

UNIVERSIDAD NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MAR  
ESCUELA CIENCIAS AGRARIAS

**EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UNA  
PLANTACIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica*) CON Y SIN SOMBRA  
DE MORINGA (*Moringa oleífera*) BAJO FERTILIZACIÓN  
ORGÁNICA Y MINERAL EN LA FINCA EXPERIMENTAL  
SANTA LUCÍA EN BARVA DE HEREDIA**

Trabajo final de graduación bajo la modalidad de tesis de grado sometida a consideración del Tribunal  
Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería Agronómica

**Diana Espinoza Ballesteros**

Heredia, Costa Rica

Noviembre, 2020

Trabajo final de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería Agronómica  
Tribunal Examinador

---

Dr. Grace Wong Reyes  
Decana de Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

Dr. Rafael Evelio Granados Carvajal  
Director de Escuela de Ciencias Agrarias

---

Dr. Jorge Herrera Murillo  
Tutor de Tesis

---

Lic. Ellen Sancho Barrantes  
Lectora

---

Dr. Eduardo Salas Alvarado  
Lector

---

Diana Espinoza Ballesteros  
Postulante

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de graduación representa la culminación de una etapa de mi formación académica y personal la dedico a dos mujeres que marcaron este período de mi vida, en primer lugar, a mi madre Marta Balletero Víquez por darme la vida y todas las herramientas necesarias para que pudiera estudiar, por ser siempre luz en mi camino y también a la académica Ellen Sancho Barrantes por ser profesora y amiga durante todos estos años.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi madre Marta Ballestero Víquez y a mi padre Norman Espinoza Castro por haber trabajado día y noche para que mi hermana y yo pudiéramos estudiar y nunca nos faltara nada, sin duda cada logro de ambas también es de ustedes.

A mi hermana Mónica Espinoza Ballestero por siempre haber estado atenta en mis años de Universidad a cualquier necesidad que yo tuviera.

Gracias a la académica Ellen Sancho Barrantes, por haberme acompañado no solo en la elaboración de mi trabajo de graduación, sino en toda mi carrera universitaria y formación personal, por enseñarme de agronomía y de la vida por ayudarme a entender que el mundo es mucho más grande de lo que logramos ver.

Gracias al Dr. Jorge Herrera Murillo por haber aceptado desde el primer momento a ser mi tutor del trabajo de graduación, por el tiempo que dedico y todo lo que me enseñó.

A mi lector del trabajo, el Dr. Eduardo Salas, por todo el valioso tiempo que invirtió en este trabajo y las enseñanzas brindadas.

Agradezco a las personas involucradas en el Proyecto de café UNA por haber colaborado en cada una de las tareas agrícolas de la parcela y en las capturas de gases. También al personal del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA, por lo enseñado y colaborado en el procesamiento de las muestras.

## INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO II.....	5
1. MARCO TEÓRICO .....	5
1.1 Cambio climático .....	5
1.2 Gases de efecto invernadero .....	6
1.3 Medición de los gases de efecto invernadero .....	9
1.4 Café a nivel mundial .....	10
1.5 Café en Costa Rica .....	11
1.6 Fertilización en plantaciones de café .....	12
1.7 Sombra en sistemas cafetaleros .....	13
1.8 <i>Moringa oleifera</i> .....	15
CAPÍTULO III .....	17
1. METODOLOGÍA .....	17
1.1 Localización del experimento .....	17
1.2 Prácticas agronómicas utilizadas en la plantación .....	17
1.3 Diseño de la investigación.....	19
1.4 Cámara de captura de gas.....	23
1.5 Método de medición de los GEI .....	25
1.6 Medición de variables climáticas.....	25
1.7 Análisis en laboratorio .....	26

1.8	Análisis estadístico.....	26
CAPITULO IV .....		28
1.	RESULTADOS.....	28
1.1	Comportamiento del dióxido de carbono .....	28
1.2	Comportamiento del Metano .....	30
1.3	Comportamiento de Óxido nitroso.....	31
1.4	Óxido nitroso .....	31
1.5	Regresiones para el Dióxido de Carbono .....	32
1.6	Regresiones para el Metano .....	34
1.7	Regresiones para el Óxido Nitroso.....	36
CAPITULO V.....		40
1.	DISCUSIÓN .....	40
1.1	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	40
1.2	Metano.....	42
1.3	Óxido Nitroso.....	43
CAPITULO VI .....		45
1.	CONCLUSIONES .....	45
2.	RECOMENDACIONES .....	48
CAPITULO VII.....		50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		50
CAPITULO VIII.....		57
ANEXOS .....		57

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre la técnica de la cámara estética y la técnica micrometeorológica.....	10
Tabla 2. Composición química de los fertilizantes orgánicos utilizados en los tratamientos orgánicos.....	20
Tabla 3. Metodologías en laboratorio para el análisis de cada gas.....	25
Tabla 4. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para CO <sub>2</sub> .....	37
Tabla 5. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para CH <sub>4</sub> y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO <sub>2</sub> eq).....	38
Tabla 6. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para N <sub>2</sub> O y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO <sub>2</sub> eq).....	38

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis del área con sombra de moringa ( <i>Moringa oleifera</i> ).....	21
Figura 2. Área sin sombra, de la plantación experimental.....	22
Figura 3. Cámara de gas en posición de captura y extracción de muestra.....	23
Figura 4. Representación de la ubicación de la cámara en los tratamientos sometidos a sombra.....	23
Figura 5. Representación de la ubicación de la cámara en los tratamientos sin sombra.....	24
Figura 6. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del CO <sub>2</sub> en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.....	28
Figura 7. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento de CH <sub>4</sub> en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.....	29
Figura 8. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del N <sub>2</sub> O en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.....	31
Figura 9. Regresiones de mejor ajuste para el CO <sub>2</sub> en cada fertilización para cada tratamiento.....	32
Figura 10. Regresiones de mejor ajuste para el CH <sub>4</sub> en cada fertilización para cada tratamiento.....	34
Figura 11. Regresiones de mejor ajuste para el N <sub>2</sub> O en cada fertilización para cada tratamiento.....	36



## RESUMEN

Se realizó una comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociados a dos patrones de fertilización (orgánica y mineral) en una plantación de café (*Coffea arabica*) variedad Obatá con y sin sombra de Moringa (*Moringa oleifera*) en la Finca Experimental Santa Lucía en Barva de Heredia, Costa Rica.

