva en ambos tratamientos se mantuvo en un rango entre 5.5 -6 observándose así que la cantidad de NH_4^+ presente en el agua cruda no afectó la solución nutritiva aplicada en las diferentes etapas de los tratamientos.

5.2 Longitud de Tallo

En la figura 11 se presenta una comparación de la longitud de tallos de miniclavel de los tratamientos T1 y T2. Posteriormente, en la figura 12 se muestra el comportamiento de las curvas de crecimiento ajustadas desde la semana ocho hasta la veinticuatro después de siembra, las mediciones se realizaron semanalmente desde el momento de *pinch*, considerando el promedio de altura de siete plantas por cuadro muestreado de los tratamientos T1 y T2.

En la tabla 10 se presentan los parámetros α , k y γ los cuales corresponden a la máxima magnitud de la variable longitud, la constante que determina la pendiente de la curva y el momento de mayor tasa de crecimiento después de *pinch*, respectivamente, estimados para un ajuste de modelo logístico y sus intervalos de confianza (95%) para la variable longitud de tallo, estos se emplearon para generar la curva de crecimiento (Flórez, V., *et al* 2006).

La figura 12 muestra que el tratamiento T1 se ajusta mejor al modelo no lineal logístico con un R^2 de 95,67% y el tratamiento T2 un R^2 de 93,03%, según el ajuste de curvas realizado en los tratamientos evaluados no se presentan diferencias significativas, aunque se observa que los límites de confianza del intervalo de cada parámetro del modelo logístico se traslapan, en lo que se refiere a la máxima altura de la planta (α) y el tiempo en que se alcanza la máxima tasa relativa de crecimiento (γ), se debe tener en cuenta que el intervalo del tratamiento T2 para la máxima altura de la planta tiene un rango más amplio que el del tratamiento T1, por lo anterior, es importante tener en cuenta que en el tratamiento T2 se presenta una mayor dispersión de los datos y por lo tanto una mayor variabilidad de la altura de la planta, razón por la cual se debe tener en cuenta la incertidumbre de los datos.

Por otro lado, para la presente investigación los grados de calidad del miniclavel se tuvieron en cuenta de acuerdo al número de botones a florecer, llamados puntos de color, junto con la altura de la planta y el peso del ramo. El grado en que se clasificó fue estándar donde se deben tener tres puntos de color como mínimo, una longitud de tallo entre 50 y 54 cm y un peso entre 35 y 39 g (Torres, 2011). En la tabla 10 se observa que el tratamiento T1 alcanzó el valor de 99,63 cm siendo esta la máxima longitud de tallo, con respecto al tratamiento T2; según los grados de calidad establecidos para ambos tratamientos la máxima longitud de tallo es la óptima para la calidad de exportación.

Como se presenta en la Figura 11 el tratamiento T1 está por encima del T2, a pesar de que según el análisis estadístico no se presentan diferencias significativas, Landis (2000) señala que

niveles elevados de nitrógeno promueven una rápida división y elongación celular. En tanto, Salisbury y Ross (2000) plantean que el nitrógeno se encuentra presente en muchos compuestos esenciales, no sorprendiendo en absoluto que el crecimiento sea lento cuando existe una baja disponibilidad de nitrógeno. Estos resultados confirman los conceptos reportados por algunos autores en cuanto a la tendencia al incremento en la altura de las plantas al aplicarse una fertilización nitrogenada junto con otros elementos, como el fósforo y potasio (Materán *et al.*, 2004 y Close DC *et al.*, 2005). Por ejemplo, en cultivos como tomate en hidroponía (Muñoz *et al.*, 2006) y arroz (Rico *et al.*, 1992) donde se ha realizado la optimización en el contenido de nitrógeno se han observado resultados favorables para la longitud de las plantas, esto sin verse afectada la calidad de las cosechas respectivas.

Figura 11. Comparación de longitud de tallos de miniclavel de los tratamientos T1 y T2

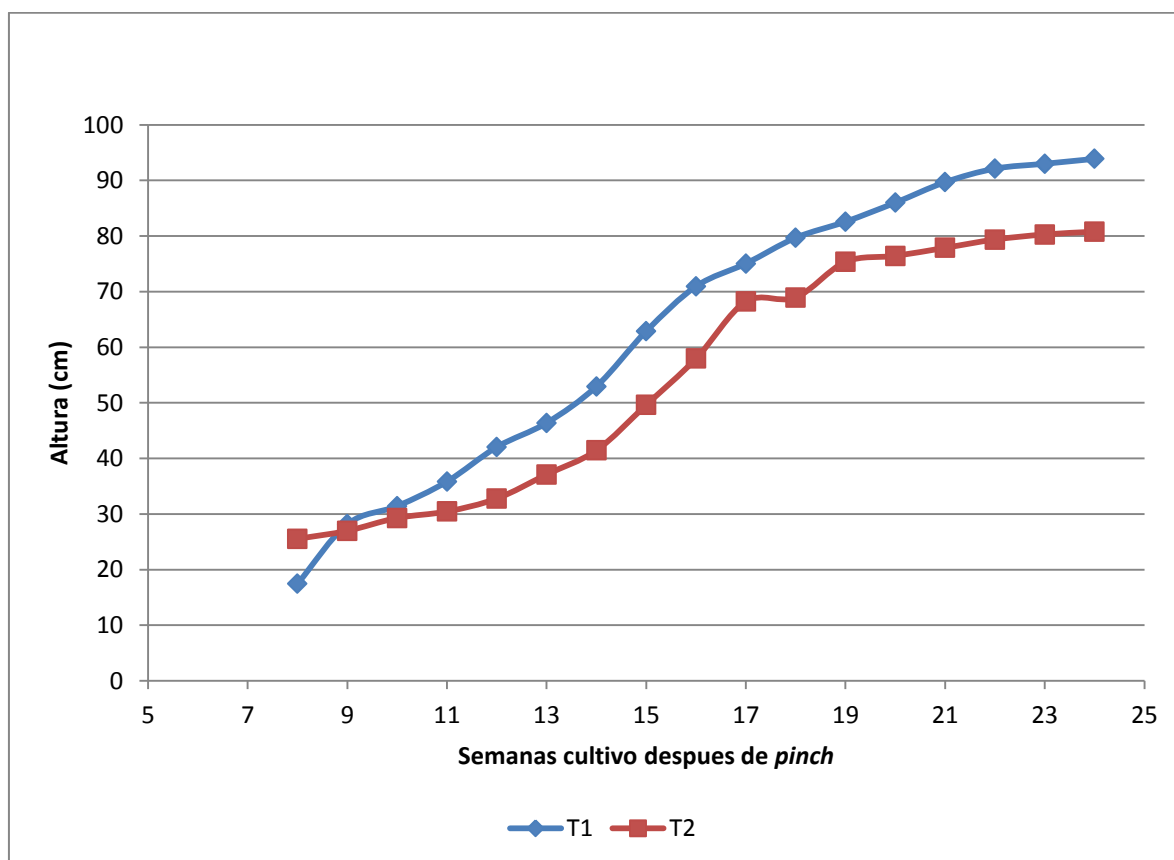


Figura 12. Comportamiento del promedio de la longitud de tallos de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización desde la semana ocho hasta la veinticuatro de cultivo.

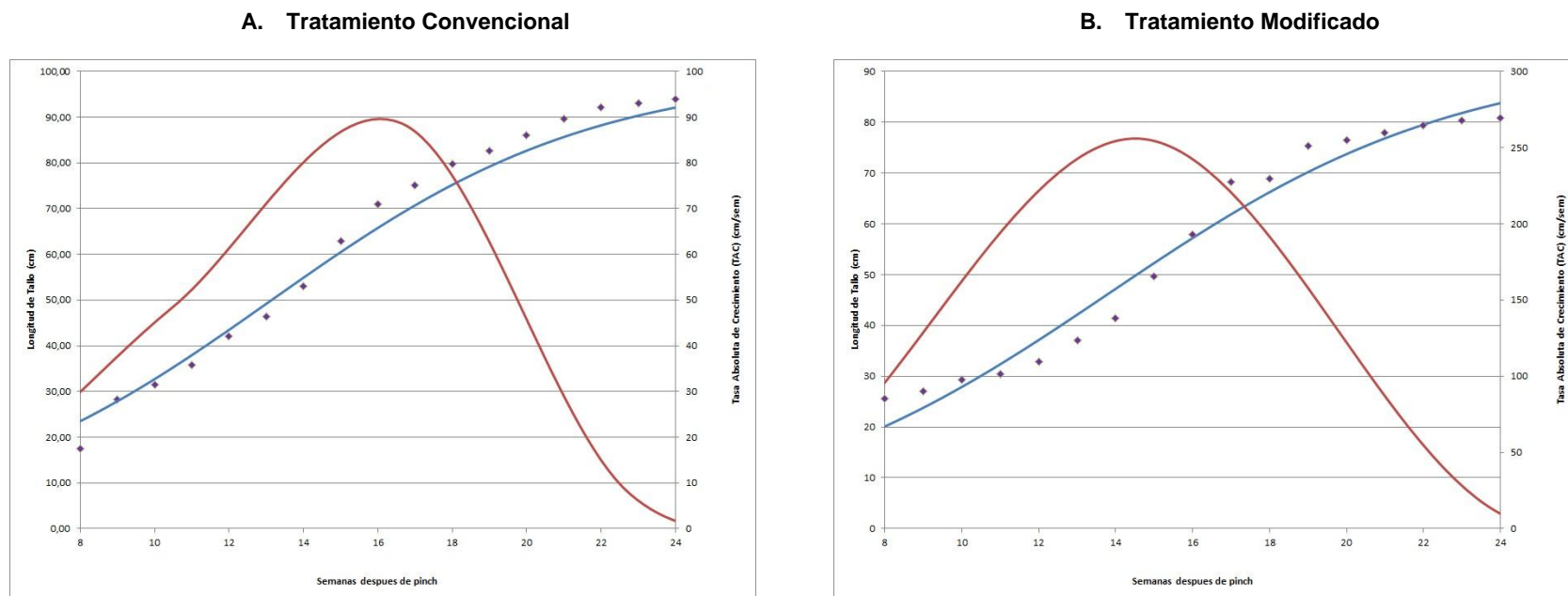


Tabla 10. Intervalos de confianza de los parámetros en el ajuste de la variable longitud de tallo al modelo logístico, en miniclavel cv. Rony en sustrato.

Tratamiento	Límite inferior	α	Límite Superior	Límite inferior	k	Límite Superior	Límite inferior	γ	Límite Superior
T1	95,70	99,63	103,50	0,24	0,23	0,30	12,69	13,11	13,5
T2	79,86	92,70	105,60	0,16	0,22	0,28	12,25	3,83	15,42

α = máxima magnitud de la variable, k = constante que determina la pendiente de la curva y γ = momento de mayor tasa de crecimiento después del *pinch*.

5.3 Nitrógeno en tejido foliar

En la tabla 11 se muestran los resultados del contenido de los macroelementos y microelementos en planta completa de miniclavel. En Fernández *et al* (2006), el contenido de macroelementos en planta completa como lo son el fósforo fue de 0,38 – 0,4%, potasio 4,5% - 4,9%, calcio, 2,1% - 2,3% y magnesio 0,5% - 0,8%; para los microelementos los intervalos allí encontrados fueron: hierro 150 – 180 mg/L, manganeso 250 – 300 mg/L y boro 35 – 70%. En la presente investigación, en el caso de los macroelementos, en el tratamiento T1 para P de acuerdo con Ortega (1997) y Alarcón (2004) se presentó un exceso del elemento durante las etapas del experimento y con respecto a los encontrados por Fernández *et al* (2006) únicamente para la semana cero se encuentra en el intervalo presente allí. El comportamiento de este elemento coincide con las demandas en cada semana de desarrollo de la planta evaluada, este ion es esencial en grandes cantidades en las primeras etapas desarrollo ya que es esencial para el metabolismo energético de la planta (Linares, 2004 y Marschner, 1995), puesto que es requerido para formar masa radical (Hernández, 1983) y foliar, así como para la formación de botones florales (San Martino, 2008).

En cuanto al calcio se encontró que está en un rango óptimo según Ortega y Alarcón, y con respecto al estudio de Fernández *et al* (2006) se encontraba por debajo del intervalo hallado. El calcio es un elemento muy importante en la integridad de todas las membranas y paredes celulares. Este ha sido considerado con el mecanismo principal que el calcio ofrece contra enfermedades como *Pythium*, *Sclerotium*, *Botrytis* y *Fusarium* (Graham, 1983). Muchos problemas de desórdenes fisiológicos en frutas, vegetales, raíces y follaje tierno están relacionados con el contenido de calcio (Salas, 2002).

Para potasio y magnesio el contenido de este nutriente en la planta es normal según lo reportado por Ortega (1997) y Alarcón (2004), y de acuerdo al estudio de Fernández *et al* (2006) están por debajo del intervalo allí propuesto. La literatura indica una amplia relación entre el potasio y la resistencia a enfermedades. Generalmente, el potasio reduce la intensidad de varias enfermedades infecciosas causadas por patógenos facultativos y obligados (Salas, 2002). El magnesio en altas cantidades disminuye el contenido de calcio y predispone a la planta a enfermedades tales como *Rhizoctonia* y

Pythium papa (Huber, 1980). El comportamiento de estos macroelementos es el mismo para los tratamientos T1 y T2, sin incluir a P.

Por otro lado para los microelementos, en lo que se refiere al hierro y zinc, estos se encuentran en exceso según lo propuesto por Ortega (1997) y Alarcón (2004) y por fuera del intervalo de Henao y Flórez (2006) al igual que para el propuesto por Fernández *et al* (2006). Salvo raras excepciones, los casos de toxicidad por Fe suelen producirse, debido a la rapidez de conversión del hierro soluble en compuestos insolubles no disponibles para la planta. Los casos en que se encuentra toxicidad de Fe son los arrozales sumergidos, donde el nivel de hierro ferroso es con frecuencia muy importante.

En el caso del manganeso, cobre y boro, tienen un contenido del elemento normal según lo reportado por todos los autores ya nombrados. Al igual que en los macroelementos el comportamiento a lo largo de las semanas evaluadas fue el mismo en los dos tratamientos. El cobre es requerido por las plantas en muy pequeña cantidad; su contenido medio oscila entre 5 y 20 ppm en peso seco. De acuerdo a la parte de la planta considerada suelen observarse corrientemente amplias fluctuaciones; ello se ha evidenciado en distintas variedades de trigo, desarrolladas en la misma condición de sustrato, en donde la diferencia de contenido de cobre llegan casi a ser el triple de una a otra variedad (Navarro y Navarro, 2003).

Debido a que la composición del sustrato utilizado incluye una proporción de material vegetal, la cual tiene residuos de plantas de clavel y esta a su vez contiene trazas de fertilizantes, podría ser una de las razones por la que algunos microelementos se encuentran en una mayor concentración en la planta para ambos tratamientos. Según Quintero *et al.* (2011) Las sales solubles se hallan disueltas en la solución del sustrato. La fase líquida del sustrato consiste en una solución acuosa de diversas sales de composición y concentración no homogénea. Esta composición depende del material del que está formado el sustrato, y su concentración depende del contenido de humedad, y de cómo se llena el espacio poroso, aumentando la concentración a medida que disminuye el contenido de humedad del sustrato (Burés, 1997). Esta concentración en la solución acuosa suele ser muy superior a la que es habitual en cultivos en campo en suelos minerales. Esta elevada concentración aumenta el riesgo de acumulación excesiva de sales disueltas, provocando lo que se conoce como salinidad (Ansorena,

1994). Esto indica la importancia de una fracción de lavado en los sistemas de cultivo sin suelo. En Colombia se utiliza entre 30 y 50 % de la lámina de riego aplicada.

En la figura 13 se observa la evolución del contenido de nitrógeno para los tratamientos T1 y T2. Después de realizar el análisis de varianza para el tejido en planta completa se observó no hay diferencia significativa para las semanas catorce y veintiuno, las semanas siete y veintiocho presentan diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2. En la figura 13 letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos a través del tiempo.

El análisis de datos presentado a continuación corresponde a datos obtenidos de planta entera, por lo cual el contenido N estará diluido debido a que en el tallo y la raíz este menor que el presente en hojas. Una tendencia descendente en contenido de nitrógeno, según Navarro y Navarro (2003) es debido a que los mayores contenidos de nitrógeno en las planta se encuentran en los tejidos jóvenes. A medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta, el porcentaje de nitrógeno disminuye y se eleva la relación C/N. Las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno, pero su valor disminuye durante la floración, lo que indica que los requerimientos nutricionales de este elemento disminuyen dependiendo de la edad de la planta. La intensidad de absorción de cada elemento en las plantas está conectada con la fase de crecimiento de la misma y sus necesidades.

El contenido de nitrógeno en los dos tratamientos presenta una evolución creciente durante las primeras siete semanas de cultivo (figura 13) y alcanza valores entre 3,2 y 3,6%, normales, si se comparan con lo expuesto para tejido foliar por Ortega (1997). Posteriormente, estos niveles decrecen hasta la semana 28, llegando a valores promedio de 2,4% para T1 y 2% para T2, según lo reportado por Ortega (1997) los valores obtenidos en el cultivo durante estas semanas, para el tratamiento T1 y T2 estarían en un nivel de deficiencia del elemento nitrógeno debido a que los valores de asimilación se encontraron por debajo del 3%, esto sin presentarse en ninguno de ellos alguna sintomatología por carencia de este elemento, como por ejemplo un cambio de color en las plantas.

Alarcón (2004) y Zamudio (2008) reportan niveles de suficiencia para valores de 2,4% y 2,1% respectivamente. Estos valores son similares a los reportados por Winsor (1996)

quien observo síntomas de deficiencia por debajo de 2%N. De acuerdo a Vélez (2012) para clavel sembrado en cascarilla de arroz quemada el porcentaje de nitrógeno en el tejido de la planta tiende a disminuir durante el desarrollo del cultivo, con valores entre 1,89 y 2,67%, similares a los reportados para los tratamientos T1 y T2 de este trabajo de tesis, demostrando esto que la disminución en el elemento nitrógeno a los largo del desarrollo de la planta se debe a su edad y sus necesidades y a su vez que la planta no se vio afectada con la modificación en elemento nitrógeno.

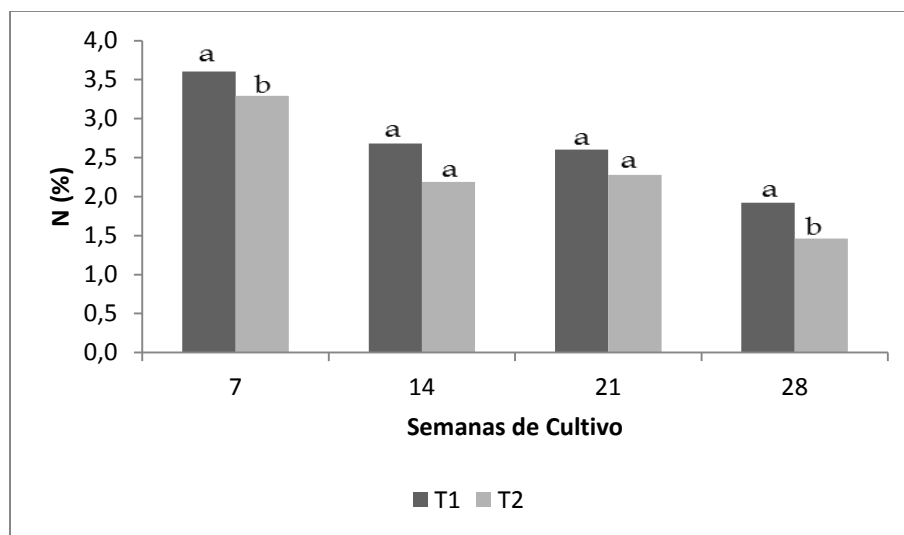
Según Ross (2000), el nitrógeno N se encuentra en muchos compuestos esenciales, no sorprende en absoluto que el crecimiento sea lento si no se añade N; sin embargo del aporte o no de N vía fertirriego la tendencia de acumulación de N es igual tanto en plantas fertilizadas como en no fertilizadas, pero hay que tomar en cuenta un aspecto muy importante como en las dos primeras etapas que serían de macollamiento y desarrollo vegetativo, se produce un continuo incremento en la acumulación de N en la planta, pues como mencionó Padilla (2005) entre las funciones del N al formar parte de la clorofila influye en la fotosíntesis y además interviene en las hormonas y por lo tanto es fundamental en el desarrollo y crecimiento, pero en la etapa de formación del botón la acumulación de N es mínima, para posteriormente incrementarse nuevamente la acumulación de N debido a que inicia nuevamente el mismo proceso de desarrollo vegetativo pues como mencionó Pizano (2000) y de experiencias propias, el cultivo de clavel es un cultivo que cada vez que se extrae un tallo van brotando más tallos por lo que se va formando en la base una masa vegetal densa (Vargas, 2013).

Además en plantas de anturio, ornamentales leñosas, luego de tres años de estudio, por Kleiber y Komosa (2008) se presentó una tendencia descendente en el contenido de nitrógeno como la presentada en los tratamientos T1 y T2, se puede indicar que los requerimientos nutricionales de este elemento disminuyen con la edad de la planta. Esta respuesta podría mostrar una nutrición equilibrada en el elemento nitrógeno, tanto en el tratamiento con fórmula comercial como en el modificado, sin limitar el crecimiento adecuado del cultivo.

Tabla 11. Evolución del contenido de macronutrientes y micronutrientes en planta completa de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.

Elemento	Semana	N	P	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
		%					mg.L ⁻¹				
T1	0	2,19	0,34	1,12	1,27	0,45	6,39	627,00	41,10	46,40	52,10
	7	3,60	0,70	1,58	3,44	0,51	16,80	143,67	76,43	57,47	54,63
	14	2,68	0,60	1,25	3,91	0,40	8,65	235,67	106,67	114,40	83,13
	21	2,60	0,58	1,04	3,49	0,39	8,58	254,33	94,53	91,07	57,63
	28	1,92	0,62	1,23	3,52	0,34	7,07	132,00	71,40	63,43	59,70
	Promedio	2,60	0,57	1,24	3,12	0,42	9,50	278,53	78,03	74,55	61,44
T2	0	2,27	0,38	1,14	1,77	0,44	7,42	614,00	42,20	49,40	47,30
	7	3,29	0,67	1,75	4,04	0,55	16,00	458,33	61,13	173,67	43,30
	14	2,19	0,42	0,83	2,58	0,31	8,25	808,80	27,13	117,07	76,97
	21	2,28	0,59	1,53	4,77	0,45	16,43	1138,33	92,63	192,00	119,00
	28	1,46	0,31	0,56	2,05	0,34	9,88	339,00	16,50	90,20	63,43
	Promedio	2,30	0,47	1,16	3,04	0,42	11,59	671,69	47,92	124,47	70,00

Figura 13. Evolución del contenido de nitrógeno en planta completa de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.



5.4 Nitrógeno en sustrato

En la tabla 12 se muestran los resultados del contenido de los macroelementos y microelementos en sustrato compuesto por cascarilla de arroz reutilizada, cascarilla de arroz nueva y compost de residuos vegetales en un 60, 30 y 10%, respectivamente.

Con relación al contenido de fósforo en las semanas de desarrollo evaluadas en los tratamientos T1 y T2, este se mantuvo estable a lo largo del tiempo, presentándose solamente un mayor contenido de este en la semana 21, la cual correspondería en los estadios fenológicos de la planta al desbotone, comportamiento que está de acuerdo a lo encontrado por Botero y Flórez (2006), en donde para tres estadios fenológicos diferentes los valores están en un intervalo de 0,12% y 0,26%, siendo el mayor el correspondiente al desbotone. En flores de corte, los niveles de fósforo en fertirriego corresponden a una cuarta y a una quinta partes de las demandas de nitrógeno. Según Vélez (2012), la concentración de este ion en el sustrato en el último estadio fenológico es mayor posiblemente porque en este estadio la planta no lo requiere en grandes cantidades; pues ya ha pasado el momento de gran demanda donde las células rápidamente se dividen y se agrandan, específicamente en la apertura floral.

Para el caso del potasio, en los tratamientos T1 y T2, los niveles estuvieron en promedio entre 0,9% y 0,11%, correspondiendo el valor más alto a la semana siete. Este comportamiento es opuesto al reportado por Botero y Flórez (2006), donde los niveles más altos se encontraron en la semana 21. La dosis de potasio se calcula manteniendo una proporción con la dosis de nitrógeno establecida, sin embargo esta proporción varía según el estadio fenológico del cultivo. En clavel, en la etapa vegetativa el consumo de potasio es bajo con relación al nitrógeno y en floración aumenta (Ortega, 1997).

En referencia al calcio los niveles para los tratamientos T1 y T2 estuvieron entre 0,69% y 0,9%, siendo estos más altos que lo reportados por Botero y Flórez (2006) en su estudio, donde su promedio fue de 0,49%. Según Vélez (2012) al igual que para nitrógeno, potasio, magnesio y fósforo, de acuerdo con Cabrera et al. (1995), el calcio sigue el mismo patrón de absorción, donde la tasa de transpiración no controla los ciclos periódicos de absorción del elemento, pero sí el promedio diario de demanda de calcio por parte de la planta.

En cuanto al magnesio, en ambos tratamientos los valores fueron constantes durante las semanas de desarrollo evaluados, manteniéndose en un nivel de 0,12%. Alarcón (2000) reporta que el magnesio es muy móvil en el floema y puede trasladarse fácilmente de las hojas viejas a las hojas jóvenes, razón por la cual los primeros síntomas de carencia se dan en las hojas adultas.

Para el caso de los microelementos, en el tratamiento T1 los niveles de concentración fueron mayores a los que se reportaron en el tratamiento T2. Las concentraciones de hierro son del doble a las reportadas por Botero y Flórez (2006). Según Alarcón (2006) el hierro es un microelemento especialmente problemático en cultivos sin suelo. No sólo es necesaria su aplicación en forma quelatada para prevenir su precipitación, sino que es necesaria la correcta elección del agente quelante, un adecuado manejo del pH en la solución nutritiva y del sustrato y tener en cuenta que un exceso de quelato de hierro puede inducir deficiencias de cinc, cobre y manganeso. En el caso del cobre las concentraciones estuvieron por encima de lo hallado por estos autores, en donde para la primeras siete semanas fueron de 17 mg/kg y en el resto del desarrollo del cultivo aumento a 42 mg/kg; en la presente investigación las concentraciones fueron estables a lo largo del tiempo. El cobre se fija fuertemente a la materia orgánica formando complejos húmico-cúpricos; la mayor o menor estabilidad de los complejos determinara su grado de disponibilidad. Al interactuar con otros elementos la disponibilidad del cobre puede verse reducida ante valores en exceso como fosforo, nitrógeno, hierro, entre otros (Alarcón, 2000).

Para el caso de manganeso, boro y zinc los contenidos encontrados son superiores a los reportados por Botero y Flórez (2006), los cuales son 355, 16 y 40,8 mg/kg respectivamente. Dado que el manganeso es un elemento poco móvil, las primeras deficiencias se aprecian en hojas nuevas (Román, 1997). El manganeso se inmoviliza en presencia de grandes cantidades de materia orgánica y disminuye su nivel debido a la competencia de microorganismos. La disponibilidad de manganeso es elevada en medios ácidos y encharcados, y puede llegar a ser tóxico en determinadas situaciones (Alarcón, 2000). El boro es un micronutriente en e, que existe un margen más estrecho entre la deficiencia y la toxicidad. Frecuentemente la cantidad de boro presente en el agua de riego es más que suficiente para los cultivos. Se encuentra ligado a la materia orgánica, de la que se libera progresivamente por los microorganismos (Alarcón, 2000). El zinc tiende a quedar adsorbido en la materia orgánica, por lo que es fácilmente

lixiviable. También se puede inmovilizar temporalmente en los cuerpos de los microorganismos del suelo. La disponibilidad de zinc en suelos minerales está asociada con la materia orgánica. Niveles bajos de materia orgánica en el suelo son a menudo indicativos de una baja disponibilidad de zinc (Inpofos, 1997).