Para cada uno de los tratamientos T1: con sombra, fertilización orgánica, T2: con sombra fertilización mineral, T3: sin sombra, fertilización orgánica, T4: sin sombra, fertilización mineral se midieron los flujos de emisión de tres diferentes gases: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). En el año 2018 se realizaron tres fertilizaciones (mineral y orgánica) y cada vez que se fertilizo se realizo muestreo de gases de efecto invernadero con la técnica de cámaras cerradas para su posterior análisis por cromatografía de gases.

Las tomas de muestras de gases se realizaron durante las tres fertilizaciones anuales, a los días 0, 5, 15 y 30 posteriores a la aplicación. Para cada muestra, se extrajeron submuestras de gases de la cámara al minuto 0, 10, 20 y 30 minutos después de colocada la cámara. Además se hizo una relación de la emisión con variables climáticas como la temperatura, la humedad y la precipitación.

Se obtuvieron comportamientos distintos para cada gas. La relación de la sombra con las emisiones de los gases fue baja. Al comparar los diferentes tipos de fertilizaciones, las emisiones fueron superiores en tratamientos sometidos a fertilizantes orgánicos respecto a las de la fertilización mineral. Únicamente las emisiones de dióxido de carbono, correlacionaron con factores climáticos, registrando una mayor emisión con el incremento de la temperatura.

## **ABSTRACT**

The green-house gas emissions of two fertilization patterns (organic and mineral), with or without shade of Moringa (*Moringa oleifera*), were compared in a coffee plantation (*Coffea arabica*), Obata variety, in the Santa Lucía Experimental Farm in Barva, Heredia, Costa Rica.

Three different gases: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrate oxide (N<sub>2</sub>O), were measured for each one of four treatments: organic fertilization with shade (T1), mineral fertilization with shade (T2), organic fertilization without shade (T3) and mineral fertilization without shade (T4).

Gas samples were taken during the three annual fertilizations on days 0, 5, 15 and 30, right after application. Sub-samples from each sample were extracted on minute 0, 10, 20 and 30, right after the trap chamber was set. Emissions were also related to climate variables as temperature, humidity and precipitation.

Different outcomes were obtained for each gas. Gas emissions were lower under shade. Regarding types of fertilization, emissions were higher in organic treatments compared to mineral fertilization. Only carbon dioxide emissions were found correlated with climate factors, registering higher values as temperature increased.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola constituye un emisor neto de gases de efecto invernadero (GEI) y es uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático. Este sector enfrenta el doble desafío de reducir considerablemente sus emisiones de GEI y de aumentar la producción en un 70 % entre el 2005 y 2050 (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2014).

Los Gases de efecto invernadero más importantes son el vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), siendo estos generados mayoritariamente por las actividades antropogénicas (Segura y Andrade, 2012).

En diferentes partes del mundo, se están realizando esfuerzos para establecer políticas orientadas al desarrollo de inventarios de emisiones de GEI cada vez más precisos, para cada uno de sus sectores productivos, como base para determinar el potencial real de mitigación por sector y así poder priorizar de mejor forma el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones (Herrera J; Rojas J; Rodríguez S; Rojas A y Beita V; 2016).

Una de las principales fuentes de emisión en monocultivos como el café, son las fertilizaciones, en su mayoría nitrogenadas, o en algunos casos las enmiendas orgánicas que también tienen una contribución importante en las emisiones. Según datos del proyecto de Nationally Appropriate Mitigation Actions en café (2018a), en Costa Rica el sector cafetalero es el responsable de la mayoría de las emisiones provenientes del sector agropecuario y, aún persisten productores o productoras que manejan planes de fertilización nitrogenada ineficientes, utilizando dosis incorrectas y sin manejar los tiempos adecuados

de fertilización, lo que resulta en contaminación ambiental y un aumento en los costos de producción. La producción de café en Costa Rica representa un 9% de las emisiones nacionales de GEI de Costa Rica para el 2018 (NAMA, 2018b).

Algunos países productores están enfrentando el reto de este cambio climático que se ha manifestado principalmente en un incremento de la temperatura promedio. La situación forzaría a los caficultores y caficultoras a adaptarse a las nuevas condiciones del tiempo adoptando, prácticas que minimicen los efectos (Monroig, 2016).

Los sistemas Agroforestales con Café (SAFC) constituyen un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo, el agua, el aumento y mantenimiento de la producción para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico. Los SAFC representa una estrategia de mitigación de emisiones GEI en el manejo del cultivo, compensando las emisiones en el proceso productivo en las fincas cafeteras (Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, sf).

Teniendo en cuenta los probables impactos del cambio climático y crecimiento poblacional, un desafío clave para lograr esa intensificación sostenible es desarrollar sistemas agrícolas que produzcan mayores rendimientos sin aumentos asociados en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para alcanzar este objetivo, es necesario comprender completamente el tipo, cantidades y comportamiento de las fuentes emisoras de GEI (Nojonen *et al*, 2012).

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una evaluación de las emisiones de los principales GEI; metano, dióxido de carbono y óxido nitroso, en una plantación de café (*Coffea arabica*) con sombra y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*), bajo dos sistemas distintos de fertilización: mineral y orgánica, además se relacionó la emisión con variables climáticas. Esto con el fin de determinar el efecto de diversas variables como sombra, el tipo de fertilización y el efecto clima sobre las emisiones de GEI.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café con y sin sombra de *Moringa oleífera*, bajo dos distintas modalidades de fertilización, para la determinación de las prácticas que son menos contribuyentes a la generación de emisiones.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar el efecto de la fertilización mineral con la orgánica en una plantación de café, en cuanto a la generación de gases de efecto invernadero durante un año para la generación de curvas de emisiones en el tiempo.

Evaluar el efecto de la sombra de *Moringa oleífera* en el cultivo de café sobre la generación de gases de efecto invernadero para la valoración de la planta como acompañante del café.

Relacionar las condiciones agroclimáticas con los datos que se obtengan de las mediciones de gases de efecto invernadero para la determinación de las relaciones entre clima y emisiones.

## **CAPÍTULO II**

### **1. MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Cambio climático**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define al cambio climático como el “... atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables...” (Zamora, 2018).

El cambio climático antropogénico podría generar alteraciones en la fenología, distribución, producción y calidad de los cultivos, incluidos el café, el cual tiene una importancia social, ambiental, económica e incluso cultural (Memoria del 1er Foro Estatal: “Vulnerabilidad y adaptación del sector cafetalero ante el cambio climático”, 2011).

La concentración en la atmósfera del CO<sub>2</sub> y otros gases efecto invernadero, viene en aumento, registrando hoy en día niveles que son dos veces mayores que al inicio del siglo XX. Estos aumentos han generado cambios en la temperatura global y se esperan incrementos mayores para las décadas venideras. Los cambios registrados en la temperatura están provocando variaciones en el clima que son irreversibles. Estos cambios implican eventos climáticos extremos por lo cual la sociedad deberá adaptarse y comprometerse con la disminución de las emisiones de GEI (Carulla, 2009).

La temperatura es el componente más relacionado con el crecimiento de la planta del café. Bajas temperaturas propician un desarrollo lento y una maduración de frutos tardía. Por otra parte, las temperaturas altas aceleran la senescencia de los frutos, disminuye la fotosíntesis, reducen el crecimiento y producción. Para modificar los efectos de temperaturas altas en el ambiente dentro del cafetal pueden establecerse patrones de sombra temporal y permanente (Monroig, 2016).

## **1.2 Gases de efecto invernadero**

Los GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, de origen tanto natural como antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el metano ( $CH_4$ ) y el ozono ( $O_3$ ) (Benavides, 2007).

No todos los GEI tienen la misma capacidad de provocar calentamiento global, pero su intensidad depende de su poder radiactivo y el tiempo promedio que la molécula del gas permanece en la atmósfera (Espíndola, C y Valderrama, J, 2011). El potencial de calentamiento global de cada uno de estos gases se puede expresar en equivalentes de  $CO_2$ . El potencial de calentamiento global del  $N_2O$  y del  $CH_4$  es 296 y 23 veces el valor de la unidad de  $CO_2$  respectivamente (Snyder, C; Bruulselma, T y Jensen, T, 2007).



En los últimos años, se ha incrementado la percepción pública de que la agricultura es una de las principales actividades que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero que controlan el potencial de calentamiento global y se ha achacado al uso de fertilizantes nitrogenados (Snyder *et al* 2007).

Las emisiones agrícolas procedentes de la producción agropecuaria crecieron desde 4 700 millones de toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> eq) en 2001, a más de 5 300 millones de toneladas en 2011, un aumento del 14 por ciento. El incremento se produjo principalmente en los países en desarrollo, debido a la expansión del total de la producción agrícola (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2014).

### **1.2.1 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

El CO<sub>2</sub> es el GEI más importante asociado a actividades humanas. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales (Benavides, 2007). Se estima que 2/3 de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) mientras un 1/3 procede de los cambios en los patrones de uso del suelo (como la deforestación). Del total emitido solo el 45% permanece en la atmósfera, el 30% es absorbido por los océanos y el restante 25% pasa a la biosfera terrestre (Benito, 2016).

### **1.2.2 Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O)**

Las actividades agrícolas emiten del 65 al 80% de los flujos totales de N<sub>2</sub>O, la concentración atmosférica de N<sub>2</sub>O es 19% mayor en comparación con los valores previos a la Revolución Industrial y tiene un tiempo de residencia en la atmósfera de 120 años (Saynes, V. Etchevers, J. Paz, F. Alvarado, L, 2016).

Las emisiones de óxido nítrico generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las generadas desde el suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes (Benavides, 2007).

Existe evidencia que muestra que la adición de fertilizantes nitrogenados a los suelos agrícolas incrementa el potencial de las emisiones de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) (Montenegro y Herrera, 2013).

### **1.2.3 Metano (CH<sub>4</sub>)**

El CH<sub>4</sub> es el gas “no CO<sub>2</sub>” más abundante en la atmósfera, es emitido por fuentes naturales como los humedales, pero también por actividades humanas como las fugas de los sistemas de distribución de gas natural y las crecientes actividades ganaderas (Saynes, et al, 2016). El metano tiene una vida atmosférica corta de aproximadamente 12 años (Global methane, 2008).

### **1.3 Medición de los gases de efecto invernadero**

Se ha introducido el concepto de potencial de calentamiento global mediante el cual todos los gases se comparan con el CO<sub>2</sub> el cual por definición tiene un potencial de calentamiento global de 1. Por ejemplo, a lo largo de un periodo de 100 años el potencial de calentamiento global de metano es 23 veces el del CO<sub>2</sub>. El óxido nitroso es de 296 veces superior al dióxido de carbono (Comisión Europea, 2018).