Los microelementos se presentan en los sustratos especialmente como óxidos o hidróxidos u otras sales solubles cuya solubilidad es mínima a pH básicos. (Cadahía *et al*, 2005). Dicha condición puede generar en los sustratos mayores contenidos y así permitir su liberación lenta al medio. Otra hipótesis para explicar la retención de nutrientes en los sustratos podría ser el origen orgánico de los mismos y su contenido de microorganismos, pues, según Abad *et al* (2005), especialmente las sustancias húmicas contienen grupos funcionales cargados negativamente (carboxílico, fenólico, enólico), que son los responsables de la capacidad de los materiales orgánicos para retener los cationes en forma no lixiviable.

Para los tratamientos T1 y T2 en el presente estudio se observaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en la semana cero, en donde no se había realizado ninguna aplicación de solución nutritiva, después en la semana 28 también se presentaron diferencias significativas. En las demás semanas de desarrollo evaluadas no se presentaron diferencias significativas en cuanto a la interacción sustrato – tiempo.

En la figura 14 se presenta la evolución del contenido de nitrógeno en sustrato en clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo. El contenido de nitrógeno en el sustrato fue semejante en las semanas siete a la veintiuno. Botero y Flórez (2006) reportan que en relación a los estadios fenológicos el contenido es menor en las semanas iniciales, luego aumenta y disminuye hacia las semanas finales antes del corte. Para el tratamiento T1 se presentó este comportamiento pero en el T2, se mantuvo estable en todo el estudio. Vélez (2012) encontró que en todos los estadios el porcentaje de nitrógeno disminuye a medida que aumenta el contenido de cascarilla de arroz quemada.

Para maximizar la productividad de los cultivos se requiere precisión en el suministro de nitrógeno a las plantas; no solamente implica una tasa óptima de aplicación de nitrógeno, sino también una óptima relación entre el amonio, el nitrato y la urea agregados a las plantas en el agua de riego. En la producción de flores en invernadero, donde el riego

resulta en un flujo rápido a través de la zona radical, sólo NH_4^+ y NO_3^- son típicamente aplicados y su relación se usa para balancear el pH de la rizósfera a lo largo del tiempo (Bar-Yosef *et al.*, 2009).

Figura 14. Evolución del contenido de nitrógeno en sustrato en clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo

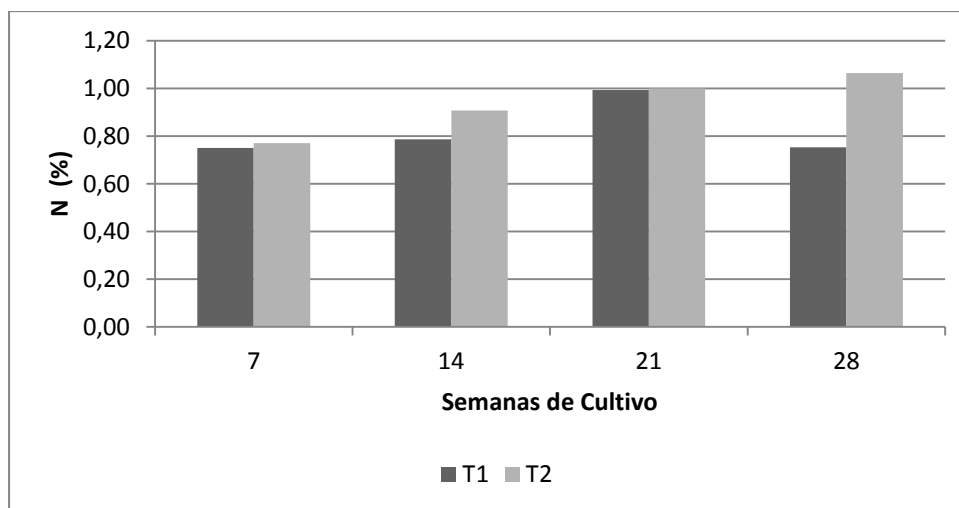


Tabla 12. Evolución del contenido de macroelementos y microelementos en sustrato en clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo.

Elemento	Semana	CE dS.m ⁻¹	pH	N	P	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
				%					mg.kg ⁻¹				
T1	0	1,06	7,35	0,65	0,09	0,80	0,10	0,11	59,80	1667,86	232,79	67,34	19,81
	7	2,32	6,66	0,75	0,09	0,70	0,12	0,10	53,77	1607,04	227,97	41,67	24,73
	14	6,13	6,49	0,79	0,09	0,68	0,10	0,12	45,03	1289,67	191,67	40,40	43,47
	21	7,25	6,32	0,99	0,12	1,00	0,08	0,18	67,17	2228,00	249,67	61,63	57,17
	28	1,97	6,73	0,75	0,11	0,89	0,13	0,12	51,00	2465,00	261,00	41,47	35,47
	Promedio	4,08	6,05	0,79	0,10	0,81	0,11	0,12	55,35	1851,51	232,62	50,50	36,13
T2	0	8,00	7,21	0,73	0,08	0,87	0,07	0,12	47,80	1279,00	200,00	58,90	15,00
	7	4,68	6,66	0,75	0,10	0,84	0,10	0,12	49,62	1831,82	225,23	47,70	29,19
	14	5,59	6,64	0,74	0,09	0,82	0,09	0,12	49,16	1620,76	213,31	49,78	27,10
	21	6,09	6,84	0,74	0,09	0,84	0,09	0,12	48,86	1577,20	212,84	52,13	23,77
	28	5,45	6,71	0,74	0,09	0,83	0,09	0,12	49,22	1676,59	217,13	49,87	26,69
	Promedio	5,32	6,97	0,75	0,09	0,86	0,09	0,12	50,39	1624,74	218,66	53,82	24,08

5.5 Nitrógeno en el lixiviado

En la Tabla 13 se puede ver la composición química de la solución nutritiva empleada durante la investigación y del lixiviado generado en el cultivo, en primer lugar se encuentra la composición de la solución nutritiva utilizada en las semanas de desarrollo evaluadas tanto para la fórmula convencional como para la fórmula modificada y la composición de los lixiviados para el tratamiento T1 y T2 en lo correspondiente a veintiocho semanas de cultivo.

Según Arreaza (2000), para mantener el medio radicular dentro de un rango ligeramente ácido, situación que favorece la asimilación de los nutrientes, es recomendable que la solución fertilizante tenga un pH ácido (4,0 - 5,5), para así obtener una solución de lixiviados con pH mayor (6,5 a 7,2), Los valores obtenidos en los lixiviados de este ensayo están alrededor de lo planteado por este autor, presentándose la misma tendencia según lo reportado por Henao y Flórez (2006) y Vélez (2012) donde el pH tanto en fertirriego y lixiviado estuvieron en el límite de los rangos óptimos.

En el desarrollo de las veintiocho semanas de cultivo los niveles de conductividad eléctrica (CE) se encontraban por encima de 2 dS.m^{-1} ; según Moreno (2000), es recomendable aumentar el drenaje para evitar la acumulación de sales. Durante la investigación en los tratamientos T1 y T2 los valores de CE estuvieron por encima de este valor, así como en lo presentado por Henao y Flórez (2006) y Vélez (2012) en sus respectivos estudios con plantas de clavel.

Por otro lado, para los aniones Cl^- y SO_4^{2-} en los tratamientos T1 y T2, se presentó un incremento en el nivel de concentración con respecto a la inicial de la solución nutritiva, en cuanto al anión PO_4^{3-} se observa una disminución de su concentración en ambos tratamiento con respecto a la inicial en la solución nutritiva, este mismo comportamiento se presentó en el estudio realizado por Henao y Flórez (2006), con excepción del anión PO_4^{3-} .

En los elementos Ca, Mg, K y Na el comportamiento observado fue de un incremento de los niveles de concentración con respecto a la inicial en la solución nutritiva para ambos tratamientos, aunque en el tratamiento T2 el aumento en los niveles de concentración es del 100%, este mismo comportamiento fue reportado por Henao y Flórez (2006).

Ambos tratamientos presentaron un incremento en Cl^- , SO_4^{2-} y Ca^{2+} , la más notable la presento el sulfato en el segundo tratamiento, una de las razones por la cuales se presentó este aumento es debido a que las fuentes de sulfato en la fórmula modificada se elevan para mantener el

balance iónico en toda la fórmula luego de disminuir el nitrógeno a la mitad. Para los demás aún no se puede establecer si la proporción de los contenidos se debe a acumulación de sales o a liberación de estos a partir de los sustratos.

En la figura 15 se observa la variación de NO_3^- en los lixiviados para los tratamientos evaluados. Para el tratamiento T1 únicamente en la semana catorce la concentración de nitratos en el lixiviado estuvo por encima de la concentración en la solución nutritiva, la cual fue de 220mg.L^{-1} , las demás semanas estuvo por debajo. En el tratamiento modificado a lo largo de las semanas evaluadas la concentración de nitratos en el lixiviado estuvo por debajo de la concentración en la solución nutritiva, siendo esta de 110 mg.L^{-1} .

Según Moreno (2000), la importancia de comparar la composición química de la solución nutritiva con la lixiviada señala que, por ejemplo, en el caso de los nitratos puede considerarse razonable un aumento de hasta el 20% en el drenaje. Si el nivel de salida es menor que el de entrada, es posible deducir que al cultivo le están faltando nutrientes, pero si es mucho mayor indica que está faltando drenaje para evitar la acumulación de sales.

Después de aplicar el análisis estadístico a la lixiviación de nitrógeno, se observan diferencias significativas respecto al factor tratamiento y al tiempo con una probabilidad 95%. Ello nos indica que la cantidad de nitratos lixiviada se vio afectada tanto por la concentración de nitrógeno inicial como por el tiempo en que se realizó la medición.

Para el cultivo de clavel se encuentran una compilación de diferentes fórmulas de fertirriego reportadas por Llanos (2001). Los diferentes niveles propuestos para concentración de nitrato en fórmulas de fertirriego están en el rango entre 200 a 300 mg.L^{-1} . Según Oyarzun (2010) las pérdidas por lixiviación pueden llegar a ser muy importantes y no sólo constituyen una pérdida de eficiencia del fertilizante nitrogenado, sino que además puede contaminar aguas subterráneas y superficiales. En la presente investigación la concentración de nitratos en el lixiviado, en promedio, en el tratamiento T1 es aproximadamente el 96% de la concentración inicial y del 87% en el tratamiento T2. Henao y Flórez (2006) presentan concentraciones de nitratos en clavel y rosas superiores al 100% en sustrato compuesto por cascarilla de arroz quemada.

Los cultivos sin suelo incluyen, de manera general, a todos aquellos métodos, sistemas y técnicas de cultivo que emplean un medio radicular diferente al suelo natural para cultivar plantas (Urrestarazu, 2006). Estas técnicas permiten desarrollar cultivos independientes del

suelo natural y de los problemas inherentes al cultivo en suelo, como la presencia de patógenos, pérdida de fertilidad y estructura, salinización, necesidad de preparación o utilización de desinfectantes, entre otros. Además, los cultivos sin suelo posibilitan la recogida, reutilización y minimización de los lixiviados generados, contribuyendo a la reducción de la contaminación del subsuelo debida a componentes potencialmente contaminantes, en particular los nitratos (NO_3^-) y los fosfatos (Alarcón, 2006).

Los lixiviados generados en el cultivo de plantas ornamentales sin suelo se caracterizan por tener una composición variable en cuanto al contenido de nutrientes (principalmente N, P y K procedentes de los fertilizantes) y otros iones y al volumen drenado. Las características que presentan los lixiviados van a depender de las prácticas culturales aplicadas, de la especie cultivada y de su ritmo de extracción de nutrientes y de las condiciones meteorológicas acontecidas durante el ciclo de cultivo, entre otros factores. De los macronutrientes aplicados al cultivo mediante los fertilizantes, el N suele ser el mayoritario en los lixiviados, principalmente en forma de NO_3^- (Fernández - Escobar et al., 2004). En relación a la composición de los lixiviados, principalmente en su contenido en NO_3^- puede ser atribuida a diferencias geográficas (climas diferentes) (Marfà et al., 2002), a requerimientos nutricionales diferentes en función de la especie cultivada, a las características del sustrato usado (Guérin et al., 2001) y a la variedad de estrategias empleadas para el riego y la fertilización (Bilderback, 2002).

La composición de estos lixiviados puede verse alterada en el espacio y en el tiempo debido a los programas de producción de plantas, los cuales pueden incluir varios ciclos de cultivo de diferentes especies de plantas a lo largo del año, y a las estrategias de fertilización y de riego utilizadas por cada vivero en particular. Su composición también puede verse afectada por el clima, por lo que los lixiviados de los cultivos sin suelo son efluentes de composición iónica muy variable si se comparan con otros tipos de efluentes (Seo et al., 2008).

El mayor impacto que producen el nitrógeno y el fósforo procedentes de los fertilizantes y, por lo tanto, contenidos en los efluentes o lixiviados generados en los viveros e invernaderos, es el de causar una aceleración en la eutrofización de los ecosistemas acuáticos y el de favorecer la aparición de fitoplancton (Taylor et al., 2006). Muchas prácticas culturales, como la mejora en la eficiencia del riego, de la fertilización y de los tratamientos fitosanitarios, han sido adoptadas por los floricultores para limitar la pérdida de nutrientes y de pesticidas por lixiviación. En el caso de que estas prácticas no fueran totalmente efectivas, los agricultores optan por utilizar reservorios

de almacenamiento de agua para su reciclaje y así reducir el volumen de lixiviados y la carga de nutrientes y sedimentos (Mangiafico et al., 2008). Otra vía para evitar la contaminación del medio por el vertido de lixiviados, consiste en proceder a su tratamiento. Los lixiviados que no sean recirculados o reciclados cuando se aplica fertirrigación, deben ser preceptivamente tratados antes de ser descargados al medio circundante (Narváez, 2012).

Por lo anterior se podría considerar que la disminución de la concentración en el nitrógeno, en el tratamiento T2 es una opción viable para mejorar el manejo de la fertirrigación en clavel y podría minimizarse así el aporte de esta fuente, logrando así una menor contaminación por nitratos en cuerpos de agua.

Al observar el comportamiento del nitrógeno en el continuo agua – sustrato – planta, se puede observar, en primer lugar que el sustrato no presenta un exceso de la cantidad de nitrógeno, teniéndose así en este medio un equilibrio del elemento; en segundo lugar, la cantidad de nitrógeno absorbida por la planta es la necesaria para que esta presente una asimilación normal de acuerdo a su edad fenológica. Por lo anterior, la cantidad de nitrato lixiviada en los tratamientos T1 y T2, es aquella que no está siendo aprovechada de forma eficiente en el continuo agua – sustrato – planta.

La cantidad de N lixiviado en forma de NO_3^+ representa entre un 90 -98% del aplicado. Para el tratamiento T1 la concentración de NO_3^+ en los lixiviados fue en aumento de acuerdo a la dosis aplicada, para replantear la cantidad de nitrógeno en la fórmula se tuvo en cuenta este comportamiento a lo largo de catorce semanas. Al finalizar el tratamiento T1 la concentración de NO_3^+ es variable en el tiempo mientras que para el tratamiento T2 se observa que la cantidad de nitratos lixiviados es más estable a lo largo del tiempo. Lo anterior nos indica que se puede realizar una variación en la concentración del elemento nitrógeno sin que, eventualmente, se vea afectado el desarrollo de las plantas de miniclavel ni el continuo agua – sustrato – planta y así disminuir la cantidad de nitratos vertidos en aguas superficiales y subterráneas.

Figura 15. Variación del contenido de NO_3^- en los lixiviados de las plantas de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización hasta la semana veintiocho del cultivo

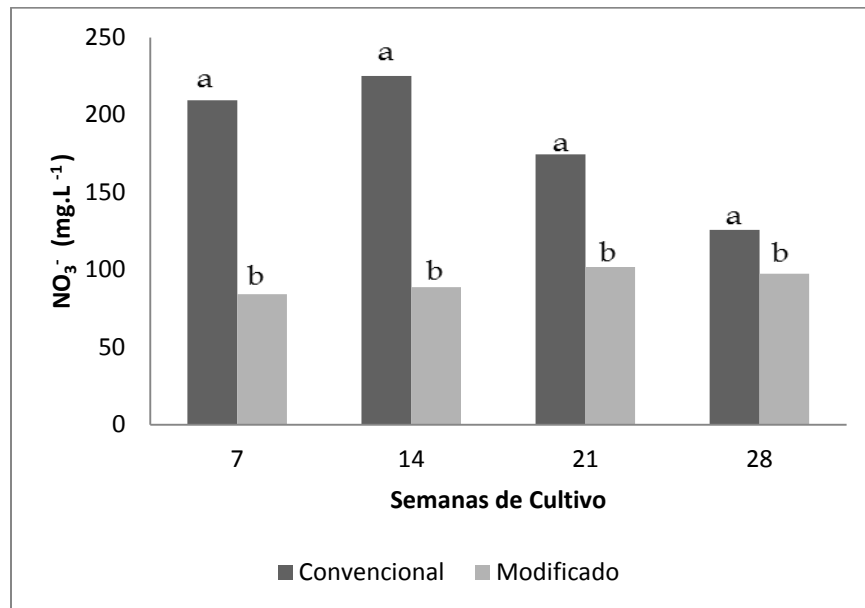


Tabla 13. Composición química de los tipos de agua analizados en plantas de clavel miniatura cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización diferenciales hasta la semana veintiocho del cultivo.											
Tipo de agua	Semana	pH	CE (dS.m ⁻¹)	Cl	SO ₄	PO ₄	NO ₃	Ca	K	Mg	Na
				mg.L ⁻¹							
Fertirriego T1	7	3,15	2,37	89,5	18,3	22,4	223,0	127,6	143,2	54,8	69,2
	14	5,98	2,12	69,1	17,6	22,1	182,6	136,1	100,3	53,1	87,8
	21	6,78	2,25	61,9	143,2	21,4	188,8	148,7	115,9	52,9	41,5
	28	5,86	1,96	65,2	140,6	24,2	166,0	153,2	199,5	62,1	73,2
	Promedio	5,44	2,18	71,4	79,9	22,5	190,1	141,4	139,7	55,7	67,9
Lixiviado T1	7	6,54	2,09	58,1	15,4	29,9	209,5	123,0	139,0	49,2	84,2
	14	6,22	2,32	83,1	11,5	18,2	225,2	131,8	108,6	53,8	116,8
	21	6,92	2,59	112,2	157,5	13,3	174,6	148,8	92,5	60,8	127,3
	28	6,23	2,21	122,4	177,8	14,0	125,8	143,2	179,1	59,8	121,2
	Promedio	6,48	2,30	93,9	90,5	18,9	183,8	136,7	129,8	55,9	112,4
Fertirriego T2	7	5,75	1,82	63,3	57,1	33,2	112,6	143,7	190,1	79,2	72,6
	14	5,35	2,29	78,9	252,3	14,0	103,7	57,5	15,5	1,5	69,5
	21	6,25	2,25	92,0	609,5	45,7	100,3	191,5	157,5	46,5	91,0
	28	5,33	2,09	82,1	583,0	35,4	104,1	330,0	114,6	270,0	81,4
	Promedio	5,78	2,11	79,1	375,5	32,1	105,2	180,7	119,4	99,3	78,6
Lixiviado T2	7	6,47	1,97	87,0	312,1	16,1	84,3	156,3	139,9	68,8	99,0
	14	6,25	2,82	146,3	427,1	20,3	88,9	666,3	89,5	91,5	153,3
	21	7,28	3,08	239,7	1055,6	40,6	101,9	354,7	176,0	87,0	200,5
	28	7,03	2,62	153,2	849,0	27,9	97,6	516,7	113,7	276,7	120,5
	Promedio	6,76	2,63	156,6	660,9	26,2	93,2	423,5	129,8	131,0	143,3

5.6 Productividad y calidad

La figura 16 muestra la evolución de la productividad para los tratamientos T1 y T2 a lo largo de siete semanas durante el primer pico de cosecha. Para este caso se produjeron diferencias significativas en la productividad en función de los tratamientos T1 y T2.

Se observa que a lo largo de las primeras cuatro semanas la productividad para la calidad de exportación fue mayor en el tratamiento T1, después está es mejor en el tratamiento T2 pero en la productividad en la calidad nacional como en la de exportación se presentan valores semejantes en la cantidad de tallos florales.m².

La productividad para la calidad de exportación fue de 80% y 70%, respectivamente para el tratamiento T1 y T2. En el sector floricultor la productividad es de 200 tallos florales.m² por año, para el tratamiento T1 a primer pico de cosecha, la cual corresponde a seis meses, esta productividad fue de 98,4 tallos florales.m² y de 95 tallos florales.m² en el tratamiento T2. Vélez (2012) en su estudio presenta resultados para un sustrato compuesto por cascarilla de arroz con una productividad de 217 tallos florales.m² por año, cumpliendo así en ambos estudios con lo esperado por el sector floricultor. Vargas (2012) reporta un 82% de tallo de exportación y 4.75 tallos/planta para clavel cultivado en sustrato.

En la figura 17 se presentan la casos por las cuales se descartaron tallos florales para la calidad de exportación en los tratamientos T1 y T2, razón por la cual estos fueron clasificados en la calidad de nacional.

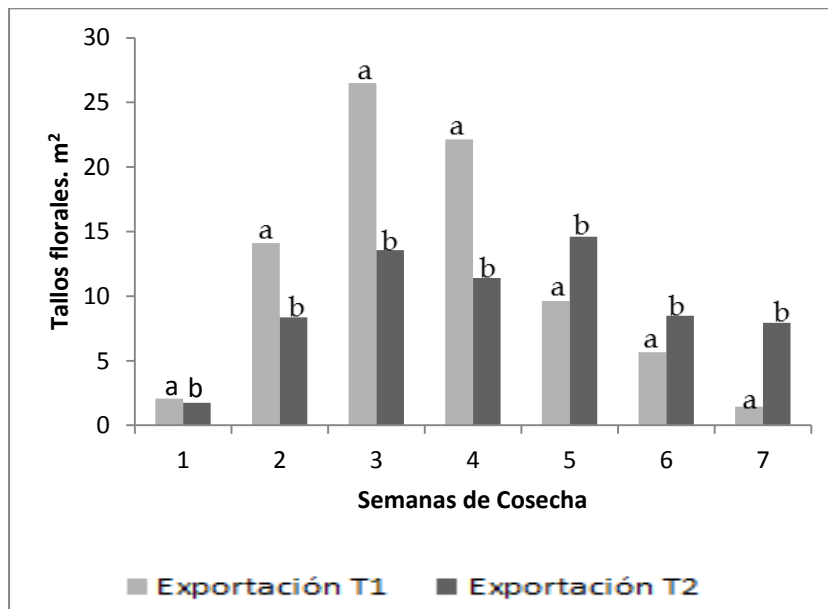
Para clasificar la flor en exportación o nacional se tienen grados de calidad, los criterios en esta investigación para esta clasificación fueron los correspondientes a miniclavel estándar. Una vez separados los tallos de exportación de los nacionales se realizó una observación de los tallos nacionales para determinar las causas de este tipo de flor. Las causas más comunes en el gremio para categorizar un tallo como nacional son: tallo débil, corto o roto, puntos de color, flor rajada e incidencia de patógenos en especial *Fusarium*.

En general, la mayor causa de descarte de tallos florales para flor nacional en los tratamientos evaluados fue la presencia de tallos cortos en los tratamientos T1 y T2, seguidos para el tratamiento T1 por tallo débil, puntos de color menores a tres y *Fusarium*. Por el contrario, en el tratamiento T2, los siguientes en orden de importancia fueron puntos de color menores a tres y *Fusarium*. Lo reportado por Vélez (2012), indica que la mayor causa de descarte de tallos florales fue por *Botryis*.

Figura 16. Productividad de tallos de miniclavel cv. Rony sometidas a dos fórmulas de fertilización durante siete semanas en el primer pico de cosecha.

A. Exportación B. Nacional

A. Exportación



B. Nacional

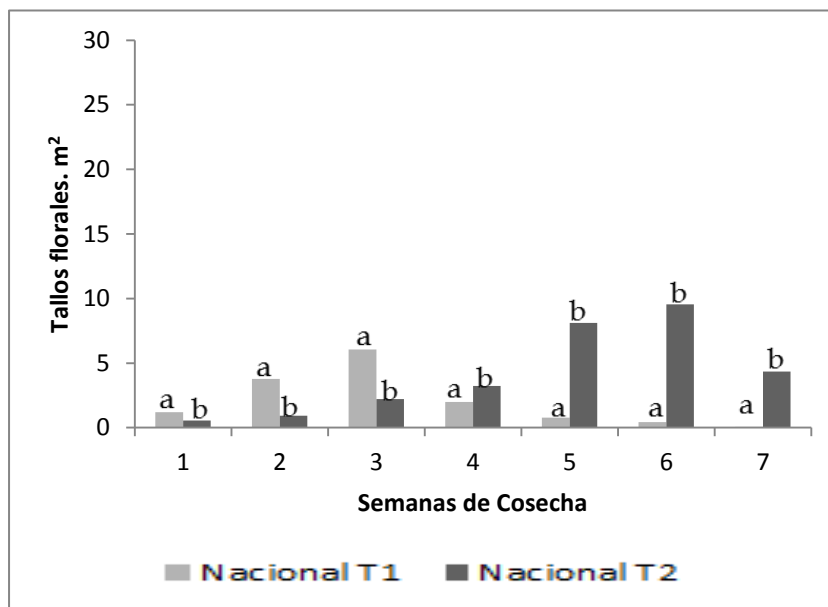
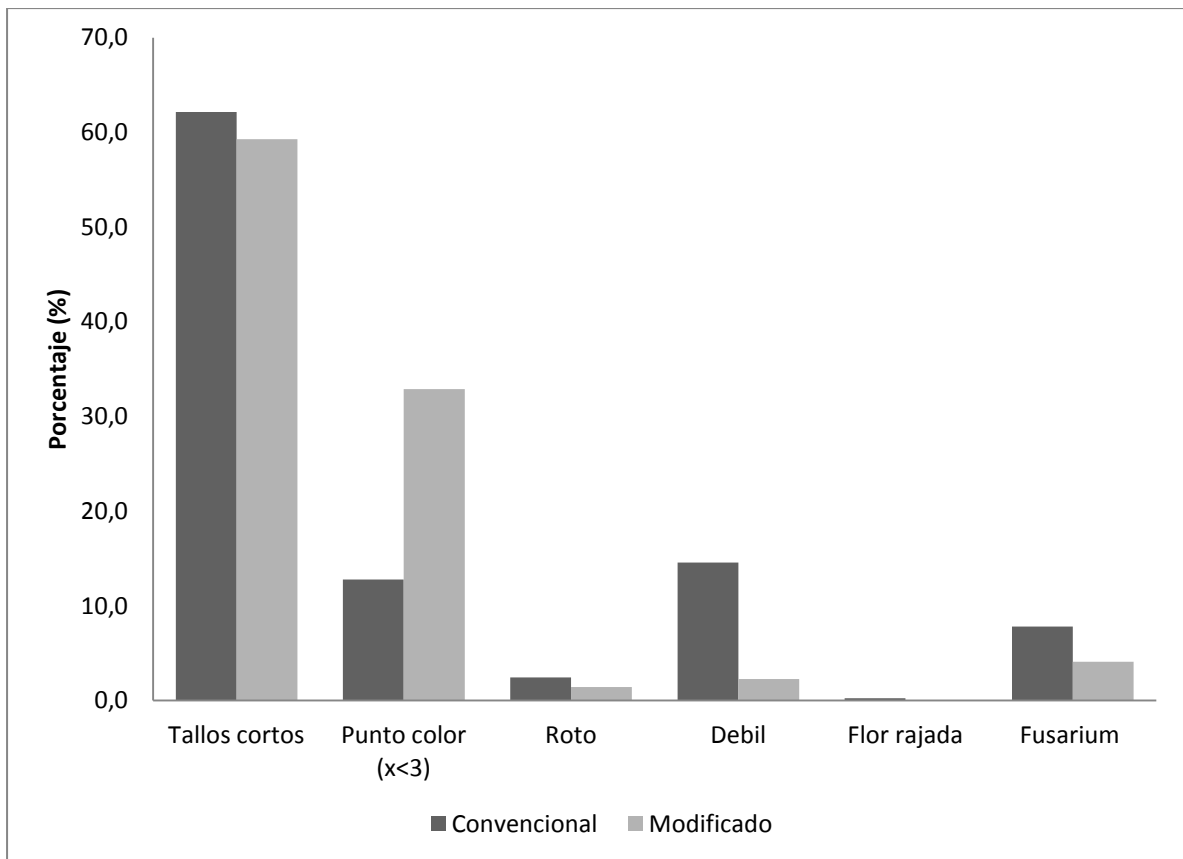


Figura 17. Causas de tallo nacional en miniclavel cv. Rony sometido a dos fórmulas de fertilización en el primer pico de cosecha



6. Conclusiones

El contenido de nitrógeno por parte de las plantas en ambos tratamientos es aceptable y se evidencia que el descenso en este nutriente con el tiempo es debido a la edad fisiológica de la planta. Lo anterior indica que para la presente investigación la reducción en la dosis de nitrógeno en el tratamiento T2 no afectó en los requerimientos nutricionales a la planta.