La concentración de los gases en la atmósfera se puede expresar en partes por millón (ppm) o billón (ppb). En el caso de ppm se puede visualizar como un centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>) de gas por metro cúbico de aire; una ppm también significa que hay una molécula del gas en cuestión por cada un millón de moléculas de todos los gases presentes (Comisión Europea, 2018).

La mayoría de las metodologías para la medición de GEI in situ se pueden dividir en dos técnicas que son las más usadas: basadas en cámaras y herramientas micro meteorológicas o Eddy Covarianza como complemento modelación ambiental. De los diferentes tipos de cámaras existentes, la cámara estática cerrada es la alternativa más económica y práctica dentro de todas las conocidas para llevar a cabo estudios de respiración de suelo y emisiones de GEI (Arenas, 2015).

La cámara estática cerrada ha sido durante los últimos 30 años la metodología más usada para medir los flujos de GEI sobre todo en sistemas agrícolas. Se reporta que aproximadamente el 95% de los estudios publicados sobre medición de gases utilizaron la técnica de la cámara estática cerrada (Arenas, 2015).

Tabla 1. Comparación entre la técnica de la cámara estética y la técnica micrometeorología.

	Técnicas	Cámaras estáticas	Micrometeorología
<b>Limitaciones Técnicas</b>	<b>Costo de instalación</b>	Medio	Muy Alto
	<b>Nivel técnico requerido</b>	Básico	Muy alto
	<b>Carga laboral humana</b>	Muy importante	Importante
	<b>Limitaciones de uso</b>	Puede ser usada en cualquier lugar.	Solo puede ser usada en grandes extensiones planas de tierra.
	<b>Sesgo metodológico</b>	-Las perturbaciones climáticas pueden afectar las concentraciones de gases dentro de la cámara -Explora una pequeña porción espacial y temporal del sistema.	-Se debe asegurar tener en cuenta las condiciones atmosféricas y la circulación del viento de forma precisa. -Considerar las diferentes fuentes de emisión.
<b>desempeño</b>	<b>Representatividad</b>	Mediciones puntuales en el tiempo y el espacio	Medidas integradas en tiempo y en espacio
	<b>Uso</b>	Comparación de diferentes practicas agrícolas y usos del suelo.	Estimación de flujos de gases en situaciones de ecosistemas representativos

Fuente. Arenas, 2015.

#### 1.4 Café a nivel mundial

El cultivo de café, se destaca por la importancia de su componente agrícola y social; más de 100 millones de personas en todo el mundo están vinculadas a la producción de café. Existe un alto grado de incertidumbre con respecto a la forma como se verán afectadas regiones específicas productoras del grano, y cómo el cambio climático impactará a la producción global de café. Sin embargo, los expertos coinciden en que efectivamente se presentarán cambios en la producción, y que podrían ser más significativos en algunas regiones. El impacto potencial no solo varía entre países sino también dentro de las zonas

de producción de cada país, por ejemplo, el impacto en diferentes altitudes y zonas bioclimáticas (Isaza, 2014).

El café es uno de los productos básicos más comercializados en el mundo con más de 10 millones de hectáreas de tierra dedicado a su producción, siendo uno de los importantes contribuyentes de emisiones globales (Noponen *et al*, 2012).

### **1.5 Café en Costa Rica**

El cultivo dominante en Costa Rica, producido en más del 20% de la superficie agrícola del país (93774 ha) (NAMA, 2019a). El país cuenta con estrategias y planes de acción integrales para el logro de sus ambiciosas metas climáticas. En primer lugar, se ha dado prioridad al sector cafetalero. Debido al alto uso de fertilizantes a base de nitrógeno y prácticas de procesamiento intensivas en el uso de recursos, este sector aporta el 25% de las emisiones agrícolas y el 9% de los gases de efecto invernadero emitidos a nivel nacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2015).

La creación de una industria cafetalera amigable con el medio ambiente y económicamente sostenible apoya a los productores y productoras en la reducción de costos, el aumento de rendimientos, la diversificación de ingresos tanto como en la formación de capital y competitividad en mercados bajo en emisiones de carbono (NAMA, 2019b).

## **1.6 Fertilización en plantaciones de café**

La fertilización es una práctica muy importante en la producción de café, porque mediante ésta, se les suministra a las plantas los nutrimentos que no le aporta el suelo. Con una buena fertilización se tienen plantas más vigorosas, sanas, además la producción se mejora en cantidad y calidad (Centro Nacional de Investigaciones en café, 2013).

Los elementos en los suelos presentan cantidades variables y a veces no son suficientes para la adecuada nutrición de las plantas. Una fertilización racional consiste en aplicar los nutrientes que necesita cada lote de café, para que se garantice un equilibrio químico en los suelos y que genere mayores beneficios económicos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011).

### **1.6.1 Fertilización mineral**

En muchos casos la forma más generalizada de hacer fertilización consiste en aplicar el fertilizante genérico recomendado por el fabricante, la mayoría de las veces sin suficiente investigación. Esporádicamente en los sistemas se calcula la cantidad de nutrimentos que del suelo extrae la cosecha y su reposición (Cenicafé, 2013).

Con la industrialización agrícola a nivel mundial, el empleo de fertilizantes sintéticos ha incrementado la emisión de  $N_2O$ . Se calcula que sólo el 17% de los fertilizantes nitrogenados producidos son asimilados por los cultivos, dispersándose el resto por los ecosistemas y provocando grandes problemas de contaminación y de emisiones (Capa, 2015).

### **1.6.2 Fertilización orgánica**

La producción y uso de abonos orgánicos es una alternativa sostenible para el manejo de los desechos agrícolas, que ofrece una opción diferente a los fertilizantes sintéticos para proveer elementos nutritivos a la planta. En general los nutrientes provenientes de abonos orgánicos son menos susceptibles a pérdidas por lavado, lixiviación, escorrentía, volatilización y fijación que los nutrientes provenientes de fertilizantes sintéticos, lo que puede reducir situaciones de deficiencias para las plantas o de contaminación ambiental (Kameko, 2003).