Se observó en el tratamiento T2, como se esperaba por la reducción de N, una concentración menor de nitratos en el lixiviado, contribuyendo de esta manera con la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua y agua subterránea.

Las concentraciones de nitrato obtenidas en los lixiviados de los tratamientos T1 y T2 son superiores a 100 mg L^{-1} , superiores a lo máximo permitido para aguas superficiales que se destinaran a tratamiento y luego consumo humano según el Decreto 1594 de 1984 (concentración máxima de 10 mg L^{-1}).

La modificación del contenido de N no afectó la tasa de crecimiento de la longitud del tallo, la cual dio en promedio de trece semanas para los dos tratamientos evaluados.

Aunque la productividad de los dos tratamientos fue similar, entre 70 y 80%, en el tratamiento T2 se obtuvo un menor porcentaje de flor de exportación, comparado con el tratamiento T1.

7. Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, es evidente la necesidad de profundizar en el conocimiento de la dosis de fertilizantes nitrogenados óptima, por lo cual es importante realizar montajes con tres o cuatro dosificaciones de nitrógeno diferentes. La presente investigación es una primera aproximación frente a la temática de fertilización con fuentes nitrogenadas y contaminación de cuerpos de agua.

8. Bibliografía

Abad, M., Noguera M. y Carrion, B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3a. Ed. Madrid: Mundi - Prensa.

Abad, M. y P. Noguera. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. pp. 287-342. En: Cadahía, C. (ed.). Cultivos hortícolas y ornamentales. 2da. ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Alarcón V., A.L. 2000. Nutrición mineral: elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo - planta. En: Alarcón V., A.L. (Coord.). Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. pp. 109-129

Alarcón V., A.L. 2006. Diagnóstico y manejo nutricional en cultivos sin suelo. En: Alarcón V., A.L. (Coord.). Cultivos sin suelo. Compendios de Horticultura, 17. Reus: Ediciones de Horticultura S.L. pp. 69-82

Alarcón, A. L. 2000. "Introducción a los Cultivos sin suelo, sistemas y sustratos". En: Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Antonio Alarcón (ed). España: Universidad Politécnica de Cartagena

Alarcón, A. L. 2004. Diagnóstico Agrícola: Agua, Suelo y Material Vegetal. España: Universidad Politécnica de Cartagena.

Alarcón, A., 2006. Proyecto en cultivo sin suelo: ¿cómo empezar?. En: Cultivos sin suelo. Ediciones de Horticultura (Compendios de Horticultura, 17). Reus. Cataluña. España. Cap. 1, 11-22.

Anónimo. 2009. Statistical Analysis System-SAS. SAS/GLM User's Guide, Release 9.2 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.

APHA. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Edition 22th. APHA/AWWA/WPCF. 4110 Determination of Anions by Ion Chromatography

Arauzo, M., Díez, J. A., Hernáiz, P., y del Rey, A. (2003). Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. Investigación de la zona no saturada, 6.

Arévalo, D. (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica. WWF Reporte Colombia 2012. [En línea]. Recuperado de <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>

Arévalo, G, Ibarra D., Florez V., (2007). Desbotone en diferentes estadios de desarrollo del botón floral en clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.). *Agronomía colombiana*. 22, 73-82.

Arreaza, P. 2000. Técnicas básicas del cultivo del clavel. En: Pizano, De Márquez, M. Clavel (*Dianthus Caryophyllus*). Bogotá. Ediciones Hortitecna Ltda. pp. 15-40.

Asocolflores. 2009. Cifras 2008-2009. Asociación Colombiana de Exportadores de Flores. [en línea]. Recuperado en: http://www.asocolflores.org/info/info_cifras_2009.php

Avila, J. P., Canul, R. P., y Sansores, A. C. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81.

Balasubramanian V., Alves, B., Aulakh, M., Bekunda, M., Cai, Z., Drinkwater, L., Mugendi, D., Van kessel, C., Onema, O. 2004. Crop, environmental and management factors affecting nitrogen use efficiency. En: *Agriculture and the Nitrogen Cycle* (Mosier et al., Eds). Island Press, 19-33.

Banco de la Republica, 2013. Balanza Comercial. Principales exportaciones (FOB). Mensual desde 1970. [en línea] Recuperado en <<http://www.banrep.gov.co/es/balanza-comercial>>

Barker, A.V. and Bryson, G. M. 2007. Nitrogen. En: Barker, A and Pilbeam, D. *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton: Taylor & Francis Group. pp. 22-43.

Bar-Yosef, B., Mattson, N.S. and Lieth, H.J. 2009. Effects of NH₄ - NO₃ urea ratio on cutroses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Scientia Horticulturae*

Berrocal L., Salazar J., (2004) .Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:96 para los residuos sólidos generados por el proceso de producción del clavel miniatura en el cultivo "Flores de Funza S.A.C.I.". Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.

Bilderback, T.E., 2002. Water management in reducing nutrient runoff container nurseries. *HortTechnology*. 12, 541-544

Biocomercio Colombia. 2013. ANÁLISIS SECTORIAL FLORES TROPICALES Y FOLLAJES 2012 - 2013. [en línea] Recuperado en: http://www.biocomerciocolombia.com/docs/biocomercio_andino/Componente%204/Analisis%20sectoriales/5.ANALISIS%20SECTORIAL%20FLORES%20Y%20FOLLAJES.pdf

BOIXADERA, J. y CORTÉS, A. 2000. "Nitratos, agua y agricultura, un problema moderno de utilización del suelo", *Horticultura*, España

Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. En: Azcón-Bieto, J. y Tálon, M. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*.

- Madrid: McGraw Hill Interamericana – Ediciones Universitat de Barcelona. pp. 83-97.
- Boshell F., (2009). Manual del riesgo climático en la floricultura colombiana. Centro de innovación de la floricultura colombiana. Bogotá
- Botero, A. y Flórez V. 2012. Cambios en la composición química de los sustratos en el cultivo de clavel. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnia S.L. Madrid. 342 p.
- Cabrera, R. I. 2003. Nitrogen balance for two container-grown woody ornamental plants. *Scientia Horticulturae*, 97:297-308.
- Cabrera, R.I. 2011. Importancia de la calidad química del agua en el fertirriego en cultivos ornamentales. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Avances sobre fisiología de la producción de flores de corte en Colombia. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, pp. 17-26.
- Cadahia, C., Eymar, A. y Lucena M. 2005. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. En: Fertirrigación, cultivos horticolas, frutales y ornamentales. 3a. Ed. Madrid: Mundi - Prensa.
- Calderón, F. y F. Cevallos. 2001. Los sustratos en Colombia. En: www.drcalderonlabs.com; Consultada en Septiembre, 2010.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yañez, J. M., Farías-Rodríguez, R., y Peña-Cabrales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- CARPENTER, S.R.; CARACO, N.E.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N. y SMITH, V.H. 1998. "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen", *Ecol. Applic.*, 8, pp. 558-568.
- Carrillo, I. F., Mejía, B. y Franco, H. F. 1994. Manual de laboratorio para análisis foliares. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, 52p.
- Castellanos D, O. F.; Fonseca R, S. L. y Buriticá O, S. 2010. Agenda Prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de flores y follajes en Colombia, con énfasis en clavel. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural y Universidad Nacional de Colombia. Giro Editores Ltda. 252 p.
- Centro Agropecuario Marengo - CAM. 2010. Generalidades Centro Agropecuario Marengo. [en línea]. Recuperado de <http://www.marengo.unal.edu.co/GENERALIDADES.pdf>
- Close DC, I Bail, S Hunter, CL Beadle. 2005. Effects of exponential nutrient-loading on morphological and nitrogen characteristics and on after-planting performance of *Eucalyptus globulus* seedlings. *For. Ecol. Man.* 205: 397-403.
- Cuin, T.A., Pottosin, I.I. and Shabala, S.N. 2008. Mechanisms of potassium uptake and transport in higher plants. En: Jaiwal, P., Singh, R. and Dhankher, O.P. Plant membrane

and vacuolar transporters. CABI; First edition. 400p.

Daughtry, C. S., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E., McMurtrey, J. E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74: 229-239.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. 2009. INFORME DE RESULTADOS Censo de Fincas Productoras de Flores Censo de Fincas Productoras de Flores En 28 municipios de la Sabana de Bogotá y Cundinamarca 2009. Bogotá. Recuperado el 17 de mayo de 2014, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/flores/Informe_resultados_2009.pdf

Durán, M. J. y Martínez, E. 2000. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. [en línea] Recuperado en: www.eumedia.es/articulos.

ECURED. El Cultivo de Clavel, 2001. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Clavel>. Recuperado: 12 Abril 2014.

Epstein, E. and Bloom. A. 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. 2da edición. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. 400p.

European Environment Agency. (1999). Nutrients in European Ecosystems. Environmental assessment report N° 4. EEA. Copenhagen.

Fageria, N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Boca Raton: Taylor & Francis Group. pp. 91-130.

FAO, IFA. (2002) "Fertilizantes y su uso." 36-40.

FAO. 1984. "Uso óptimo de los fertilizantes para los cereales", Boletín de Fertilizantes, Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 3, p. 32. Citado en: Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas

Fassbender, H. 1982. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, CR. IICA. p. 221-368

Fernández, A., Flórez, V y Chaves, B. 2006. Niveles Foliare de Nutrientes en clavel variedad 'Nelson' y su relación con la producción. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. (ed.). Unibiblos, Bogotá

Fernández, C., y Vázquez-Taset, Y. M. 2006. Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22(3), 9.

Fernández-Escobar, R., Benlloch, M., Herrera, E., García-Novelo, J.M., 2004. Effect of traditional and show-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Horticulturae*. 101, 39-49.

Fisher G., (2007). Efecto de las condiciones climáticas y de nutrición precosecha sobre la calidad poscosecha. Memorias del curso mejores prácticas de poscosecha para flores de corte. (28-30 de mayo, 2007). Recuperado en abril de 2014 de www.ceniflores.org

Flores Aurora, 2015. Mini Clavel. [en línea] Recuperado en <http://www.floresaurora.com/#!/mini-carnations/c1wul>

Flórez R., V.J., Parra R., R., Rodríguez S., M. y Nieto C., D.E. 2006. Características y fundamentos del proyecto “Producción más limpia de rosa y clavel con dos técnicas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá”.

Flórez, V., Miranda, D., Chaves, B., Chaparro, L., Cardenas, C. y Farias, A. 2006. Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en rosa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

Foehse, D. and Jungk, A. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant and Soil*. 74(3):359-368.

Fredeen, A.L., Rao, I. M. and Terry, N. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiology*, 89: 225-230.

García, Á. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas*, 27. [en línea] Recuperado en [http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)

García, F. O., y Agronomía, A. (1996). el ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Buenos Aires Sur, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce.

García, M. R. 2013. Ecología y medio ambiente. Medio ambiente en Colombia: Contaminación. [en línea] Recuperado en http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/04_10_04.htm

Gaspar, F. y Barrios, O. 2011. EL EXCESO DE NITRATOS: un problema actual en la agricultura. *Revista Synthesis*. Universidad Autónoma de Chihuahua, Mexico. [en línea] Recuperado en: http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2011/08/18/el_exceso_de_nitratos_un_problema_actual_en_la_agricultura.pdf

Gonzales C.; Murillo M.; Quintero F. y Meneses V., 2006. Determinación de algunas propiedades hidrofísicas de los sustratos. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. (ed.). Unibiblos, Bogotá, pp 427-448.

Gonzalez, F. 2011. Contaminación por fertilizantes: un serio problema ambiental. [en línea] Recuperado en <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>

Graham R.D. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with

particular reference to the trace elements. *Adv. Bot. Res.* 10:221-226

Guérin, V., Lemaire, F., Marfà, O., Cáceres, R., Giuffrida, F., 2001. Growth of *Viburnum tinus* in peat-substitute growing media. *Scientia Horticulturae.* 89, 129-142.

Henao, M. y Flórez, V. 2006. Relación entre la composición química de los lixiviados y el tipo de sustrato en un sistema de producción de rosa y clavel sin suelo. En: *Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

Hernandez, J.R. 1983. El clavel para flor cortada. Hojas divulgativas 4. Publicaciones de extensión agraria. Madrid. 24p

Huber D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense, pp. 381-406. In: J.G. Horsfall and E.B. Cowling (eds.). *Plant Pathology. An advance treatise.* Academic Press, New York.

IFA (International Fertilizer Industry Association). 2002. Los fertilizantes y su uso, una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4a ed. Paris, France.[en línea]. Recuperado en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>

Inpofos. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelo. Quito, pp. 7 - 9.

Instituto de estudios urbanos. 2015. Distritos de riego. En línea. Recuperado de <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/011211843.htm>

Kleiber, T. y Komosa, A. 2008. Comparision dynamics of N, P, K contents in different *Anthurium* cultivars (*Anthurium cultorum* Birdsey) grown in expanded clay. *Acta Scientiarum. Polonorum., Hortorum Cultus,* 7:77-88

Landis TD. 2000. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. In Landis TD, RW Tinus, SE McDonald, JP Barnett. *Manual Agrícola. Volumen N° 4.* Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. p. 1-67.

Leigh, R.A. and Wyn Jones, R.G. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist,* 97(1):1-13.

Linares H., (2004). Producción de clavel en invernadero. Recuperado en abril de 2014 de http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/P rod_CLAVEL_en_Invernadero.pdf

Llanos, P. 2001. La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Fórmulas completas. Disponible en: < <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>>. Recuperado:12 mayo 2014

López, R.; Martín de Santa Olalla, F.; Fabeiro, C. y Morata. A. 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management* 85:15 - 26.

López-Gálvez, J. y R. Marins Peil. 2000. "La modernidad del sistema de producción hortícola en el sudeste español". *Plasticulture,* 119:46-81.

Mangiafico, S. S., Gan, J., Wu, L., Lu, J., Newman, J. P., Faber, B., Merhaut, D., J., Evans, R., 2008. Detention and recycling basins for managing nutrient and pesticide runoff from nurseries. *HortScience*. 43: 393-398.

Marfà, O., Lemaire, F., Cáceres, R., Giuffrida, F., Guérin, V., 2002. Relationships between growing media fertility, percolate composition and fertigation strategy in peat-substitute substrates used for growing ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae*. 94, 309-321.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press. 889p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press. 889p.

Martinez, F., Ojeda, D., Hernandez, O., Martinez, J. y Quezada, G. 2011. EL EXCESO DE NITRATOS: un problema actual en la agricultura. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas/Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

Martínez, Y. M., Karaj, S. U., y Murillo, J. A. (2011). El control de la contaminación por nitratos en el regadío. *Economía Agraria y Recursos Naturales (Agricultural and Resource Economics)*, 2(2), 115-131.

Materán M, R Coopman, D Ríos, M Sánchez. 2004. Efecto del estrés nutricional de N sobre el crecimiento de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. Segundo Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Valdivia. Chile.

Mengel, K. 2007. Potassium. En: Barker, A. and Pilbeam, D. Handbook of plant nutrition. Boca Raton: Taylor & Francis Group. Pp. 91-116.

Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten, H. and Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. 5 edition. Dordrech: Kluwer Academic Publishers. 851p.

Microfertisa (2006). Manual técnico de fertilización de cultivos. Propumedios. Bogotá - Colombia. 34 p.

Moreno, T. 2000. Propuesta para la interpretación de los datos analíticos de los drenajes en sustratos inertes en condiciones de relativa salinidad. En: V Jornada de Sustratos. Almería: Actas de Horticultura, 32: 59-67

Muñoz, P., Antón, A., y Montero, J. I. (2006). Fertilización nitrogenada en un cultivo hidropónico de tomate. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (192), 8-13.

Murphy, L. y Sanders, L. 2008. MEJORANDO LA EFICIENCIA DE USO DEL P CON TECNOLOGIA DE POLIMEROS. [en línea] Recuperado en <<http://www.fertilizando.com/articulos/Mejorando-Eficiencia-Uso-P-con-Polimeros.pdf>>

Murúa, C. G., Aurre, J. M. E., Moro, M. B. G., García, A. G., Tobalina, M. P., Pereda, M. P. M., y Insausti, A. A. 2008. Fertilización nitrogenada y sostenibilidad: contaminación ambiental frente a producción y calidad. Encuentros Sectoriales Universidad-Empresa (pág. 1). Álava: Universidad del País Vasco. Recuperado el 17 de mayo de 2014, de http://www.ikerkuntza.ehu.es/p273-content/es/contenidos/informacion/vri_encuentros/es_vri_encu/adjuntos/4_GMurua_L.pdf.

Narváez Torres, L. 2012. Lixiviados en horticultura intensiva ornamental y su tratamiento mediante humedades artificiales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. España

Navarro B., S. y G. Navarro G. 2003. Química agrícola. 2da ed. Madrid: Mundi-Prensa. 488p.

Navarro, S. y Navarrp, G. 2000. Química Agrícola. Madrid. Ed. Mundi.

Newman S., (1999). Efectos del clima en la fisiología de la floración. Clima, fisiología y producción de cultivos bajo invernadero, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, 27-34.

Núñez, Roberto. 1973. "Uso de los fertilizantes y la contaminación del medio ambiente", Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental, México, D.F., Secretaría de Salubridad y Asistencia. Citado en: Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. UNAM Instituto de Investigaciones Económica

Ortega R., D. 1997. Fertirrigación en cultivos de flores. En: Silva M., F. (ed.) Fertirrigación, Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Pp.136-147.

Oyarzun Arrechea, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz (" Zea mays" L. Var. Dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos.

Padilla, W. 2005. Suelos. 4 ed. Quito, EC. Grupo Clínica agrícola. p. 73-148

PADILLA, W. 2005. Suelos. 4 ed. Quito, EC. Grupo Clínica agrícola. p. 73-148 CD

Parra R. y Flórez, V., 2006. Reutilización de lixiviados en sistemas de producción de rosa en sustrato. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana. (ed.). Unibiblos, Bogotá, pp 463-478.

Pastrana, I., Reza, S., Espinosa, M., Suárez, E., y Díaz, E. (2013). Efecto de la fertilización nitrogenada en la dinámica del óxido nitroso y metano en *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 134-142.

Peña, 2012. Estadios de desarrollo fenológico del mini clavel. Comunicación persolal

Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas.

PIZANO, M. 2000. Clavel. Bogotá, CO. Hortitecnia .p. 181

Quintero C., M.F., González M., C.A. y Guzmán P., J.M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 79-108.

Radin J. W. and Matthews, M.A. 1989. Water transport properties of cortical cells in roots

of nitrogen- and phosphorus-deficient cotton seedlings. *Plant Physiology* 89:264-268.

Rico, G., Pérez, D., Ledezma, C., Parra, J., y Agrinzones, H. (1992). EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y FOSFORO EN VARIEDADES MODERNAS DE ARROZ BAJO CONDICIONES DE INUNDACION EN SUELOS PESADOS. *Agronomía Tropical*, 42(1-2), 41-52.

Román, s. 2002. Libro azul. Manual de fertirriego de SQM, 3a. Ed. Soquimich Comercial S.A. 231 p.

ROSS, C. ; SALISBURY, F. 2000. Fisiología de la planta: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Madrid, ES. Iberoamericana S. A. p .571-580

Sagarpa. 2000. Abonos orgánicos, México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, [en línea] Recuperado en <<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>>

Salas, R.2002. FERTILIZACIÓN FOLIAR DE PLANTAS ORNAMENTALES. En: Segura, Á. (2002). FERTILIZACIÓN FOLIAR: PRINCIPIOS Y APLICACIONES. Universidad de Costa Rica, p. 67

Salgado, E. 2004. Curso agronomía conceptos básicos. Deposito de documentos de la FAO.

Salgado, Sergio; Palma López, David J.; Lagunes Espinoza, Luz del C. y Núñez Escobar, Roberto. 2010. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos, Tabasco, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Colegio de Posgraduados, Mundi Prensa. Citado en: Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas

Salisbury F, C Ross. 2000. Fisiología Vegetal. Madrid, España. Thomson Editores, Spain Paraninfo. 988 p

Samborski, S.M., Tremblay, N. y Fallon, E. 2009. Strategies to make use of plant sensors- based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*, 101: 800–816.

San Martino, L. 2008. Nutrición mineral en cerezos adultos: nitrógeno, fósforo, potasio y azufre. Agencia de Extensión Rural Los Antiguos. inta.gob.ar/documentos/nutricionmineral...fosforo.../file

Sanchez, T. 2003. Fertirrigacion: principios, factores y aplicación. En: Fertitec, informaciones, articulos. [en línea] Recuperado en: www.fertitec.com

Scharf, P.C. y Lory, J.A. 2009. Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. *Agronomy Journal*, 101:615–625.

Schroder, F. C., D. Schwarz y R. Kuchenbuch. 1995. "Comparison of biomass production of tomatoes grown in two circulating systems". *Gartenbauwissens - cbat*, 60 (6):294-297

Schröder, J.J., Neeteson, J.J., Oenema, O. y Struik, P.C. 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, 66: 151-064.

Scott, Sue. 2005. "Environmental Economics. Fertilizer Taxes-Implementation Issues. Final Report", Environmental Protection Agency (ed.), Ireland: 50. Citado en: Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). *Agricultura y contaminación del agua*. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas

Seo, D.C., Hwang, S.H., Kim, H.J., Cho, J.S., Lee, H.J., DeLaune, R.D., Jugsujinda, A., Lee, S.T., Seo, J.Y., Heo, J.S., 2008. Evaluation of 2-and 3-stage combinations of vertical and horizontal flow constructed wetlands for treating greenhouse wastewater. *Ecol. Eng.* 32, 121-132.

Shakhashiri Bassam, Z. 2011. "Agricultural Fertilizers: Nitrogen, Potassium, and Phosphorus", *Chemistry, Science is fun*, 103 (1). [en línea] Recuperado en <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/Agricultural_Fertilizers.pdf>

Solano, A. 2009. *Floricultura colombiana: un caso de colaboración exitosa en protección de cultivos*. Recuperado de <http://www.croplifela.org/pdfs/solano.pdf>

Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 431 pp.

Taylor, M.D., White, S.A., Chandler, S.L., Klaine, S.J., Whitwell, T., 2006. Nutrient management of nursery runoff water using constructed wetland systems. *HortTechnology*. 16, 610-614.

Tenjo, F., Montes, E., y Martínez, J. (2006). Comportamiento reciente (2000-2005) del sector floricultor colombiano. Recuperado el, 13.

Thompson, R.B., Gallardo, M., Joya, M., Segovia, C., Martínez-Gaitán, C. y Granados, M.R. 2009. Evaluation of rapid analysis systems for on-farm nitrate analysis in vegetable cropping. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7: 200-211.

Torres J.G., (sf). *Mantenimiento del cultivo para asegurar un óptimo desarrollo y producción de las plantas*, SENA sede Mosquera.

Torres, J. 2011. *Manejo de flor cortada de acuerdo con los parámetros establecidos para satisfacción de los clientes*. Sena Mosquera

Triana M., E. Castiblanco, y V.J. Flórez R. 2006. Comportamiento de nutrientes en un sistema de cultivo sin suelo en rosa, p: 246-263. En: Flórez R., V.J., A. de la C. Fernández M., D. Miranda L., B. Chávez C. y J.M. Guzmán P. (Eds.). *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*, p: 500

Urrestarazu, M., 2006. *Bases y sistemas de los cultivos sin suelo*. En: *Cultivos sin suelo*. Ediciones de Horticultura (Compendios de Horticultura, 17). Reus. Cataluña. España. Cap. 2, 23-42

Vargas Moreta, M. V. (2013). *Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes*

en las variedades de Clavel Nelson y Dakota (*Dianthus caryophyllus*), Pujilí-Cotopaxi.

Vélez Carvajal, N. 2012. Comportamiento de macronutrientes en un sistema de cultivo sin suelo para clavel estándar cv. Delphi con recirculación de drenajes en la Sabana de Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. BOGOTÁ, p. 432.

Winsor, G.W. 1996. Potassium and quality of glasshouse crops. In: Potassium and the quality of agriculture products. 8th edition. Congn Int. Potash Inst. Bern. Pp.303-312.

Yepis Vargas, Olga; Fundora Herrera, Onelio; Pereira Marin, Carlos y Crespo Borges, Tomás. 1999. "La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate", Revista Scientia, Gerundensis, 24, pp. 5-12. Citado en: Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M. y Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas

Zamudio, B. 2008. Avances en la nutrición de ornamentales en Mexico. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.