### **1.7 Sombra en sistemas cafetaleros**

Antes de la década de los noventa se recomendó la eliminación de la sombra en los sistemas cafetaleros, Fournier (1987) indica que la necesidad de sombra depende del clima, la densidad de siembra y el manejo de la planta, en zonas altas de Costa Rica en donde hay menos intensidad lumínica, alta humedad y un periodo seco más corto, se puede considerar la conveniencia de cultivar café a pleno sol. Con el paso de los años se demostró que el uso de sombra ayuda a conservar la fertilidad del suelo, debido a que el ambiente producido disminuye la temperatura del suelo, esto reduce las pérdidas de nitrógeno que se registran a temperaturas altas como consecuencia de la rápida descomposición del humus; además disminuye la pérdida por lixiviación de los nutrientes del suelo (Asociación Nacional del Café, 2016).

La acción fertilizante directa de los árboles de sombra se da por la adición continua de materia orgánica, está además ejerce influencia sobre las propiedades físicas del suelo tales como; la soltura, capacidad de absorción y retención de agua, composición química y fauna microbiana (Asociación Nacional del Café, 2016).

Investigadores de la Universidad de Michigan sostienen, por su parte, que el cultivo de café bajo sombra aminoraría los daños del cambio climático en las próximas décadas. Las plantaciones a la sombra promueven la biodiversidad porque proporcionan un refugio a los pájaros y otros animales, a la vez que protegen a las plantas de café durante los cambios meteorológicos extremos, como las sequías y las tormentas fuertes, actúan como barreras para el viento durante las tormentas y ayudan a reducir el deslave y la erosión de los suelos (Fórum café, 2008).

Según Álvarez (2011) los árboles absorben el CO<sub>2</sub> y se quedan con el carbono de la molécula. Lo utilizan en forma de carbohidratos en sus procesos metabólicos para ir creciendo. De esta forma, los átomos de carbono quedan fijados en la madera del tronco, las ramas, las raíces, ayudando a retirar el exceso de CO<sub>2</sub> de la atmósfera que causa el cambio climático.

Las masas forestales en el mundo absorben actualmente el 10% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub>, es decir que mitigan el equivalente a 650.000 millones de toneladas de este gas (Omicrono, 2013).



## **1.8 *Moringa oleifera***

La Moringa es un árbol perteneciente a la familia Moringaceae, posee grandes cualidades nutricionales y es considerado como uno de los más completos vegetales perennes (Kohai, 2009).

La sombra actúa como un filtro de la luz solar, modificando la intensidad y calidad con que esta llega a las hojas de la planta de café, ejerciendo un efecto directo, regulando y optimizando la fotosíntesis y respiración. Además, ejerce un efecto positivo en la regulación del agua, ya que la sombra propicia mayor infiltración de lluvia en el suelo, reduciendo la evaporación. Los árboles permiten conservar la humedad del suelo al proveer una cobertura natural con hojarasca (aunque la Moringa no proporcione grandes cantidades de biomasa en sus primeros años), que también beneficia al dificultar el desarrollo normal de malezas. Protegen también de la acción directa de los vientos y cumplen un efecto importante en la reducción de la erosión y en la fertilidad del suelo (Aguilar, 2012).

El árbol de Moringa es una especie ideal ya que aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, protege de factores climáticos externos, erosión y excesiva desecación. Al ser la Moringa un árbol de copa ancha, pero relativamente poco densa, cubre y protege un área importante sin proyectar una sombra demasiado densa sobre los otros cultivos, esto permite la prevención del alojamiento de patógenos por alto contenido de humedad en el suelo (Fahey, 2011).

Al tener un crecimiento rápido, raíces verticales y profundas, pocas raíces laterales, gran cantidad de biomasa rica en nitrógeno y escasa sombra suelen utilizarse en la agricultura para la protección contra el viento para otro cultivo de importancia (Puentes, 2014).

La moringa soporta una precipitación anual de 500 a 1500 msnm y es resistente al frío por corto tiempo, pero no menos de 2 a 3°C. En las temperaturas menores de 14° no florece y solamente se puede reproducir vegetativamente (por estacas). Se localiza desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm y está adaptado a una gran variedad de suelos (Puentes, 2014).

## **CAPÍTULO III**

### **1. METODOLOGÍA**

#### **1.1 Localización del experimento**

La investigación se realizó en la Finca Experimental Santa Lucía, de la Escuela de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional, ubicada en la provincia de Heredia, en el cantón de Barva, distrito de Santa Lucía. Específicamente en la parcela Las Moringas, la cual tiene una extensión de 0,21 hectáreas (ha) (con sombra de Moringa) y 0.15 ha (sin sombra). La parcela se encuentra en las coordenadas 10°01'24.43" N 84°06'31.73 a una elevación de 1279 m.s.n.m. La parcela es parte del proyecto “Resiliencia y adaptación de pequeños y medianos cafetaleros de Barva antes el cambio climático”, de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional.

Este sitio se encuentra en la zona de vida bosque húmedo premontano, tiene una temperatura promedio anual de 20,5° y suelos de orden andisoles (Holdridge, 1967).

#### **1.2 Prácticas agronómicas utilizadas en la plantación**

##### **1.2.1 Establecimiento y densidades de siembra de la parcela**

La parcela se estableció en el año 2015 con café variedad Obatá, a una densidad de un metro entre plantas y dos metros entre hileras, para una densidad de 813 plantas en el área con sombra. Ese mismo año se sembró la moringa, que para el 2018 registraba 60 árboles, el sector sin sombra tiene una densidad de 345 plantas de café. La moringa tiene una distancia entre árboles de 6 por 8 metros.

### **1.2.2 Riego**

El primer año de la plantación se utilizó riego cada 15 días durante los meses de diciembre, enero y febrero (época de mayor sequía) en las plantas de café y árboles de moringa, se realizó con bomba de motor aplicando una dosis aproximada de 800 ml por planta.

### **1.2.3 Control de arvenses**

Durante el 2018, en el área de la parcela tanto con fertilización mineral como orgánica se realizó control mecánico con motoguadaña entre hileras y en la cercanía del tallo de plantas de café y árboles se realizó rodaja con machete.

### **1.2.4 Fertilización**

Desde junio del 2015 que se estableció la plantación, la fertilización se ha realizado dos veces al año, a diferencia del 2017 en el que se fertilizó tres veces y en el 2018, año que se realizó la investigación. A cada planta de tratamiento orgánico se le aplica una mezcla de 1,5 kg de gallinaza con 1,5 kg de lombricompost. Para el caso de tratamientos minerales se le aplicó 60 gramos por planta de la fórmula completa química 18-5-15-6-2 todo en base a la recomendación del ICAFE.

### **1.2.5 Poda**

Las plantas de café por estar en su tercer año de edad no han sido podadas, a diferencia de los árboles de Moringa que al menos una vez al mes se realiza una poda de ramas laterales con el fin de que los árboles tomen altura y se expanda su área de sombra.

### **1.2.6 Control de plagas y enfermedades**

Debido a que las plantas son variedad Obatá y por lo tanto tienen una alta tolerancia a la roya en la plantación no se realizan aplicaciones de fungicidas, además de que no se han encontrado patógenos en gran nivel que ameriten controles sanitarios. La única plaga a la que se le ha realizado control químico es a los hormigueros cercanos, debido a que las hormigas en muchos casos realizan defoliación de los árboles de moringa.

### **1.3 Diseño de la investigación**

La presente investigación se considera de tipo observacional y longitudinal, debido a que las mediciones se realizarán en parcelas de café variedad Obatá que han sido manejadas bajo ciertas circunstancias o tratamientos, es decir, no es posible aleatorizar áreas de café homogéneas a los tratamientos, porque las zonas escogidas para la investigación ya tienen su tratamiento, y además no es de tipo experimental, porque, no se presentan repeticiones de cada tratamiento. Es de tipo longitudinal porque se realizarán mediciones de las variables de interés en el transcurso del tiempo en cada uno de los tratamientos.

### 1.3.1 Tratamientos establecidos en el área experimental

Se evaluó las emisiones de gases de efecto invernadero en cuatro condiciones de manejo de cafetal:

- Café con sombra de árboles de moringa (*Moringa oleífera*) y fertilización orgánica.
- Café con sombra de árboles de moringa (*Moringa oleífera*) y fertilización mineral.
- Café sin sombra y fertilización orgánica.
- Café sin sombra y fertilización mineral.

Los tratamientos con sombra están conformados por 8 metros cuadrados (formados por un árbol de moringa y 4 plantas de café ubicadas en cada punto cardinal del árbol), como se tomaron 3 muestras de cada tratamiento se consolidó un área de 24 m<sup>2</sup> para cada tratamiento con sombra. Respecto al área sin sombra está por 4 plantas de café a una distancia de 1 metro entre cada una, por lo tanto, cada muestra representa 4 m<sup>2</sup> para cada tratamiento sin sombra habría un total de 12m<sup>2</sup>.

La fertilización orgánica se realizó utilizando una mezcla de 1,5 kilogramos de gallinaza en conjunto con 1,5 kilogramos de lombricompost por planta y por árbol (en los casos del área con sombra). Los contenidos nutricionales de cada nutriente se pueden observar en el cuadro 1.

Tabla 2. *Composición química de los fertilizantes orgánicos utilizados en los tratamientos orgánicos.*