A. Ajuste de curvas, Modelo Logístico - Longitud de Tallo

CONVENCIONAL

ALGORITMO

```
DATA CREC;
INPUT SEMANA ALTURA;
CARDS;
8 17.45
9 28.17
10 31.42
11 35.83
12 42.05
13 46.38
14 52.95
15 62.88
16 70.95
17 75.05
18 79.69
19 82.57
20 86.00
21 89.69
22 92.12
23 93.00
24 93.88
;
PROC NLIN METHOD=DUD BEST= 10 DATA = CREC;
PARAMETERS A= 15 TO 95;
PARAMETERS B = 0.00001 TO 0.5 BY 0.05;
PARAMETERS C = 5 TO 25;
MODEL ALTURA = A/(1+EXP(-B*(SEMANA-C)));
OUTPUT OUT = SALE3 P=PALTURA;
TITLE 'CRECIMIENTO MINICLAVEL';
SYMBOL1 C=RED I=JOIN V=NONE;
SYMBOL2 C=RED I=NONE V=DOT;
PROC GPLOT DATA = SALE3;
PLOT (PALTURA ALTURA)*SEMANA/OVERLAY;
```

RUN;
QUIT;

RESULTADO

'CRECIMIENTO MINICLAVEL'

Procedimiento NLIN
Variable dependiente ALTURA

Búsqueda de cuadrícula

A	B	C	Suma de cuadrados
95.0000	0.3000	13.0000	118.0
94.0000	0.3000	13.0000	168.7
95.0000	0.3500	13.0000	193.2
94.0000	0.3500	13.0000	206.1
93.0000	0.3000	12.0000	207.9
92.0000	0.3000	12.0000	208.1
94.0000	0.3000	12.0000	226.3
91.0000	0.3000	12.0000	226.7
90.0000	0.3500	12.0000	234.6
93.0000	0.3000	13.0000	236.0

'CRECIMIENTO MINICLAVEL'

Procedimiento NLIN
Variable dependiente ALTURA
Método: Gauss-Newton

Fase iterativa

Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	95.0000	0.3000	13.0000	118.0
1	99.4818	0.2711	13.0951	47.5430
2	99.6343	0.2730	13.1062	46.9654

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
3	99.6375	0.2730	13.1066	46.9654
4	99.6374	0.2730	13.1066	46.9654

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación	
Método	Gauss-Newton
Iteraciones	4
R	6.678E-7
PPC(B)	1.01E-7
RPC(B)	3.054E-6
Objeto	2.88E-10
Objetivo	46.96541
Observaciones leídas	17
Observaciones usadas	17
Observaciones ausentes	0

Note: An intercept was not specified for this model.

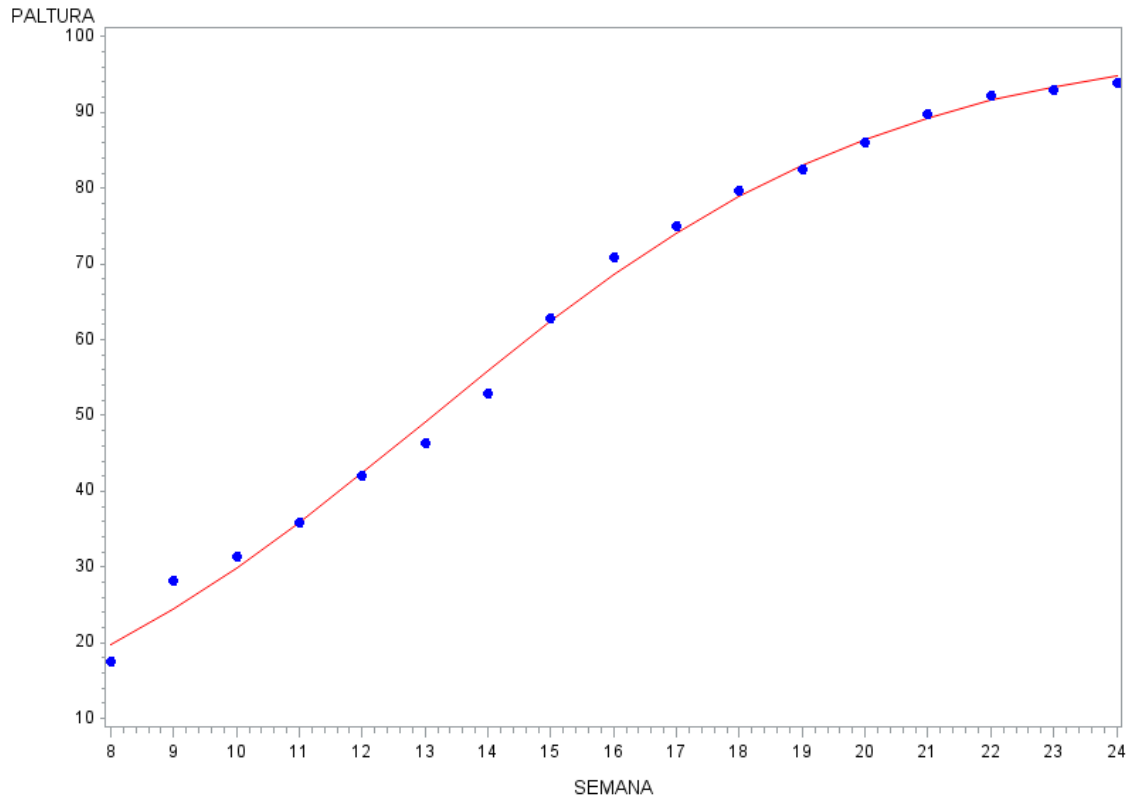
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	79222.5	26407.5	7871.86	<.0001
Error	14	46.9654	3.3547		
Total no corregido	17	79269.5			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	99.6374	1.8180	95.7383	103.5

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
B	0.2730	0.0130	0.2452	0.3008
C	13.1066	0.1929	12.6928	13.5204

Approximate Correlation Matrix			
	A	B	C
A	1.0000000	-0.8296177	0.8794763
B	-0.8296177	1.0000000	-0.6808448
C	0.8794763	-0.6808448	1.0000000

'CRECIMIENTO MINICLAVEL'



MODIFICADO

ALGORITMO

```
DATA CREC;
INPUT SEMANA ALTURA;
CARDS;
8 25.53
9 26.98
10 29.29
11 30.45
12 32.78
13 37.10
14 41.46
15 49.63
16 57.96
17 68.21
18 68.94
19 75.35
20 76.43
21 77.88
22 79.37
23 80.29
24 80.79
;
PROC NLIN METHOD=DUD BEST= 10 DATA = CREC;
PARAMETERS A= 15 TO 95;
PARAMETERS B = 0.00001 TO 0.5 BY 0.05;
PARAMETERS C = 5 TO 25;
MODEL ALTURA = A/(1+EXP(-B*(SEMANA-C)));
OUTPUT OUT = SALE3 P=PALTURA;
TITLE 'CRECIMIENTO MINICLAVEL';
SYMBOL1 C=RED I=JOIN V=NONE;
SYMBOL2 C=RED I=NONE V=DOT;
PROC GPLOT DATA = SALE3;
PLOT (PALTURA ALTURA)*SEMANA/OVERLAY;
RUN;
QUIT;
```

RESULTADO

‘CRECIMIENTO MINICLAVEL’

Procedimiento NLIN
Variable dependiente ALTURA

Búsqueda de cuadrícula

A	B	C	Suma de cuadrados
95.0000	0.2000	14.0000	248.0
87.0000	0.2500	13.0000	253.9
86.0000	0.2500	13.0000	259.8
94.0000	0.2000	14.0000	261.0
92.0000	0.2500	14.0000	261.0
88.0000	0.2500	13.0000	263.6
93.0000	0.2500	14.0000	267.9
91.0000	0.2500	14.0000	268.1
85.0000	0.2500	13.0000	281.4
93.0000	0.2000	14.0000	286.9

‘CRECIMIENTO MINICLAVEL’

Procedimiento NLIN
Variable dependiente ALTURA
Método: Gauss-Newton

Fase iterativa

Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	95.0000	0.2000	14.0000	248.0
1	91.9049	0.2258	13.7127	222.0
2	92.9019	0.2248	13.8603	220.5
3	92.6659	0.2261	13.8312	220.5
4	92.7147	0.2259	13.8377	220.5
5	92.7042	0.2260	13.8364	220.5
6	92.7064	0.2260	13.8367	220.5

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
7	92.7059	0.2260	13.8366	220.5

NOTE: Convergence criterion met.

Resumen de la estimación	
Método	Gauss-Newton
Iteraciones	7
R	4.383E-6
PPC(B)	1.816E-6
RPC(B)	8.791E-6
Objeto	3.5E-10
Objetivo	220.5197
Observaciones leídas	17
Observaciones usadas	17
Observaciones ausentes	0

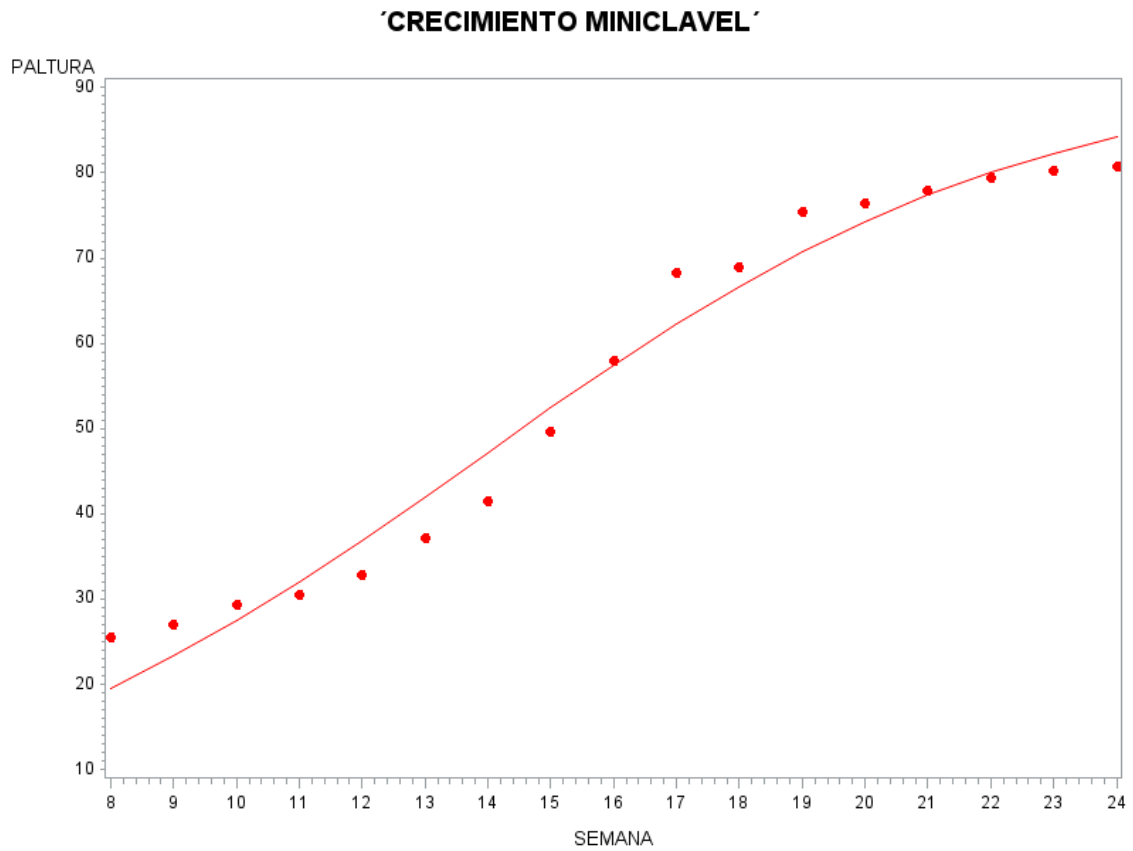
Note: An intercept was not specified for this model.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Aprox Pr > F
Modelo	3	59199.6	19733.2	1252.79	<.0001
Error	14	220.5	15.7514		
Total no corregido	17	59420.1			

Parámetro	Estimador	Error std aproximado	Límites de confianza 95% aproximados	
A	92.7059	5.9889	79.8611	105.6
B	0.2260	0.0297	0.1623	0.2897
C	13.8366	0.7387	12.2523	15.4209

Approximate Correlation Matrix

	A	B	C
A	1.0000000	-0.8846773	0.9464088
B	-0.8846773	1.0000000	-0.8099873
C	0.9464088	-0.8099873	1.0000000



B. Análisis estadístico, Medidas repetidas con factor intrasujetos en Agua – Sustrato – Planta

UNIVARIANTE

ALGORITMO

```

options ls=96;
data Trial;
  input Treatment $ Repetition L0 L7 L14 L21 L28 T0 T7 T14 T21 T28
S0 S7 S14 S21 S28;
  datalines;
CON 1 0.001 211.731 234.897 195.736 136.516 2.190 3.450 2.740 2.670
1.710 0.648 0.806 0.790 1.070 0.730
CON 2 0.001 217.417 225.662 172.995 114.691 2.190 3.670 2.640 2.800
2.210 0.623 0.708 0.820 0.910 0.760
CON 3 0.189 199.468 215.011 155.047 126.116 2.190 3.690 2.660 2.340
1.850 0.665 0.736 0.750 1.000 0.770
MOD 1 2.266 91.843 93.544 90.205 89.900 2.270 3.320 2.740 2.370
1.580 0.730 0.780 0.580 0.970 1.070
MOD 2 2.146 75.039 89.899 112.296 98.000 2.270 3.230 2.300 2.170
1.360 0.730 0.760 1.260 0.970 1.120
MOD 3 2.112 85.958 83.107 103.155 105.000 2.270 3.330 1.530 2.300
1.450 0.730 0.770 0.880 1.060 1.000
;

proc glm data=Trial;
  class Treatment;
  model L0 L7 L14 L21 L28 T0 T7 T14 T21 T28 S0 S7 S14 S21 S28 =
Treatment;
  repeated Response 3 identity, Time 5;
run;

```

RESULTADO

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Treatment	2	CON MOD

Número de observaciones leídas	6
Número de observaciones usadas	6

Sistema SAS

Procedimiento GLM

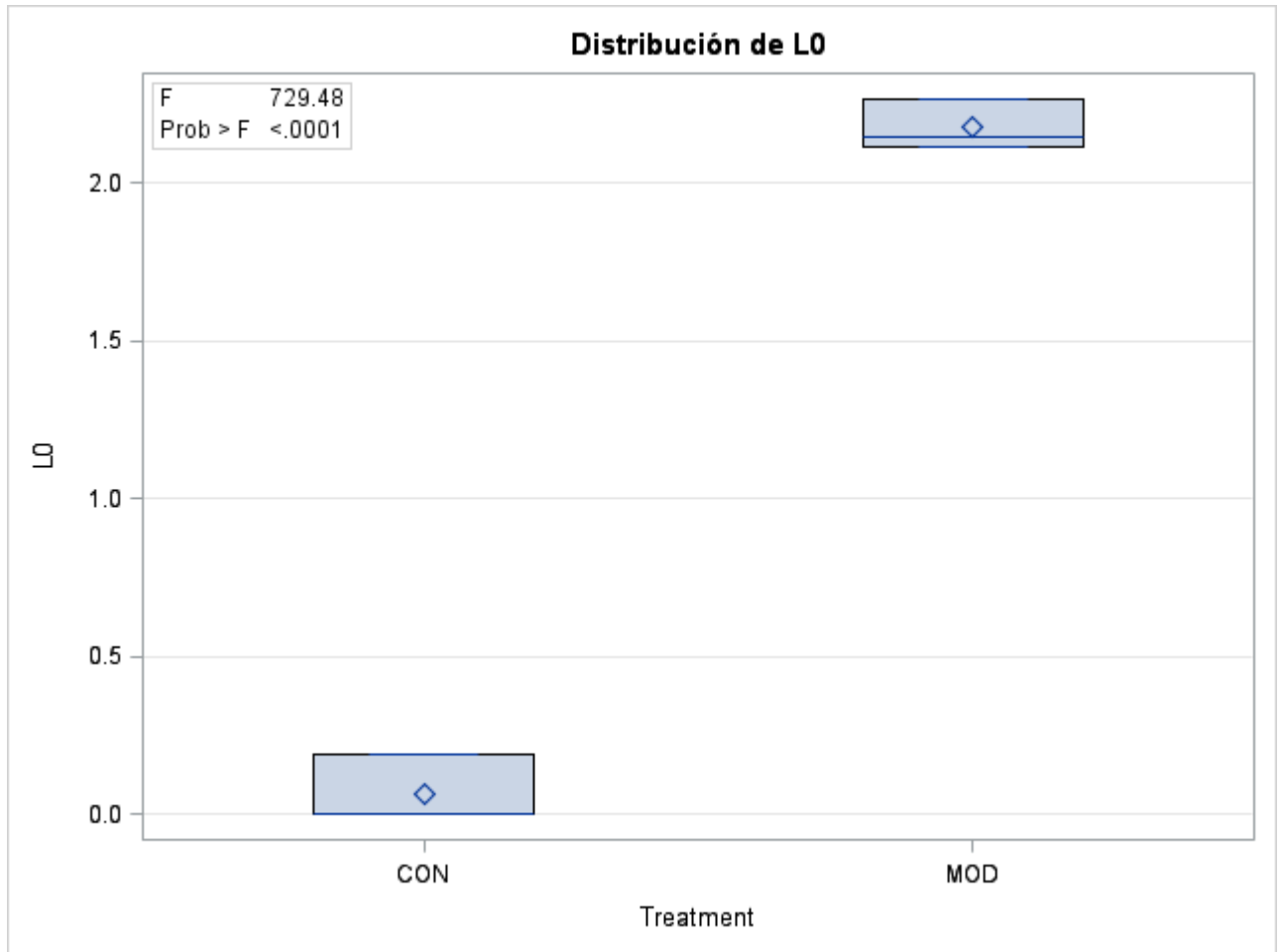
Variable dependiente: L0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	6.68448150	6.68448150	729.48	<.0001
Error	4	0.03665333	0.00916333		
Total corregido	5	6.72113483			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L0 Media
0.994547	8.553266	0.095725	1.119167

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	6.68448150	6.68448150	729.48	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	6.68448150	6.68448150	729.48	<.0001



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: L7

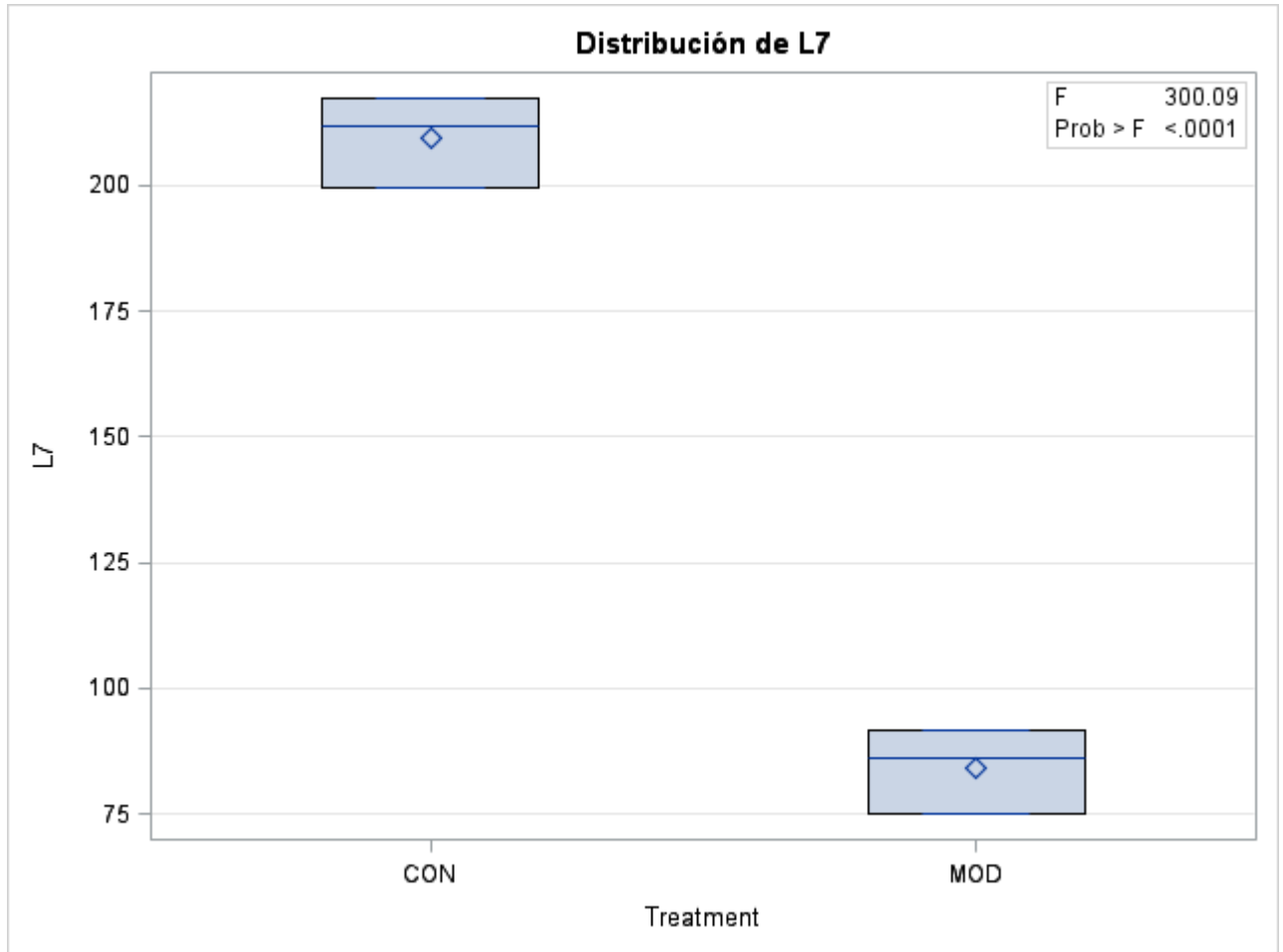
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	23534.60036	23534.60036	300.09	<.0001
Error	4	313.70352	78.42588		
Total corregido	5	23848.30389			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L7 Media
0.986846	6.028098	8.855839	146.9093

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	23534.60036	23534.60036	300.09	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	23534.60036	23534.60036	300.09	<.0001



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: L14

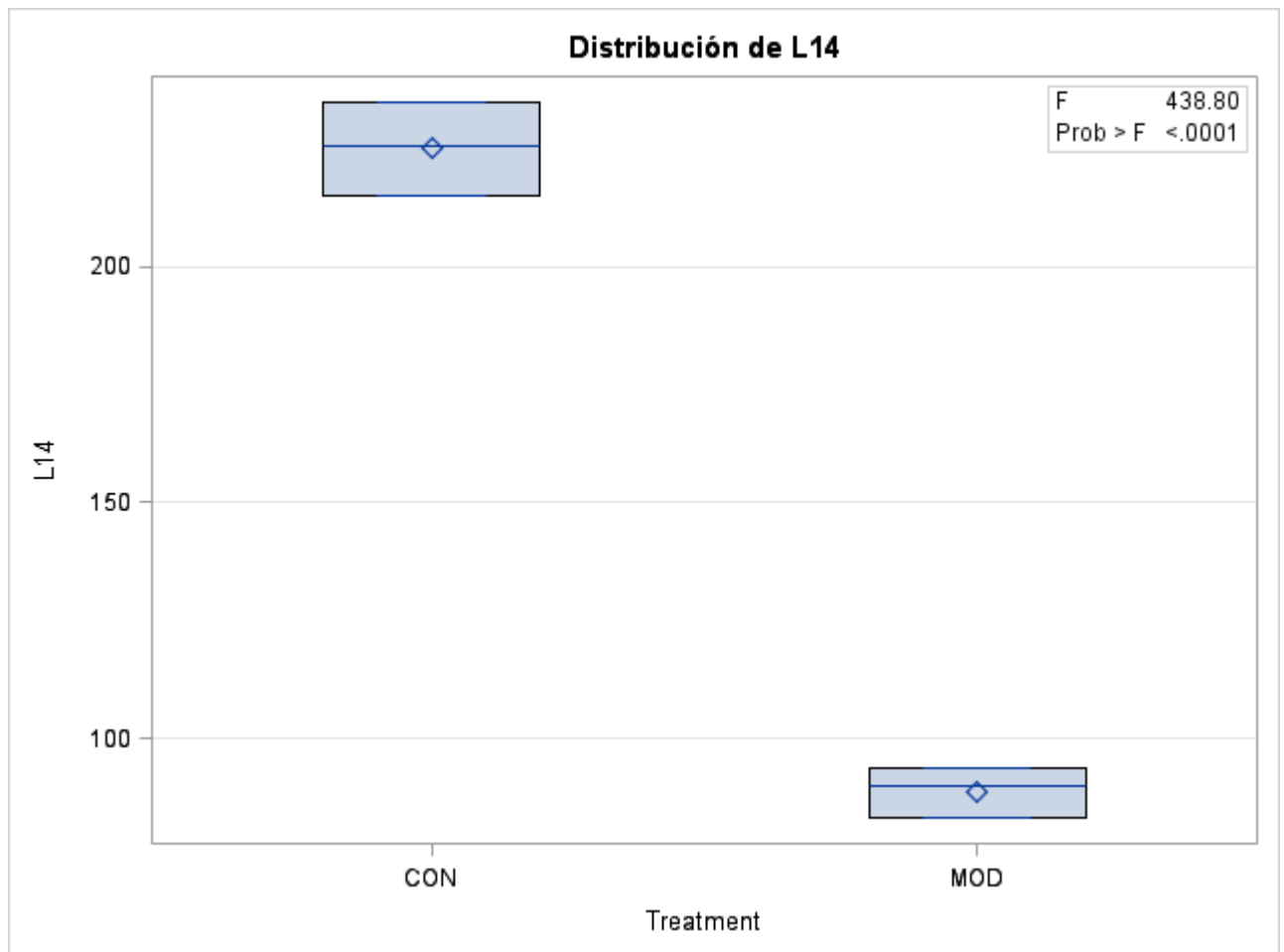
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	27882.89340	27882.89340	438.80	<.0001
Error	4	254.17676	63.54419		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	28137.07016			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L14 Media
0.990966	5.076717	7.971461	157.0200

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	27882.89340	27882.89340	438.80	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	27882.89340	27882.89340	438.80	<.0001



Sistema SAS

Procedimiento GLM

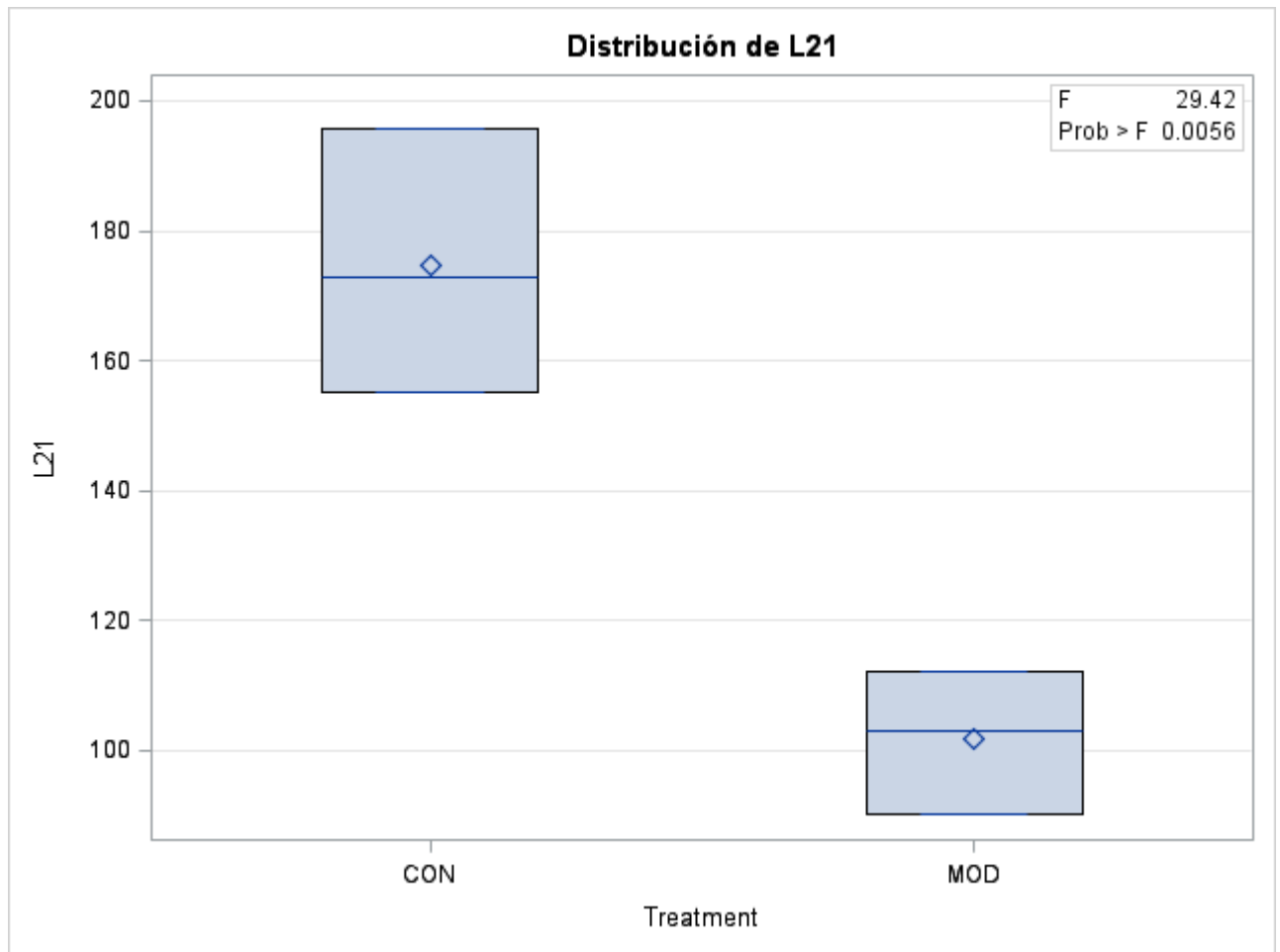
Variable dependiente: L21

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	7929.534481	7929.534481	29.42	0.0056
Error	4	1078.050389	269.512597		
Total corregido	5	9007.584870			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L21 Media
0.880317	11.87569	16.41684	138.2390

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	7929.534481	7929.534481	29.42	0.0056

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	7929.534481	7929.534481	29.42	0.0056



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: L28

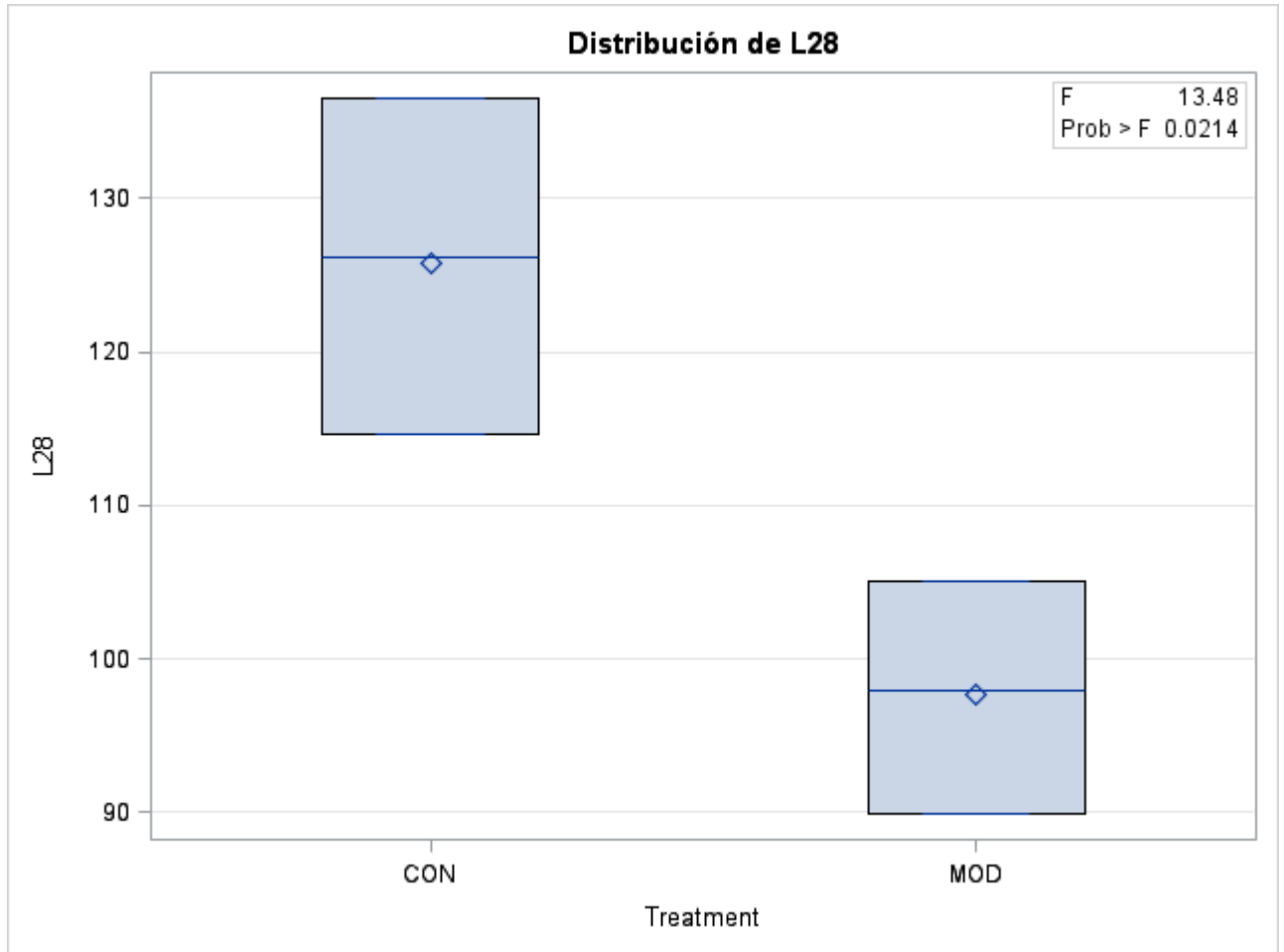
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	1187.873821	1187.873821	13.48	0.0214
Error	4	352.547083	88.136771		
Total corregido	5	1540.420905			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L28 Media
0.771136	8.404473	9.388119	111.7038

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	1187.873821	1187.873821	13.48	0.0214

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	1187.873821	1187.873821	13.48	0.0214



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: T0

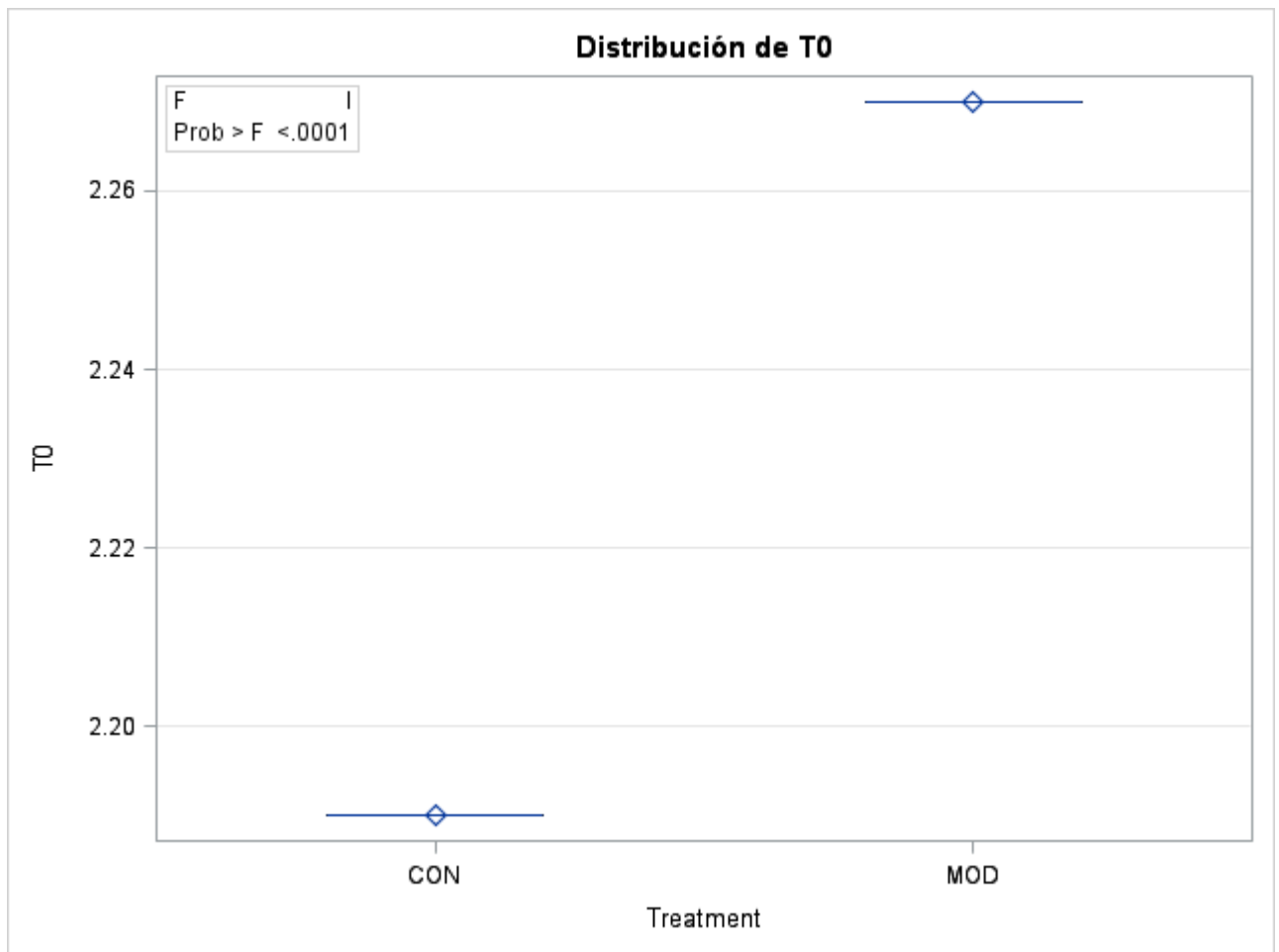
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.00960000	0.00960000	Infty	<.0001
Error	4	0.00000000	0.00000000		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	0.00960000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	T0 Media
1.000000	0	0	2.230000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00960000	0.00960000	Infty	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00960000	0.00960000	Infty	<.0001



Sistema SAS

Procedimiento GLM

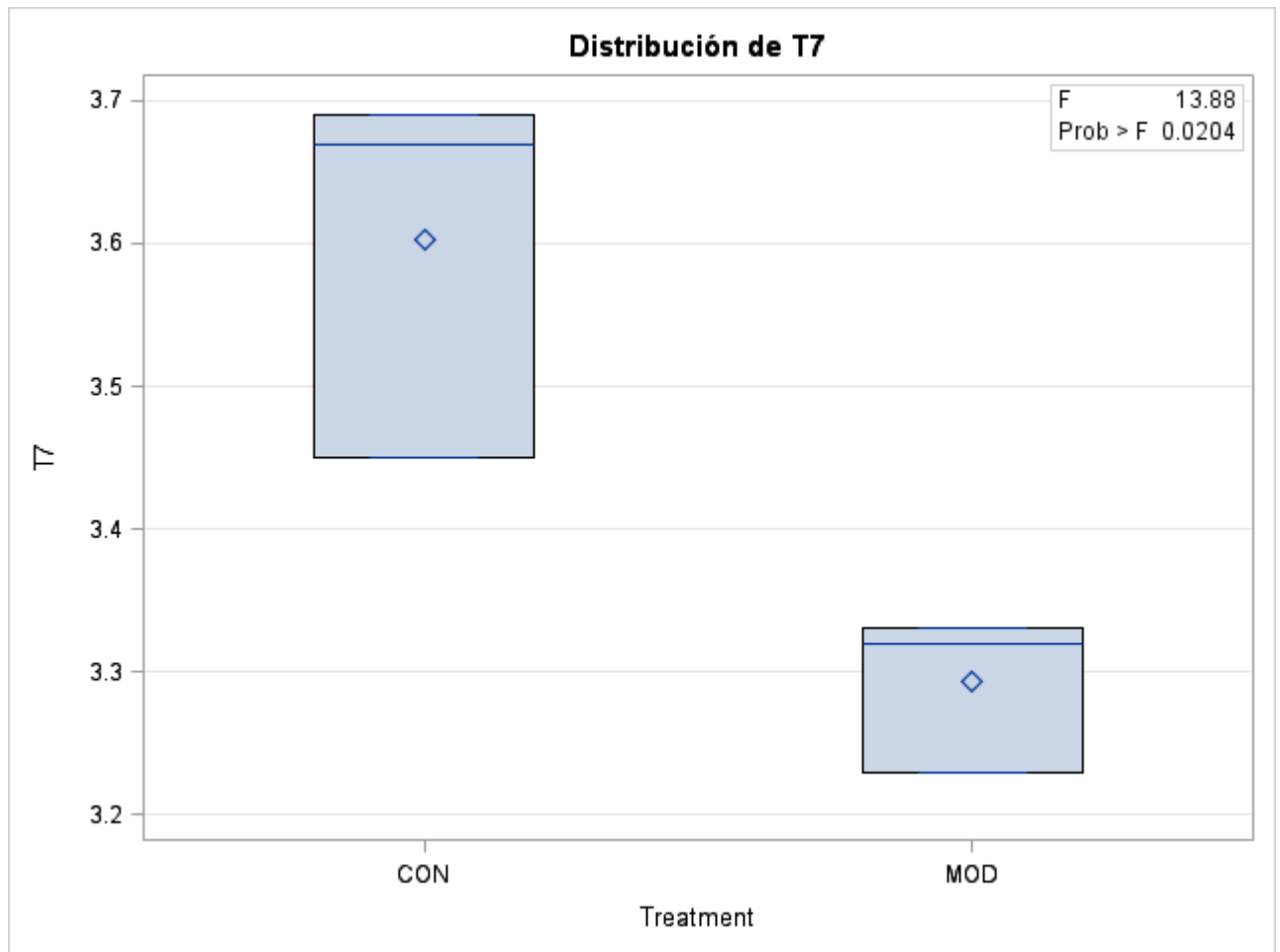
Variable dependiente: T7

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.14415000	0.14415000	13.88	0.0204
Error	4	0.04153333	0.01038333		
Total corregido	5	0.18568333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	T7 Media
0.776322	2.955011	0.101899	3.448333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.14415000	0.14415000	13.88	0.0204

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.14415000	0.14415000	13.88	0.0204



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: T14

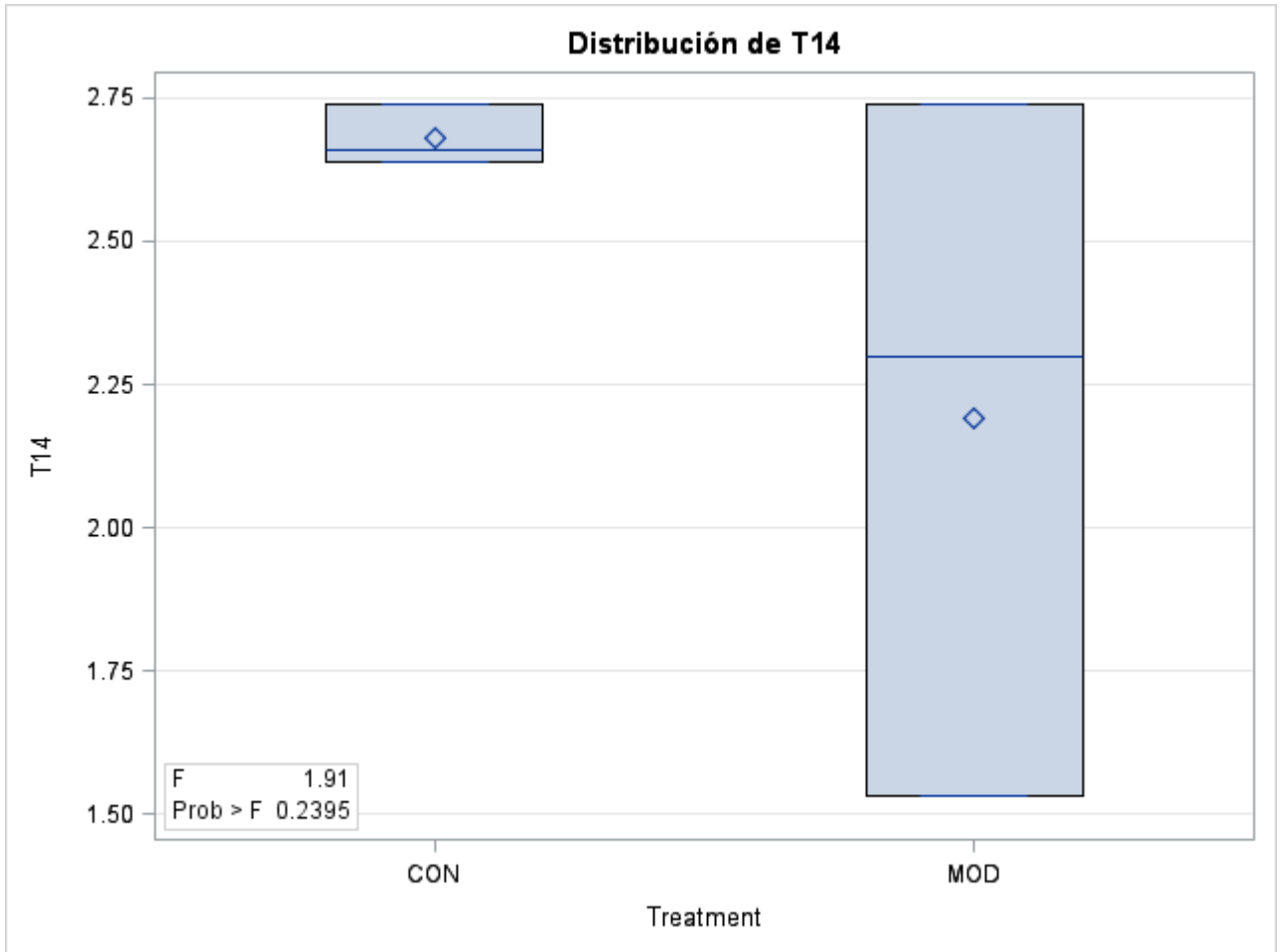
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.36015000	0.36015000	1.91	0.2395
Error	4	0.75580000	0.18895000		
Total corregido	5	1.11595000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	T14 Media
0.322730	17.85149	0.434684	2.435000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.36015000	0.36015000	1.91	0.2395

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.36015000	0.36015000	1.91	0.2395



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: T21

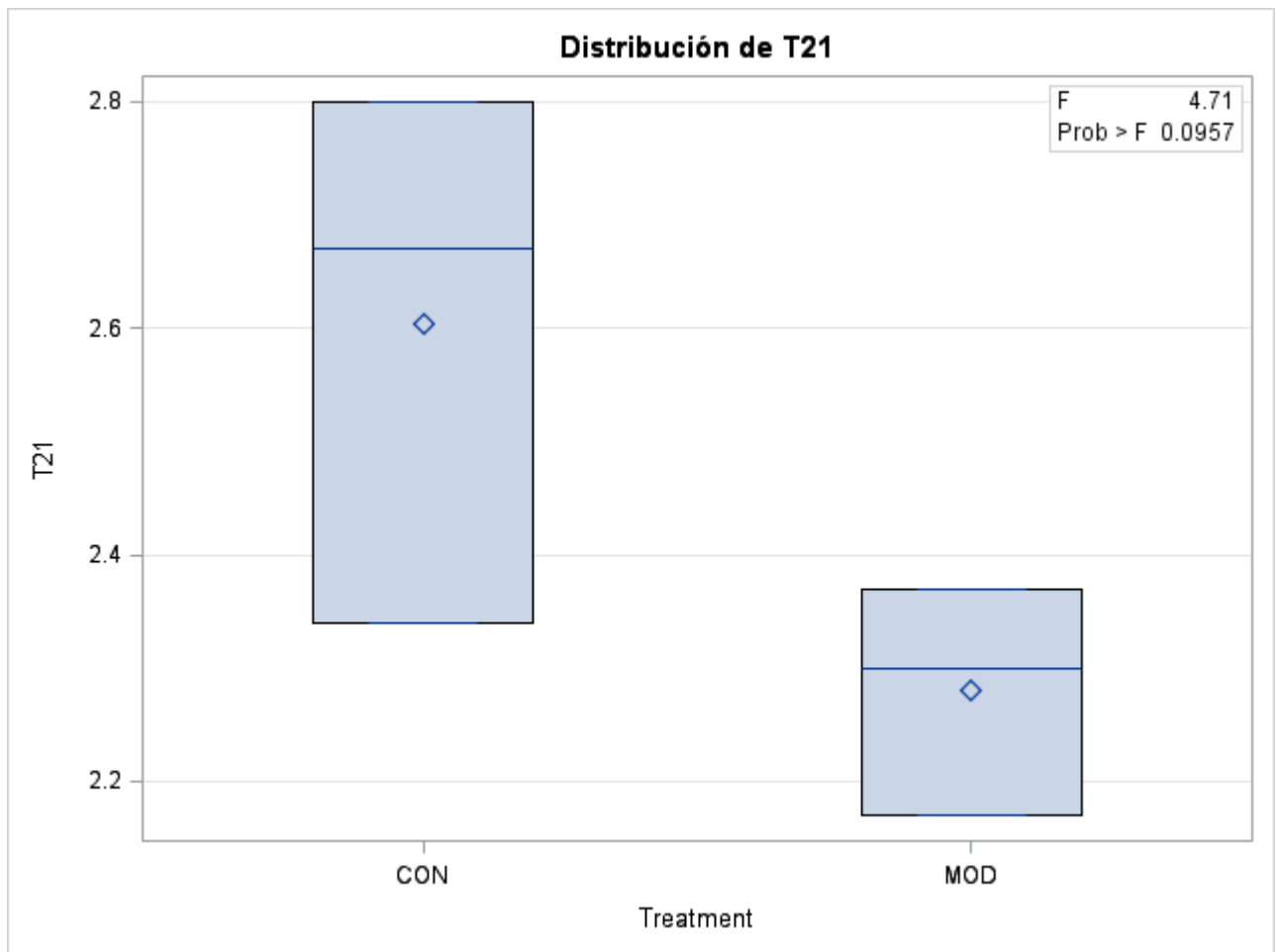
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.15681667	0.15681667	4.71	0.0957
Error	4	0.13306667	0.03326667		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	0.28988333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	T21 Media
0.540965	7.469960	0.182392	2.441667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.15681667	0.15681667	4.71	0.0957

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.15681667	0.15681667	4.71	0.0957



Sistema SAS

Procedimiento GLM

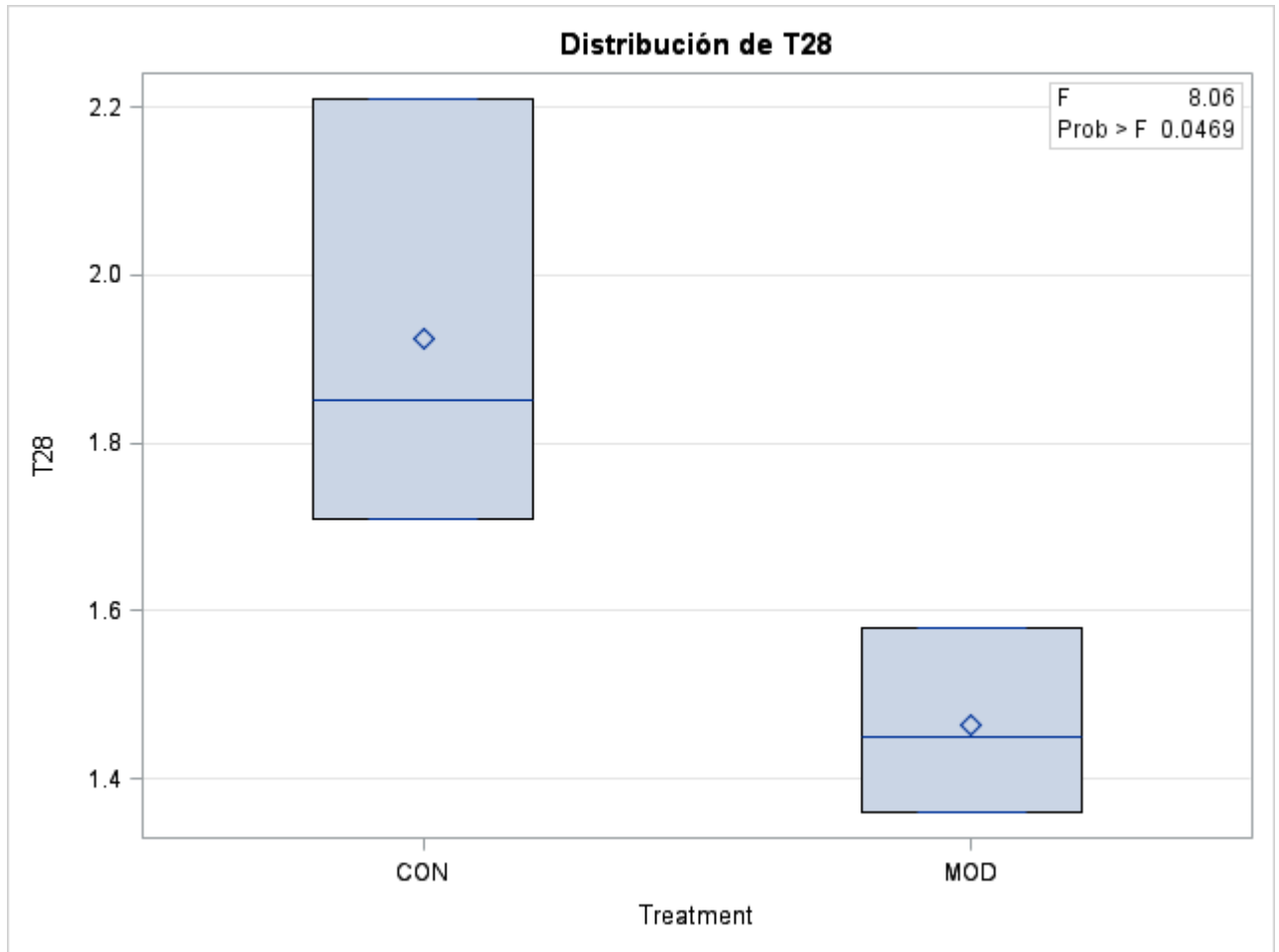
Variable dependiente: T28

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.31740000	0.31740000	8.06	0.0469
Error	4	0.15753333	0.03938333		
Total corregido	5	0.47493333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	T28 Media
0.668304	11.71963	0.198452	1.693333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.31740000	0.31740000	8.06	0.0469

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.31740000	0.31740000	8.06	0.0469