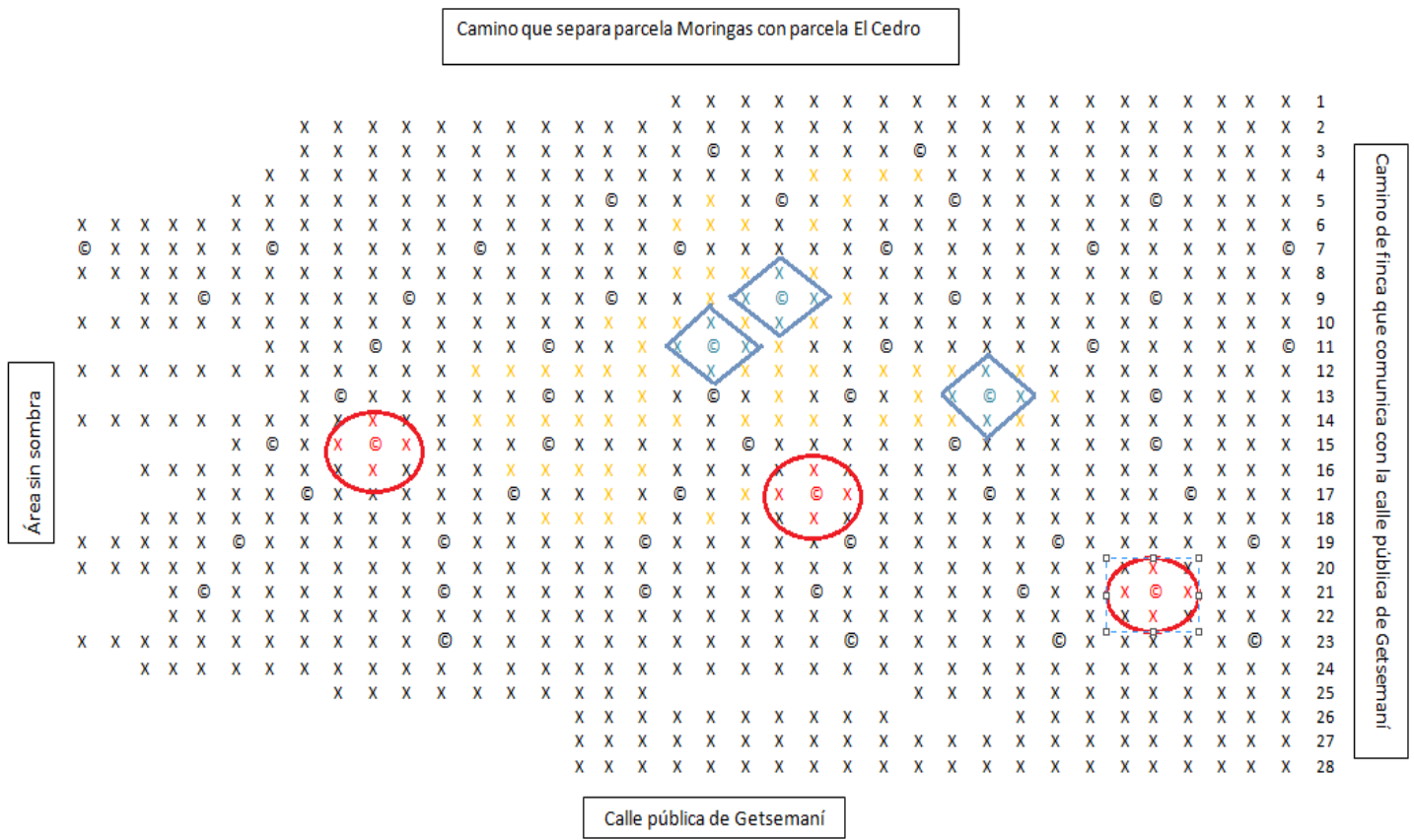
Fertilizante/Elemento	% de masa						mg/kg				
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Gallinaza	2.06	2,09	7,04	0,72	3,06	0,7	1324	443	556	656	40
Lombricompost	2,75	1,77	4,20	0,88	1,14	0,58	8966	101	404	443	20

Fuente: Centro de Investigaciones Agronómicas.

La fertilización mineral consiste en 60 gramos por planta de la fórmula completa química 18-5-15-6-0,2 según recomendaciones del ICAFE, la misma dosis fue aplicada a los árboles de moringa (en los casos del área con sombra).

Se realizó tres fertilizaciones tanto la mineral como orgánica se llevó a cabo en los meses de julio, setiembre y noviembre.

Las figuras 1 y 2 muestran el croquis de cómo están distribuidos los tratamientos en el área con sombra y sin sombra de moringa, en los cuales se realizaron las mediciones, cada tratamiento se repitió tres veces.



X= planta de café ©= Árboles de moringa \*Tratamientos minerales \*Plantas de barrera orgánica \*Tratamientos orgánicos

Figura 1. Croquis del área con sombra de moringa (*Moringa oleífera*).

Fuente: Elaboración propia



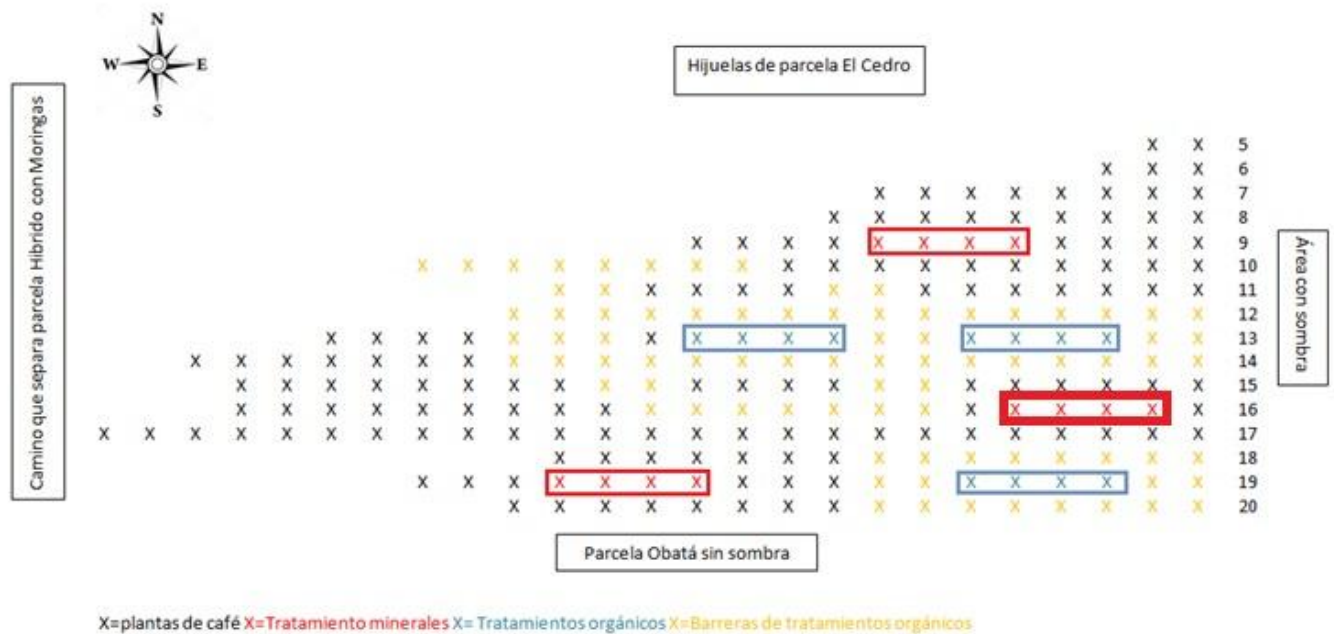


Figura 2. Área sin sombra, de la plantación experimental.