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: S0

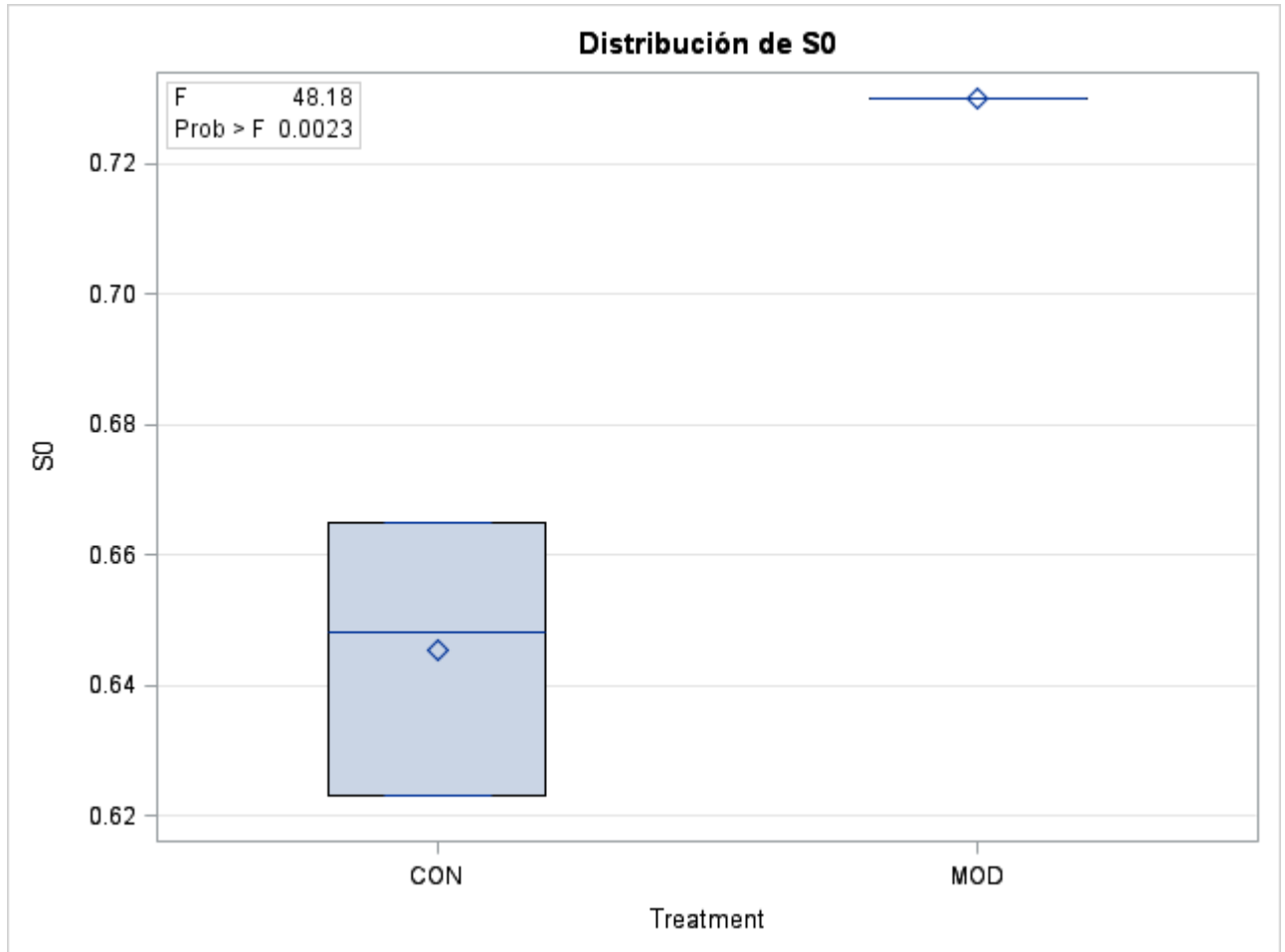
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.01075267	0.01075267	48.18	0.0023
Error	4	0.00089267	0.00022317		
Total corregido	5	0.01164533			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	S0 Media
0.923346	2.172384	0.014939	0.687667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.01075267	0.01075267	48.18	0.0023

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.01075267	0.01075267	48.18	0.0023



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: S7

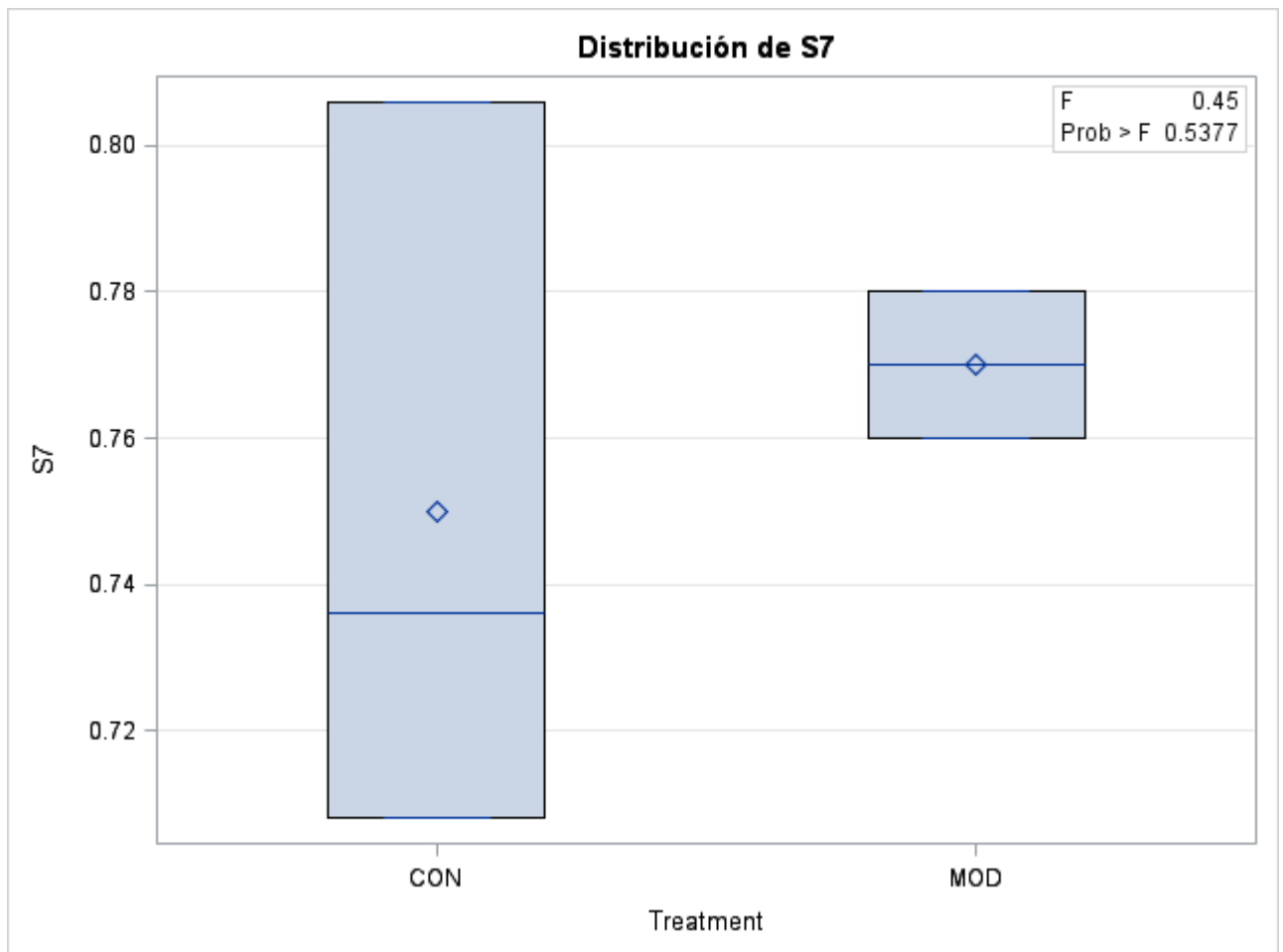
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.00060000	0.00060000	0.45	0.5377
Error	4	0.00529600	0.00132400		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	0.00589600			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	S7 Media
0.101764	4.787738	0.036387	0.760000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00060000	0.00060000	0.45	0.5377

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00060000	0.00060000	0.45	0.5377



Sistema SAS

Procedimiento GLM

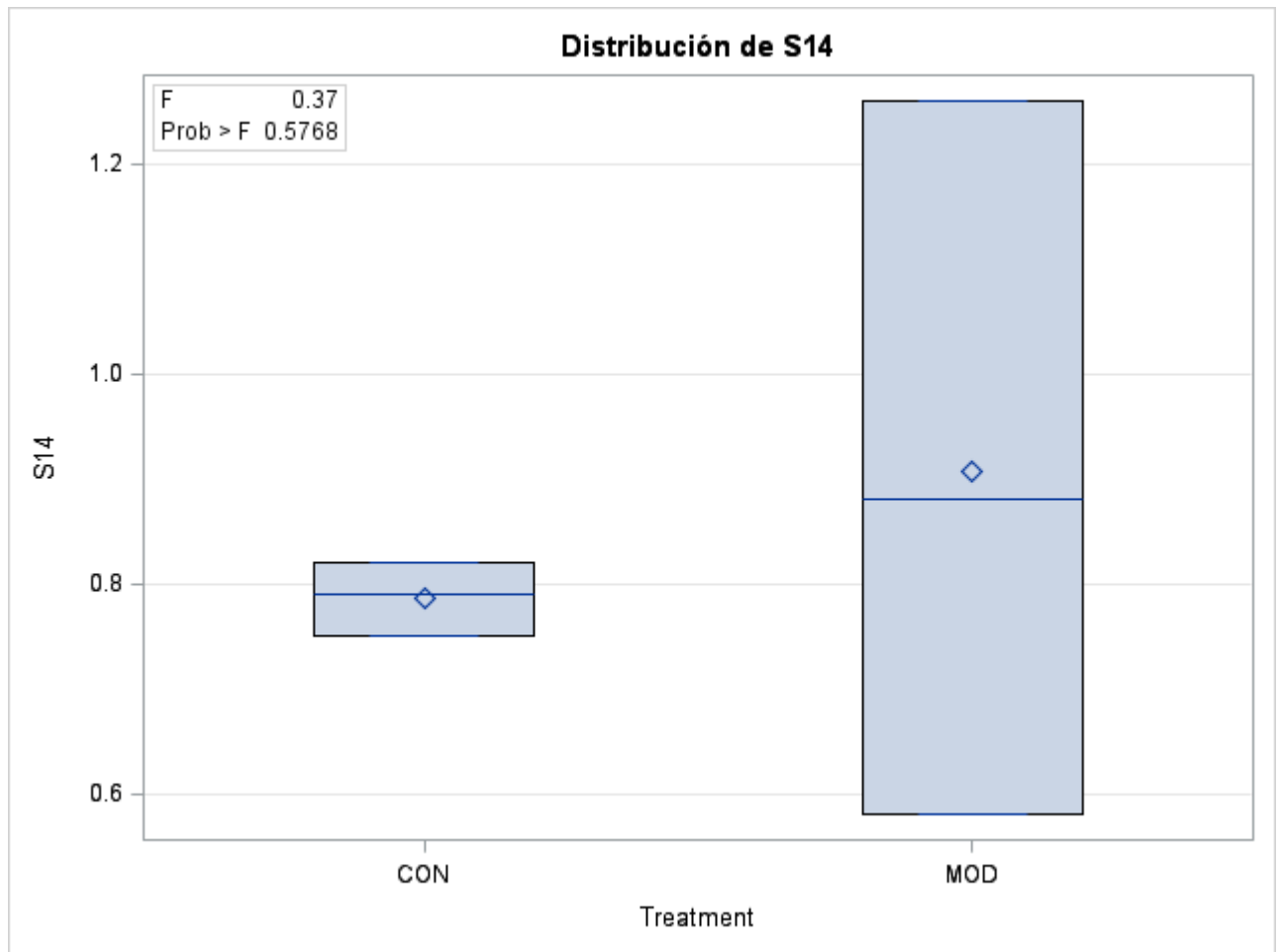
Variable dependiente: S14

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.02160000	0.02160000	0.37	0.5768
Error	4	0.23473333	0.05868333		
Total corregido	5	0.25633333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	S14 Media
0.084265	28.61178	0.242246	0.846667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.02160000	0.02160000	0.37	0.5768

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.02160000	0.02160000	0.37	0.5768



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: S21

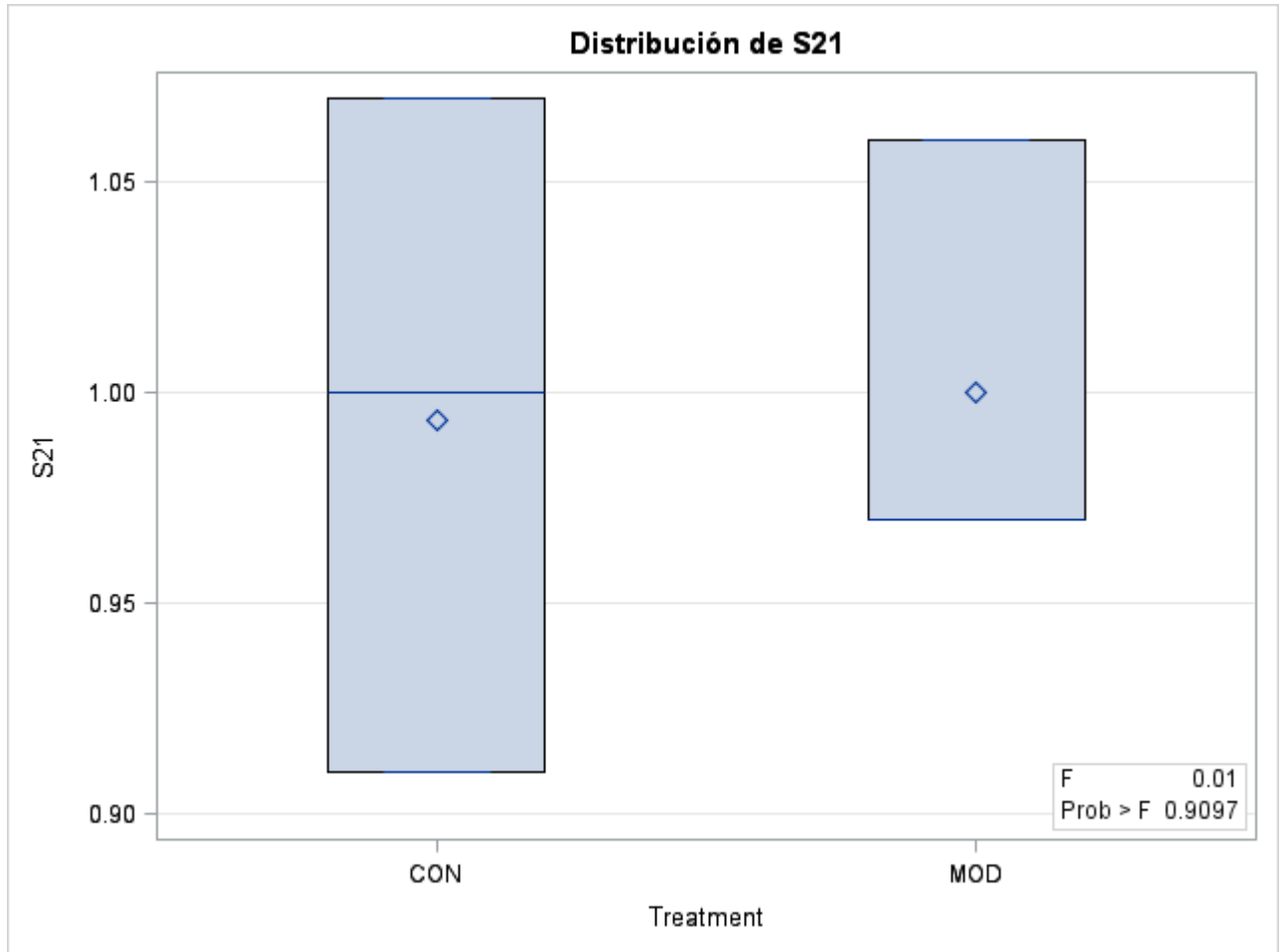
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.00006667	0.00006667	0.01	0.9097
Error	4	0.01826667	0.00456667		
Total corregido	5	0.01833333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	S21 Media
0.003636	6.780313	0.067577	0.996667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
---------------	-----------	------------------	-----------------------------	----------------	------------------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00006667	0.00006667	0.01	0.9097

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00006667	0.00006667	0.01	0.9097



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: S28

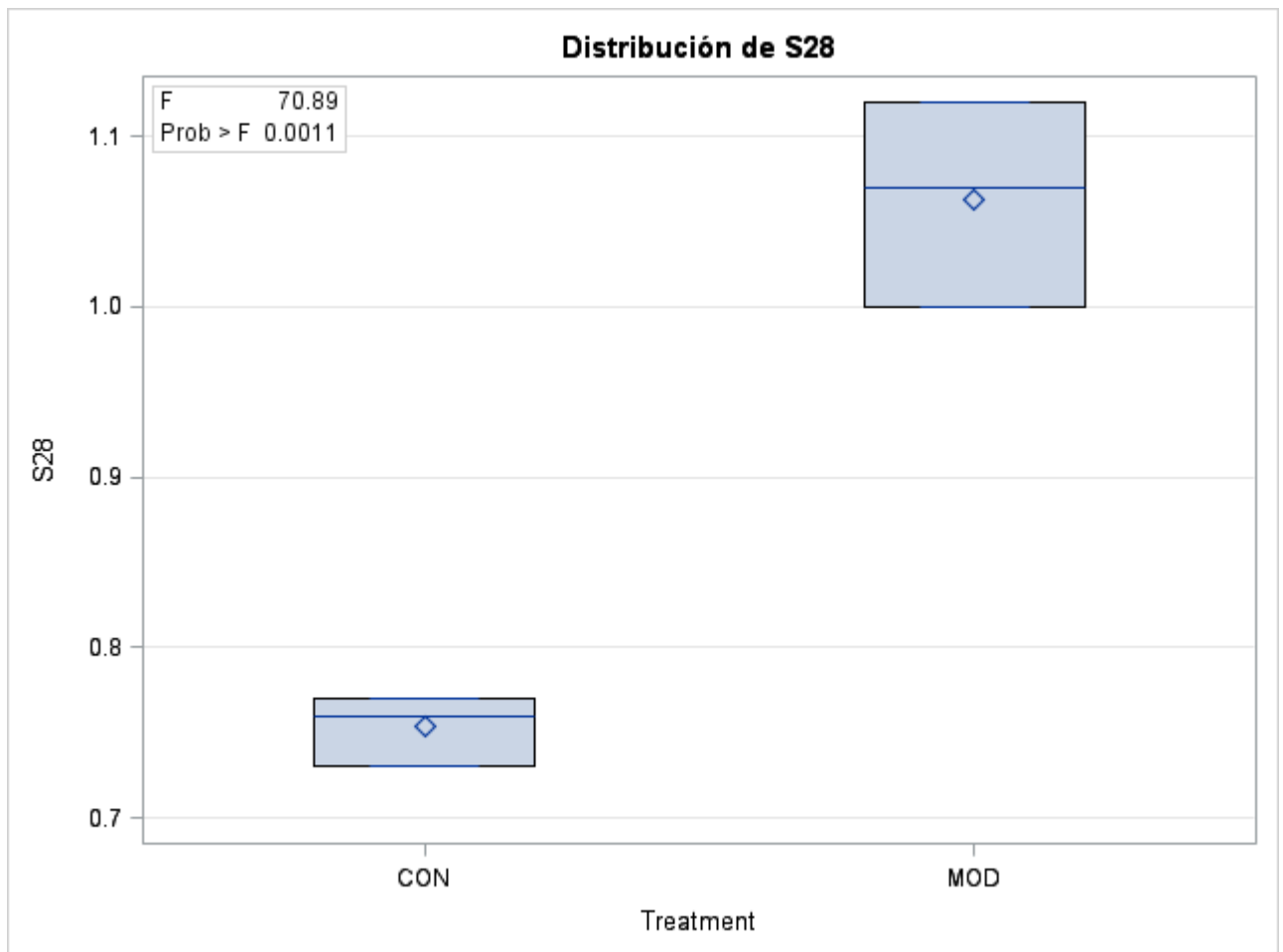
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.14415000	0.14415000	70.89	0.0011
Error	4	0.00813333	0.00203333		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	0.15228333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	S28 Media
0.946591	4.964312	0.045092	0.908333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.14415000	0.14415000	70.89	0.0011

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.14415000	0.14415000	70.89	0.0011



Sistema SAS

Procedimiento GLM
Análisis de medidas repetidas de la varianza

Información del nivel de medidas repetidas

Variable dependiente	L	L	L1	L2	L2	T	T	T1	T2	T2	S	S	S1	S2	S2
	0	7	4	1	8	0	7	4	1	8	0	7	4	1	8
Nivel de Response	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Nivel de Time	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Criterio de test MANOVA y estadísticos F exactos para la hipótesis de efecto no Response

H = Tipo III Matriz SSCP para Response

Matriz SSCP de error E =

S=1 M=0.5 N=0

Estadístico	Valor	F-Valor	Num DF	Den DF	Pr > F
Lambda de Wilks	0.0003416	1950.78	3	2	0.0005
Traza de Pillai	0.9996584	1950.78	3	2	0.0005
Traza Hotelling-Lawley	2926.1667896	1950.78	3	2	0.0005
Raíz más grande de Roy	2926.1667896	1950.78	3	2	0.0005

Criterio de test MANOVA y estadísticos F exactos para la hipótesis de efecto no Response*Treatment

H = Tipo III Matriz SSCP para Response*Treatment

Matriz SSCP de error E =

S=1 M=0.5 N=0

Estadístico	Valor	F-Valor	Num DF	Den DF	Pr > F
Lambda de Wilks	0.01454374	45.17	3	2	0.0217
Traza de Pillai	0.98545626	45.17	3	2	0.0217
Traza Hotelling-Lawley	67.75810046	45.17	3	2	0.0217
Raíz más grande de Roy	67.75810046	45.17	3	2	0.0217

Sistema SAS

Procedimiento GLM
Análisis de medidas repetidas de la varianza
Tests de hipótesis para efectos Between Subjects

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	13053.62448	13053.62448	220.52	0.0001
Error	4	236.77635	59.19409		

C. Análisis estadístico, Medidas repetidas con factor intrasujetos en Productividad

UNIVARIANTE

ALGORITMO

```
options ls=96;
data Trial;
  input Treatment $ Repetition X1 X2 X3      X4 X5 X6 X7 N1 N2 N3 N4 N5
N6 N7;
  datalines;
CON 1 1.45 15.84 37.29 20.86 9.53 5.76 1.45 1.76 4.43 7.41
2.04 0.82 0.12 0.08
CON 2 2.35 11.33 26.67 22.20 11.29 6.04 1.41 0.71 3.06 7.06
2.27 0.90 0.59 0.04
CON 3 2.39 15.18 15.49 23.37 8.08 5.18 1.49 1.14 3.84 3.73
1.65 0.59 0.59 0.08
MOD 1 1.73 7.42 14.04 12.80 15.96 12.67 10.93 0.36 0.62 1.38
1.51 6.67 8.27 5.07
MOD 2 2.44 10.98 17.42 14.40 17.47 10.89 8.49 0.80 0.93 1.73
3.24 10.49 11.51 5.11
MOD 3 1.78 10.04 14.62 11.60 16.27 5.29 7.56 0.76 1.56 4.44
6.27 10.40 12.67 4.58
;

proc glm data=Trial;
  class Treatment;
  model X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7 = Treatment;
  repeated Response 2 identity, Time 7;
run;
```

RESULTADO

Procedimiento GLM

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Treatment	2	CON MOD

Número de observaciones leídas 6

Número de observaciones usadas 6

Sistema SAS

Procedimiento GLM

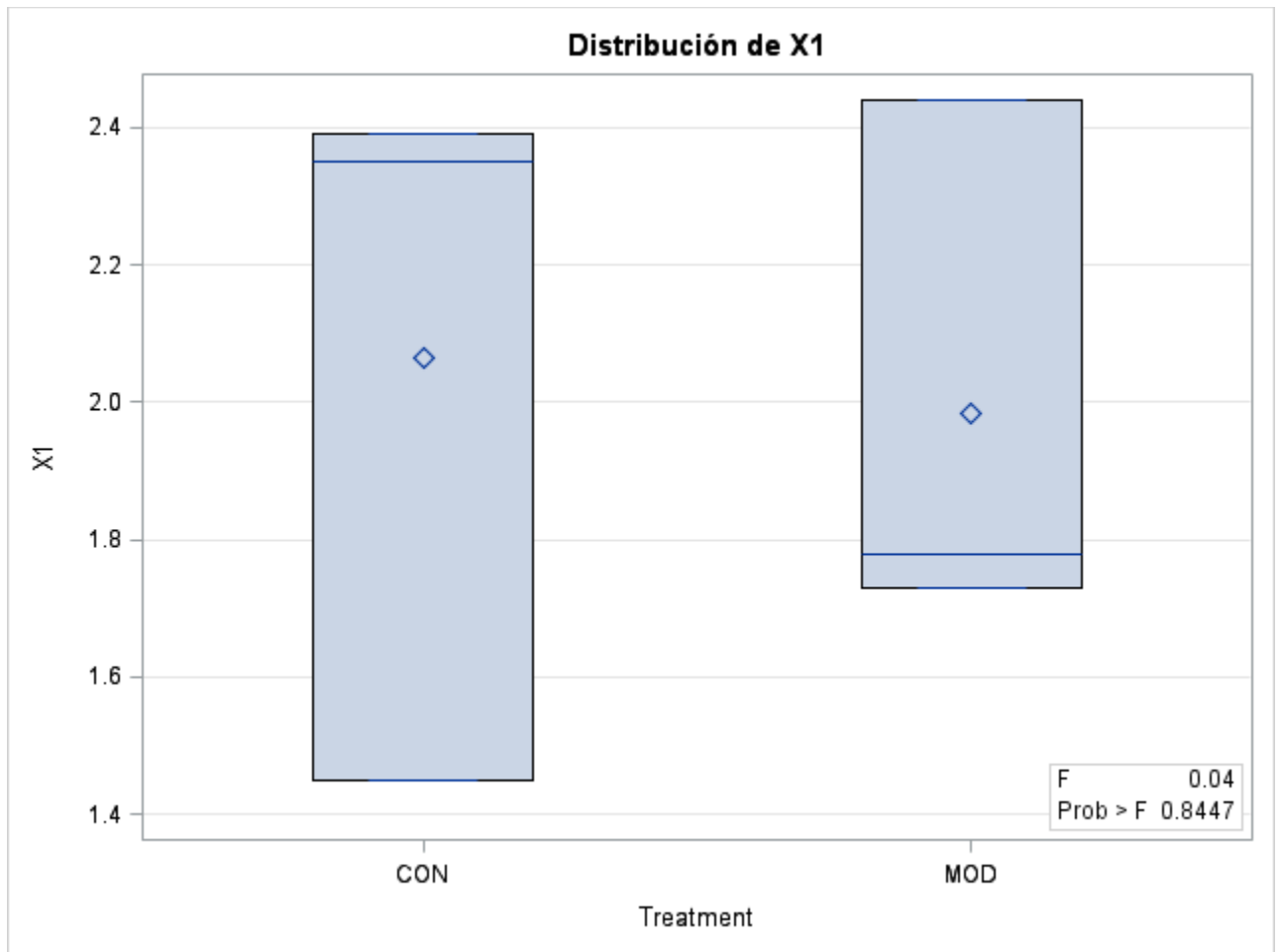
Variable dependiente: X1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.00960000	0.00960000	0.04	0.8447
Error	4	0.87913333	0.21978333		
Total corregido	5	0.88873333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X1 Media
0.010802	23.17021	0.468811	2.023333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00960000	0.00960000	0.04	0.8447

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.00960000	0.00960000	0.04	0.8447



Sistema SAS

Procedimiento GLM

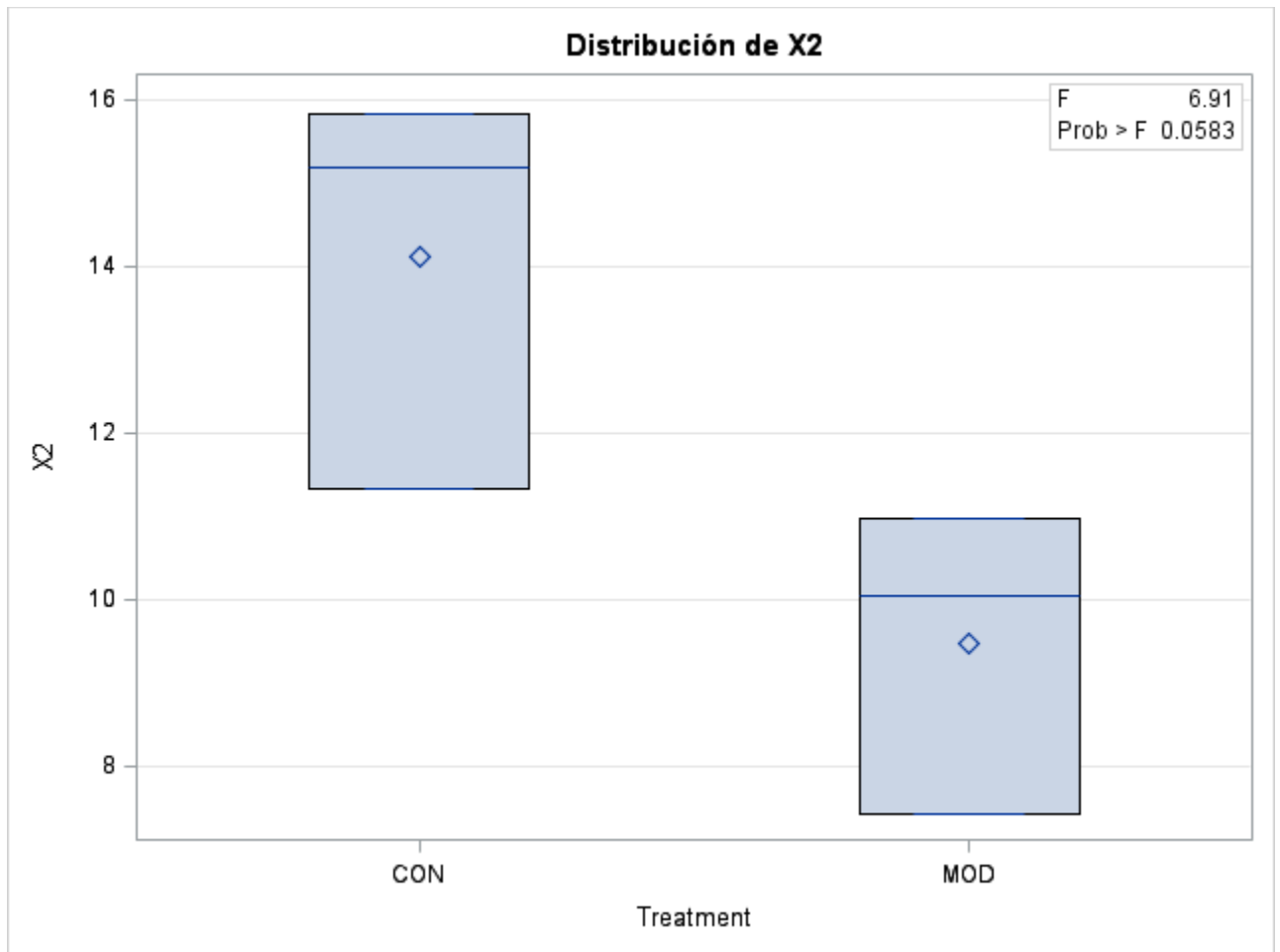
Variable dependiente: X2

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	32.24801667	32.24801667	6.91	0.0583
Error	4	18.67326667	4.66831667		
Total corregido	5	50.92128333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X2 Media
0.633292	18.31300	2.160629	11.79833

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	32.24801667	32.24801667	6.91	0.0583

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	32.24801667	32.24801667	6.91	0.0583



Sistema SAS

Procedimiento GLM

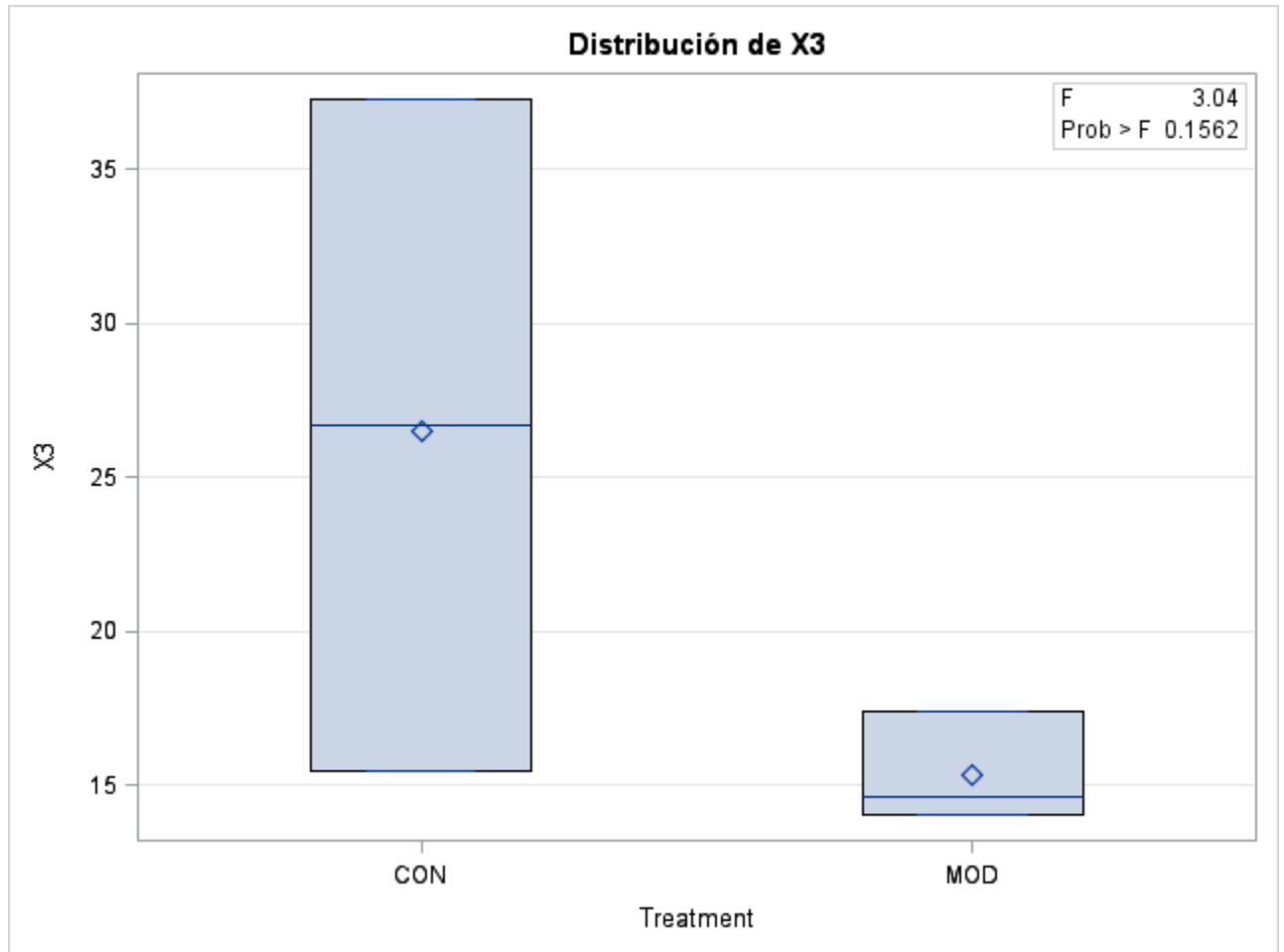
Variable dependiente: X3

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	185.5928167	185.5928167	3.04	0.1562
Error	4	244.2058667	61.0514667		
Total corregido	5	429.7986833			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X3 Media
0.431813	37.34666	7.813544	20.92167

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	185.5928167	185.5928167	3.04	0.1562

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	185.5928167	185.5928167	3.04	0.1562



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: X4

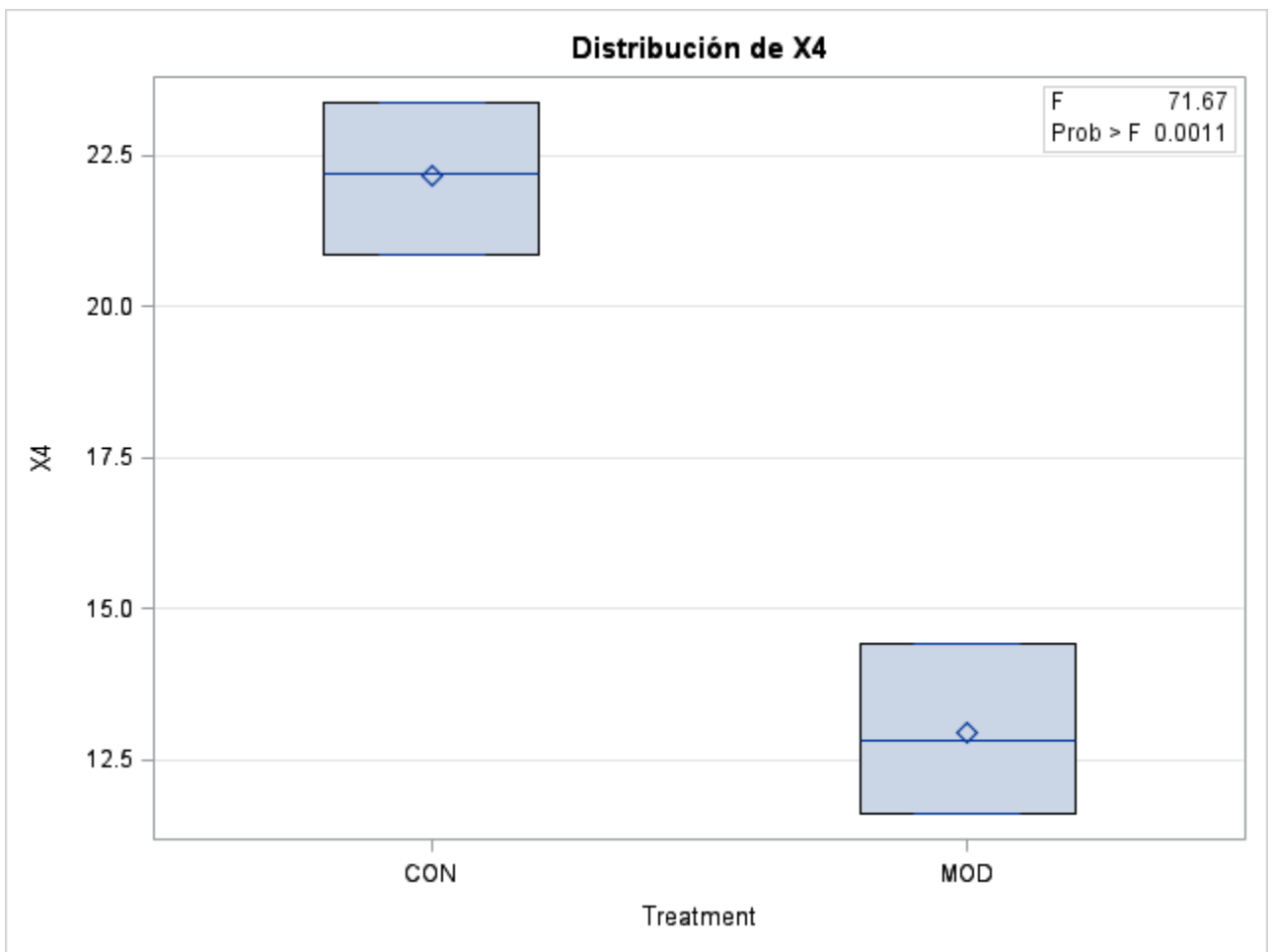
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	127.2361500	127.2361500	71.67	0.0011
Error	4	7.1015333	1.7753833		
Total corregido	5	134.3376833			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X4 Media
------------	----------	----------	----------

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X4 Media
0.947137	7.597273	1.332435	17.53833

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	127.2361500	127.2361500	71.67	0.0011

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	127.2361500	127.2361500	71.67	0.0011



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: X5

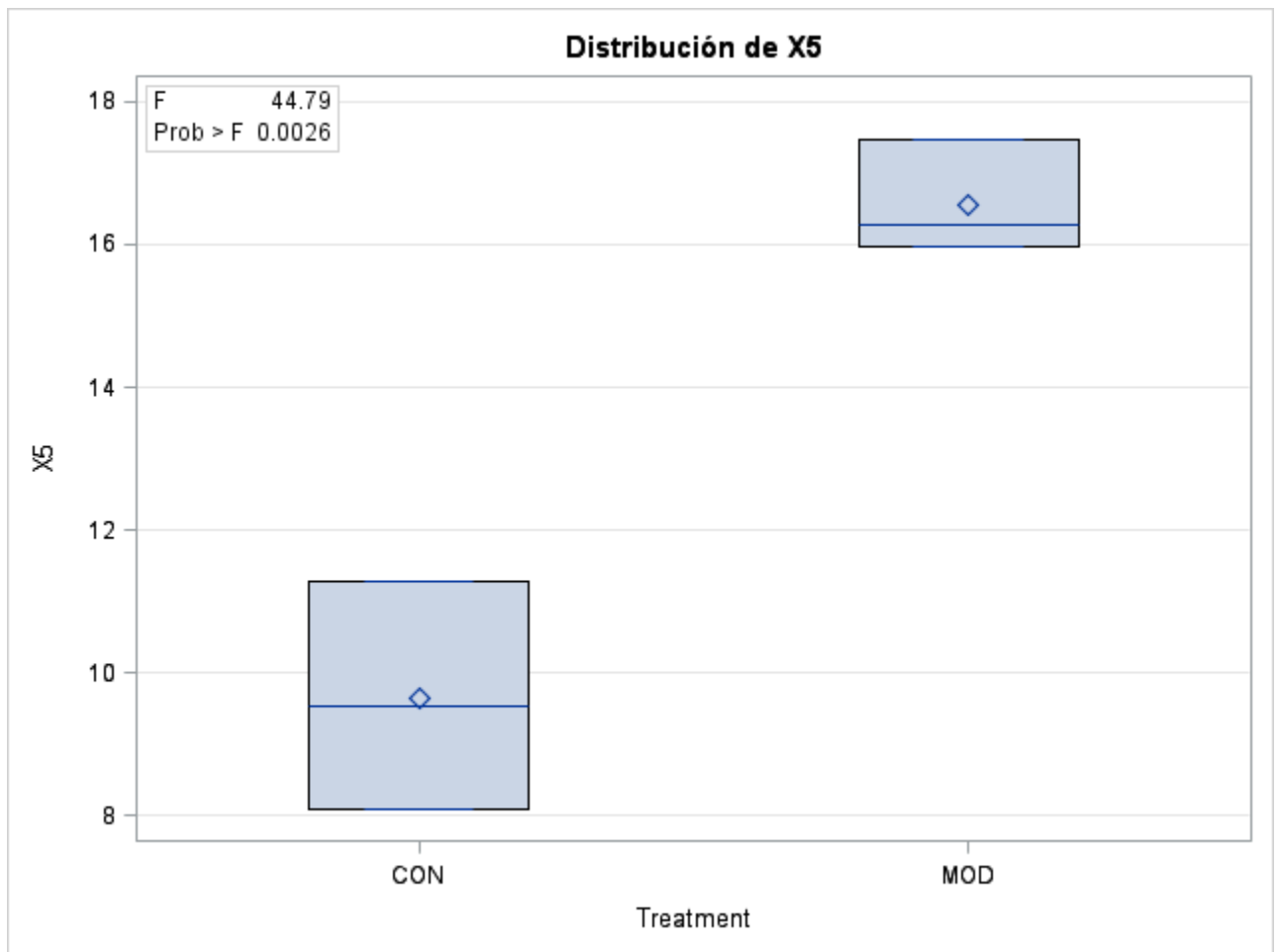
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	72.10666667	72.10666667	44.79	0.0026
Error	4	6.44013333	1.61003333		
Total corregido	5	78.54680000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X5 Media
0.918009	9.686037	1.268871	13.10000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	72.10666667	72.10666667	44.79	0.0026

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	72.10666667	72.10666667	44.79	0.0026



Sistema SAS

Procedimiento GLM

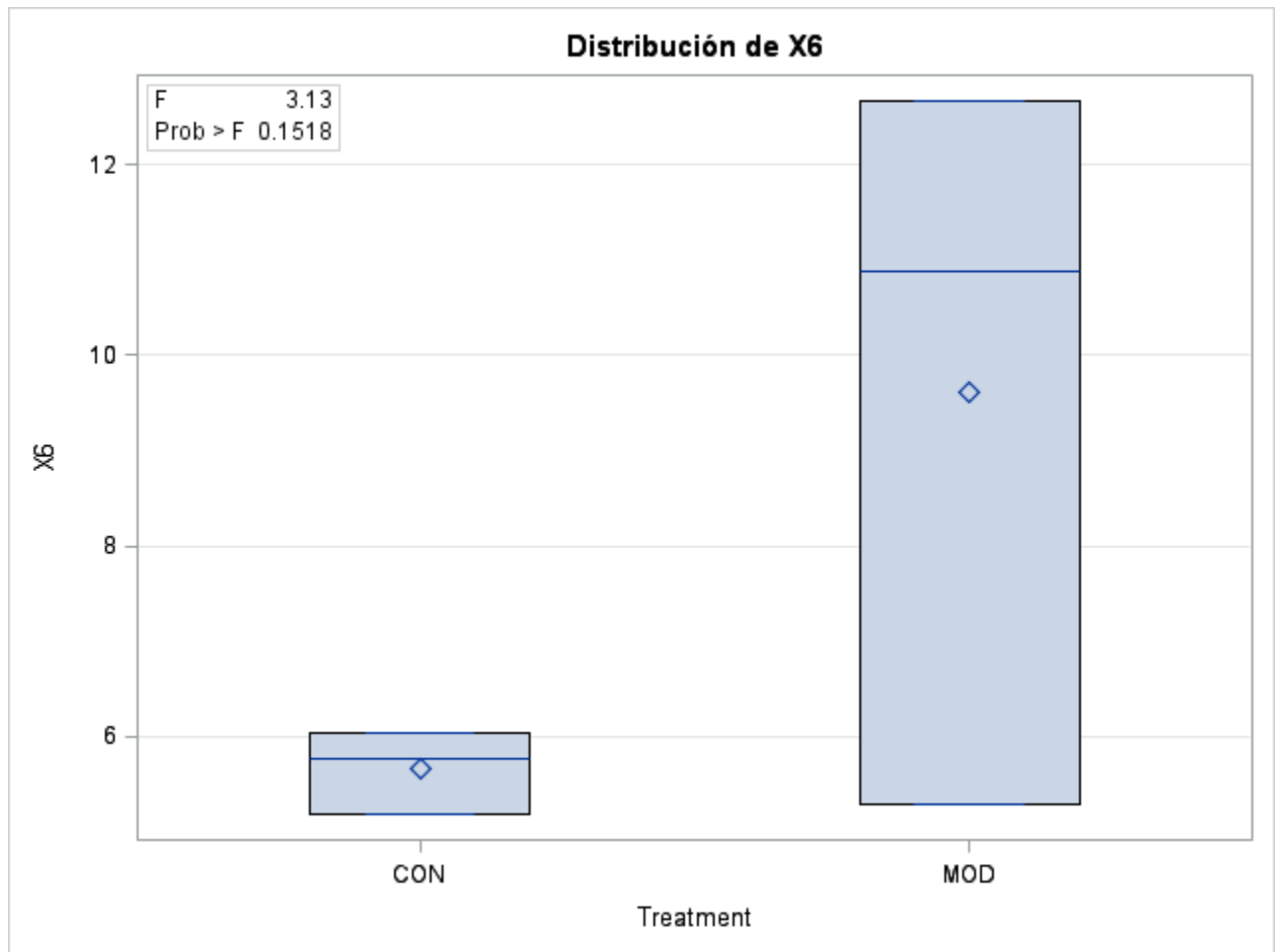
Variable dependiente: X6

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	23.48281667	23.48281667	3.13	0.1518
Error	4	30.04906667	7.51226667		
Total corregido	5	53.53188333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X6 Media
0.438670	35.88285	2.740851	7.638333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	23.48281667	23.48281667	3.13	0.1518

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	23.48281667	23.48281667	3.13	0.1518



Sistema SAS

Procedimiento GLM

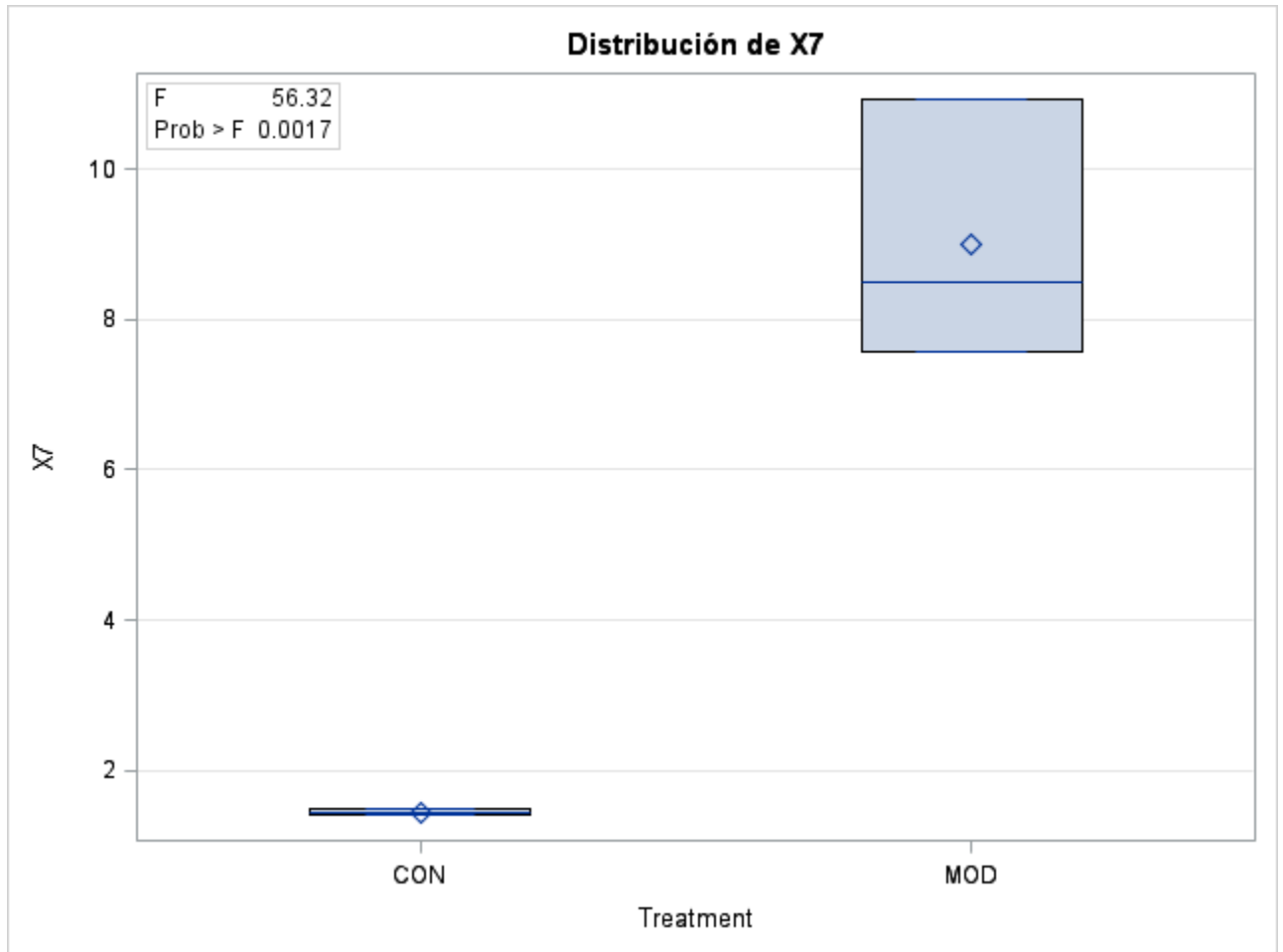
Variable dependiente: X7

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	85.35281667	85.35281667	56.32	0.0017
Error	4	6.06166667	1.51541667		
Total corregido	5	91.41448333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	X7 Media
0.933690	23.57528	1.231023	5.221667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	85.35281667	85.35281667	56.32	0.0017

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	85.35281667	85.35281667	56.32	0.0017



Sistema SAS

Procedimiento GLM

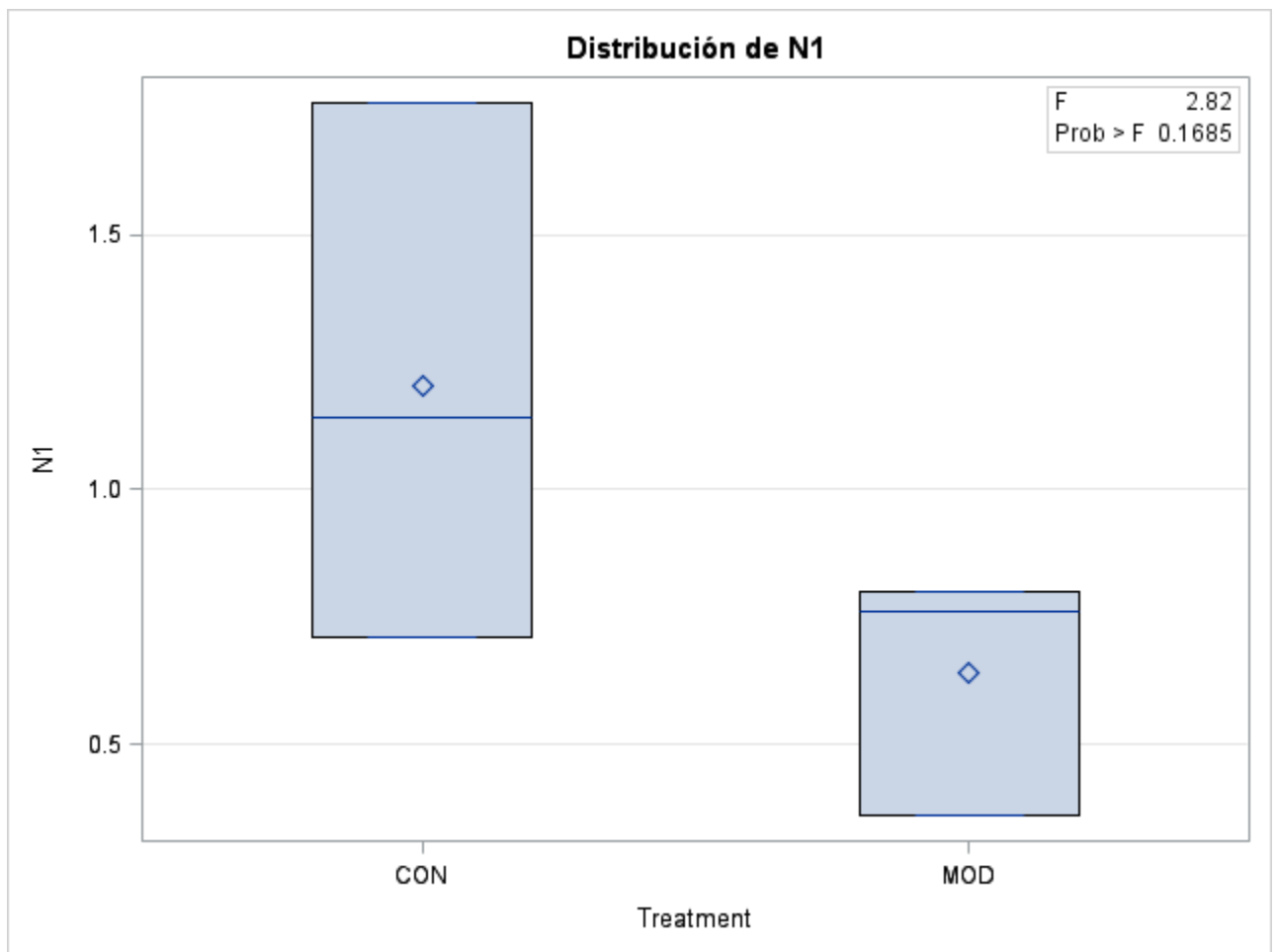
Variable dependiente: N1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	0.47601667	0.47601667	2.82	0.1685
Error	4	0.67566667	0.16891667		
Total corregido	5	1.15168333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N1 Media
0.413323	44.59256	0.410995	0.921667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.47601667	0.47601667	2.82	0.1685

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	0.47601667	0.47601667	2.82	0.1685



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: N2

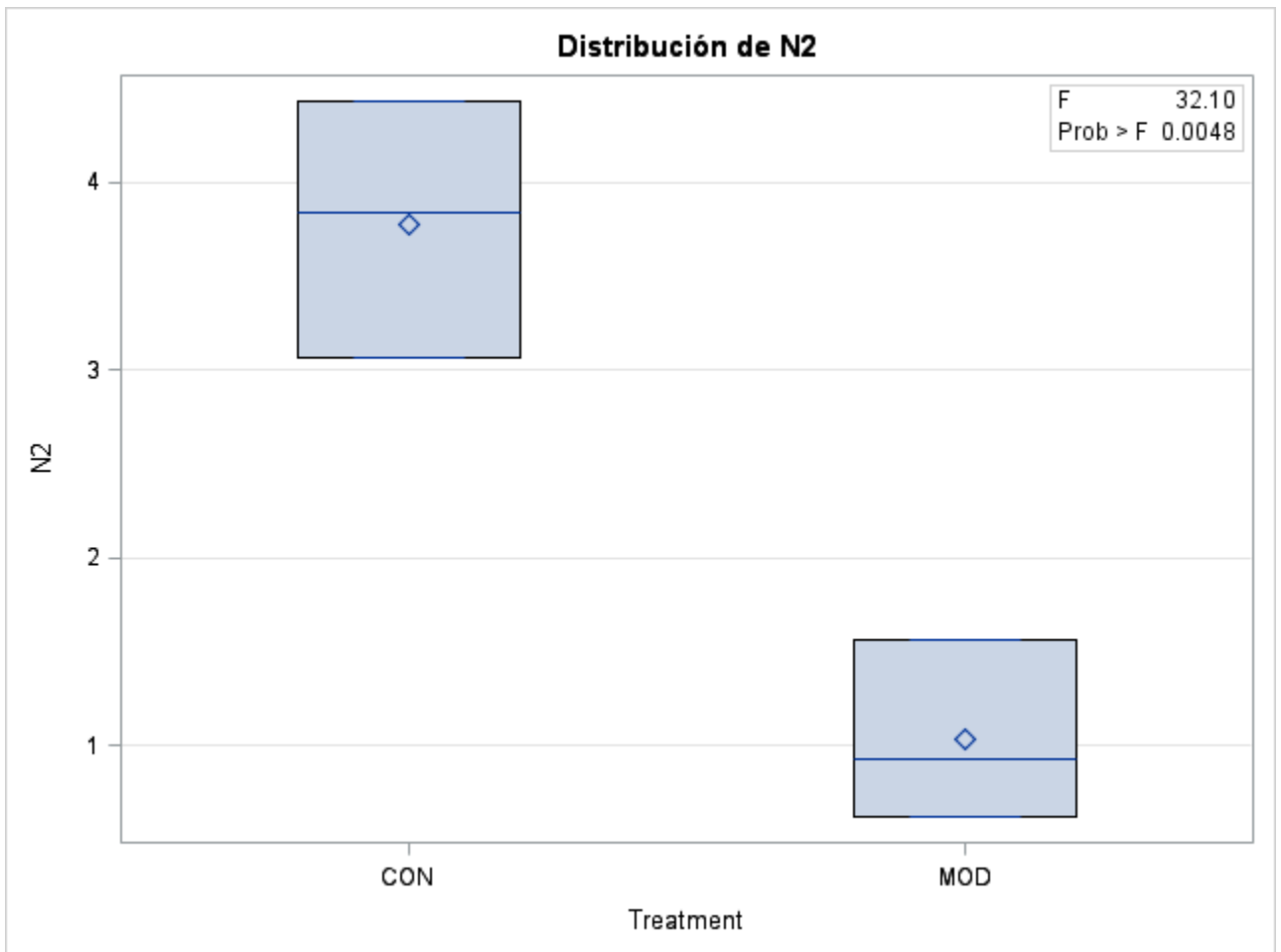
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	11.26140000	11.26140000	32.10	0.0048
Error	4	1.40333333	0.35083333		
Total corregido	5	12.66473333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N2 Media
0.889194	24.61130	0.592312	2.406667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	11.26140000	11.26140000	32.10	0.0048

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	11.26140000	11.26140000	32.10	0.0048



Sistema SAS

Procedimiento GLM

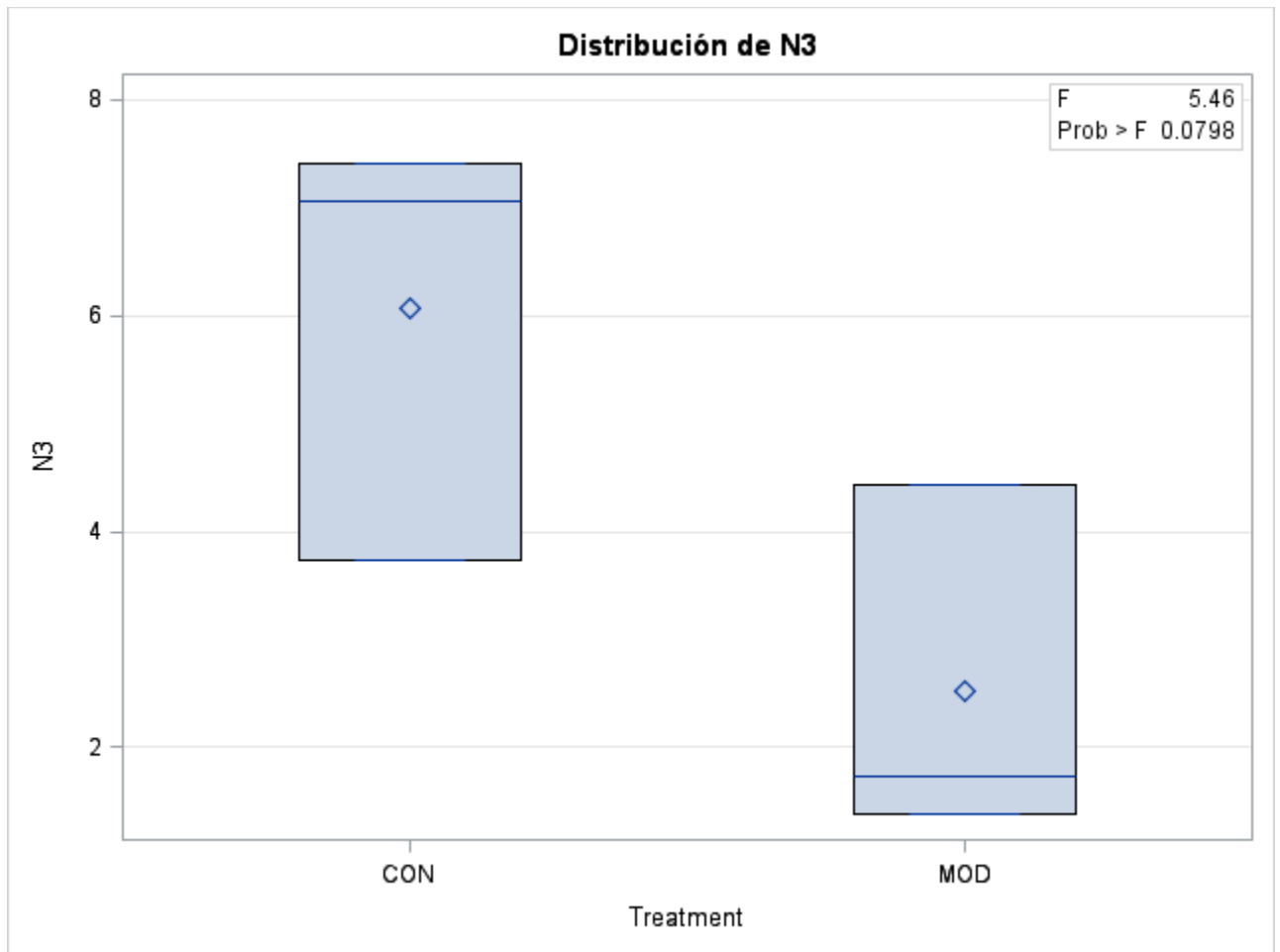
Variable dependiente: N3

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	18.90375000	18.90375000	5.46	0.0798
Error	4	13.86133333	3.46533333		
Total corregido	5	32.76508333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N3 Media
0.576948	43.37570	1.861541	4.291667

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	18.90375000	18.90375000	5.46	0.0798

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	18.90375000	18.90375000	5.46	0.0798



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: N4

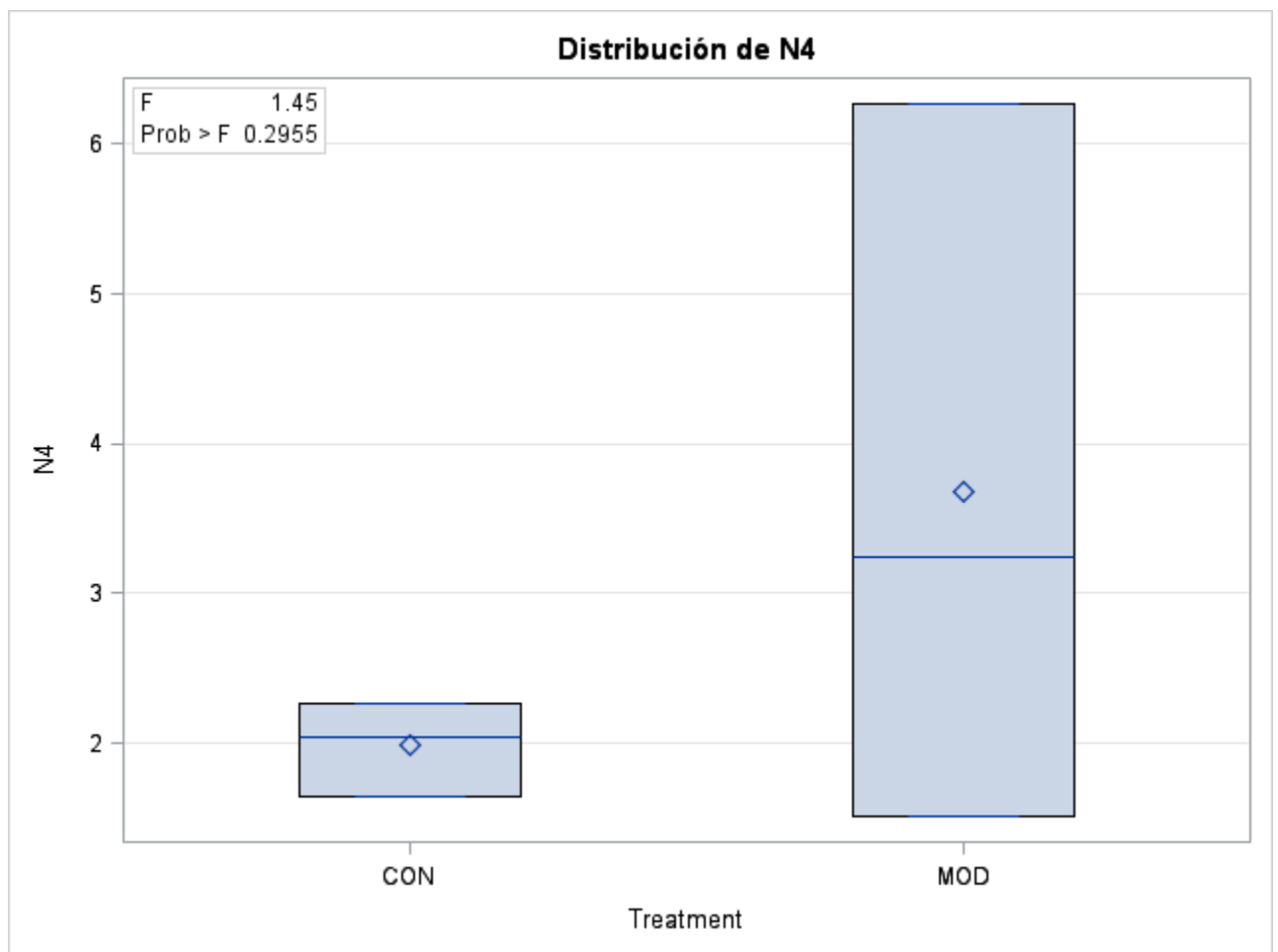
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	4.26726667	4.26726667	1.45	0.2955
Error	4	11.80693333	2.95173333		
Total corregido	5	16.07420000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N4 Media
0.265473	60.70887	1.718061	2.830000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	4.26726667	4.26726667	1.45	0.2955

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	4.26726667	4.26726667	1.45	0.2955



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: N5

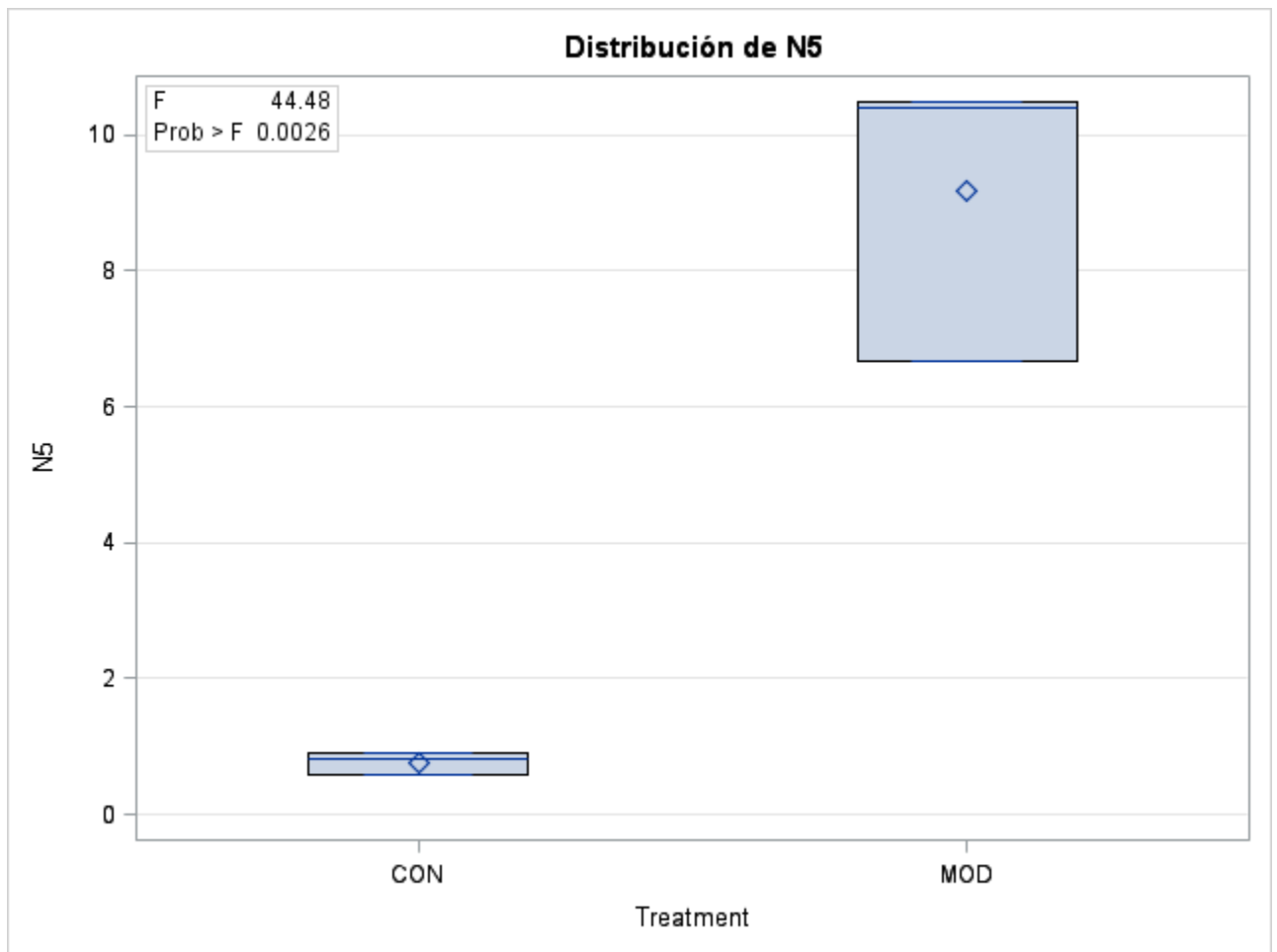
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	106.2604167	106.2604167	44.48	0.0026
Error	4	9.5562667	2.3890667		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	5	115.8166833			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N5 Media
0.917488	31.04775	1.545661	4.978333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	106.2604167	106.2604167	44.48	0.0026

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	106.2604167	106.2604167	44.48	0.0026



Sistema SAS

Procedimiento GLM

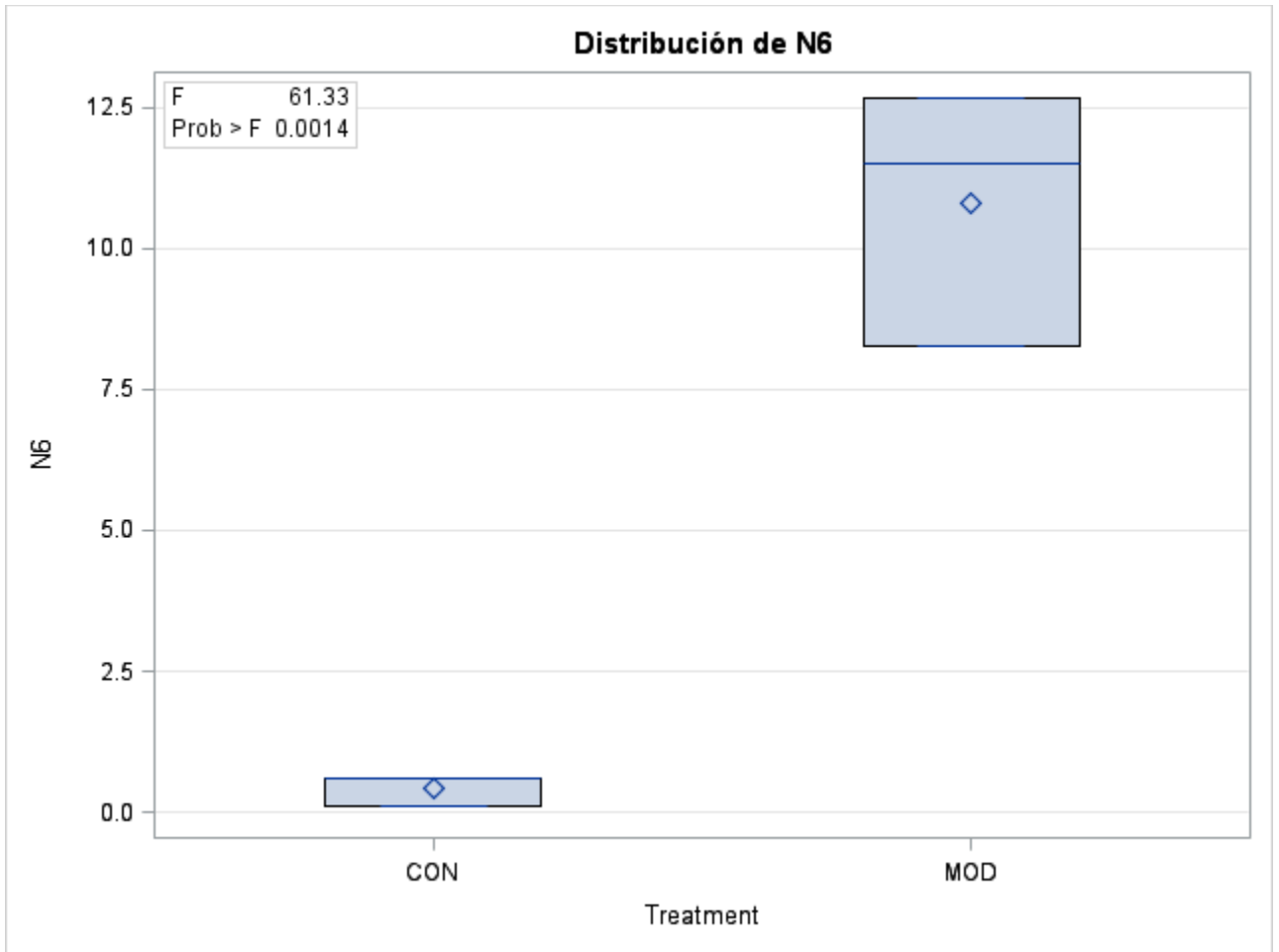
Variable dependiente: N6

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	161.7204167	161.7204167	61.33	0.0014
Error	4	10.5483333	2.6370833		
Total corregido	5	172.2687500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N6 Media
0.938768	28.86951	1.623910	5.625000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	161.7204167	161.7204167	61.33	0.0014

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	161.7204167	161.7204167	61.33	0.0014



Sistema SAS

Procedimiento GLM

Variable dependiente: N7

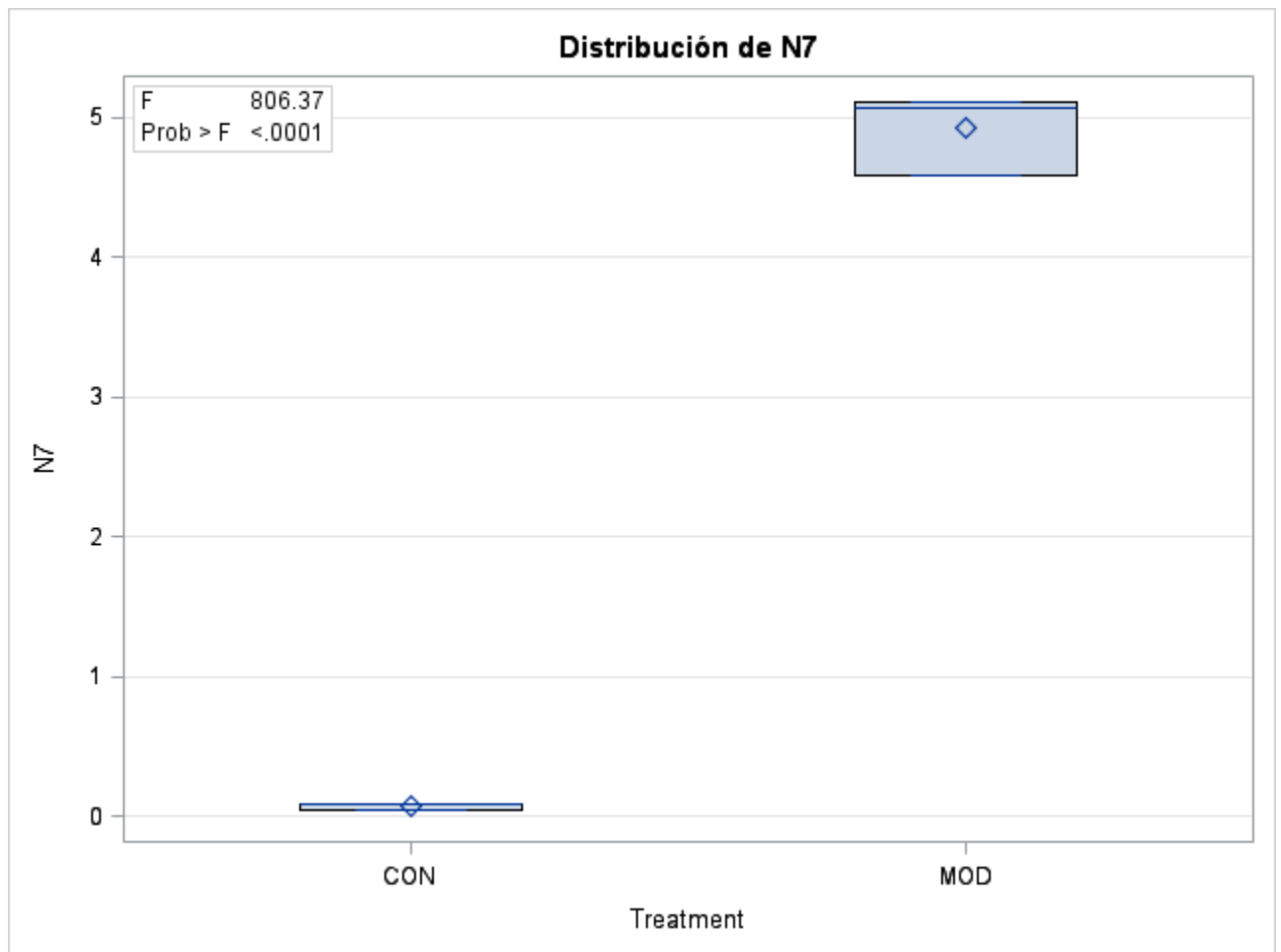
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	35.33226667	35.33226667	806.37	<.0001
Error	4	0.17526667	0.04381667		
Total corregido	5	35.50753333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N7 Media
0.995064	8.395360	0.209324	2.493333

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-----------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	35.33226667	35.33226667	806.37	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	35.33226667	35.33226667	806.37	<.0001



Sistema SAS

Procedimiento GLM
Análisis de medidas repetidas de la varianza

Información del nivel de medidas repetidas

Variable dependiente	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
Nivel de Response	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Nivel de Time	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7

Criterio de test MANOVA y estadísticos F exactos para la hipótesis de efecto no Response

H = Tipo III Matriz SSCP para Response

Matriz SSCP de error E =

S=1 M=0 N=0.5

Estadístico	Valor	F-Valor	Num DF	Den DF	Pr > F
Lambda de Wilks	0.00736324	202.21	2	3	0.0006
Traza de Pillai	0.99263676	202.21	2	3	0.0006
Traza Hotelling-Lawley	134.80980628	202.21	2	3	0.0006
Raíz más grande de Roy	134.80980628	202.21	2	3	0.0006

Criterio de test MANOVA y estadísticos F exactos para la hipótesis de efecto no Response*Treatment

H = Tipo III Matriz SSCP para Response*Treatment

Matriz SSCP de error E =

S=1 M=0 N=0.5

Estadístico	Valor	F-Valor	Num DF	Den DF	Pr > F
Lambda de Wilks	0.22479470	5.17	2	3	0.1066
Traza de Pillai	0.77520530	5.17	2	3	0.1066
Traza Hotelling-Lawley	3.44850354	5.17	2	3	0.1066
Raíz más grande de Roy	3.44850354	5.17	2	3	0.1066

Sistema SAS

Procedimiento GLM
Análisis de medidas repetidas de la varianza
Tests de hipótesis para efectos Between Subjects

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Treatment	1	15.09609643	15.09609643	1.78	0.2529
Error	4	33.90702381	8.47675595		