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4 Cámara de captura de gas

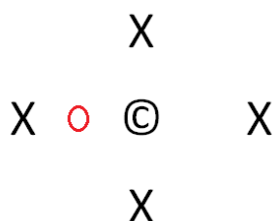
Se utilizaron cámaras de captura de gas cerradas de plástico color blanco con un tamaño de 40 cm de alto por 30 cm de ancho, estas se entierran en los primeros cinco centímetros del suelo aproximadamente para evitar la entrada de aire y además se trata de disturbar lo menos que se pueda el área de medición. En la parte superior de la cámara se hace un círculo de dos centímetros y se incorpora la tapa de un tubo de ensayo el cual va a funcionar para inyectar la jeringa (de 10 mililitros) y extraer los gases, luego el gas se traslada a un tubo de ensayo (con vacío) debidamente etiquetado. En la figura 3 se puede ver la cámara colocada para la extracción de muestras.



*Figura 3.* Cámara de gas en posición de captura y extracción de muestra.

Fuente: Sancho, E (2018).

Se colocaron las cámaras siempre en la misma posición en la unidad de muestreo para cada medición, a una distancia de un metro del árbol y en la banda de fertilización de una de las plantas de café, se contó con 4 cámaras iguales, por lo cual se colocó una en cada repetición al momento de la medición con el fin que las muestras sean tomadas en un mismo momento con iguales condiciones climáticas.



X=planta de café    ©=Árbol de moringa    ○= Cámara de gas

*Figura 4.* Representación de la ubicación de la cámara en los tratamientos sometidos a sombra.

Fuente: Elaboración propia.

X X O X X

X=planta de café O= Cámara de gas

*Figura 5.* Representación de la ubicación de la cámara en los tratamientos sin sombra.

Fuente: Elaboración propia.

### **1.5 Método de medición de los GEI**

Se cubrió con mediciones un año de fertilización en la plantación, durante los meses de julio, setiembre y noviembre.

Se midieron los flujos de GEI a los 0, 5, 15 y 30 días después de cada una de las fertilizaciones. Cada día que se realizó una medición se tomaron cuatro muestras en cada repetición, las mediciones fueron a los 0, 10, 20 y 30 minutos después de que se colocaba la cámara.

### **1.6 Medición de variables climáticas**

En cada muestreo se midió la temperatura ambiental (grados Celsius), además se solicitó al Instituto Meteorológico de Costa Rica los datos de porcentaje de humedad y precipitación (milímetros), datos obtenidos desde la estación meteorológica que se encuentra en la Finca Experimental Santa Lucía. La estación se encuentra aproximadamente a 420 metros lineales de los puntos de medición.

## 1.7 Análisis en laboratorio

Se trasladaron las muestras del campo al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional y se analizaron las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero en agricultura: metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). La metodología utilizada en laboratorio para el análisis químico de cada gas se puede ver en el cuadro 2.

Tabla 3. Metodologías en laboratorio para el análisis de cada gas.

<b>Gas</b>	<b>Referencia del método y técnica usada</b>
$\text{CO}_2$	Modificado a partir de: Code of Federal Regulations, EPA, Title 40, part 60, appendix B, 2000. Método 3; Electroquímico.
$\text{CH}_4$	Modificado a partir de: Chamber bases trace gas flux measurement protocol, USDA-ARS, 2003; GC- FID
$\text{N}_2\text{O}$	Modificado a partir de: Chamber bases trace gas flux measurement protocol, USDA-ARS, 2003; GC- $\mu\text{ECD}$

Fuente: Ente Costarricense de Acreditación (2018).

## 1.8 Análisis estadístico

Con los resultados de laboratorio se elaboraron curvas en el tiempo del comportamiento de los gases, en cada uno de los cuatro tratamientos para hacer comparaciones descriptivas colocando en la parte inferior la condición del clima en los momentos de medición para las variables: temperatura, humedad y precipitación.

Se realizó un análisis de regresión para cada tratamiento considerando el tiempo como variable independiente o explicativa y los valores de emisión de gases como variable respuesta, que permitan obtener una ecuación de mejor ajuste y obtener el momento de máxima evolución de gases en días después de una fertilización.

Para cada regresión se hizo una prueba de polinomio cuadrado para obtener la curva de mejor ajuste en los casos en que  $p < 0,05$  fue utilizado el polinomio al cuadrado, en los casos en los que no se mantuvo una regresión lineal.

El estudio se limitó a tres mediciones por tratamiento solamente por el costo económico de cada gas evaluado, ya que son 4 tratamientos a los que se les realizó un muestreo de 3 gases en 4 momentos de fertilización, en 4 momentos después de colocada la cámara y se realizó 3 veces en el año para cada repetición. Por lo tanto, se analizaron un total de 576 muestras para cada gas y en total de la investigación 1728.

## **CAPITULO IV**

### **1. RESULTADOS**

El análisis de los resultados tiene como fin ver el comportamiento de los diferentes gases según el tipo de fertilización al que se había sometido cada tratamiento y el efecto de la sombra, analizando el comportamiento de cada gas para las condiciones climáticas encontradas en la toma de la muestra, para ello se realizó un análisis estadístico por medio de regresiones lineales para hacer una estimación del comportamiento de los gases durante todo el periodo.

#### **1.1 Comportamiento del dióxido de carbono**

En la figura 6 se puede ver el comportamiento de las emisiones de gases en partes por millón (ppm), en los tratamientos con sombra, así como los correspondientes a sin sombra y el comportamiento del clima (temperatura, humedad y precipitación).

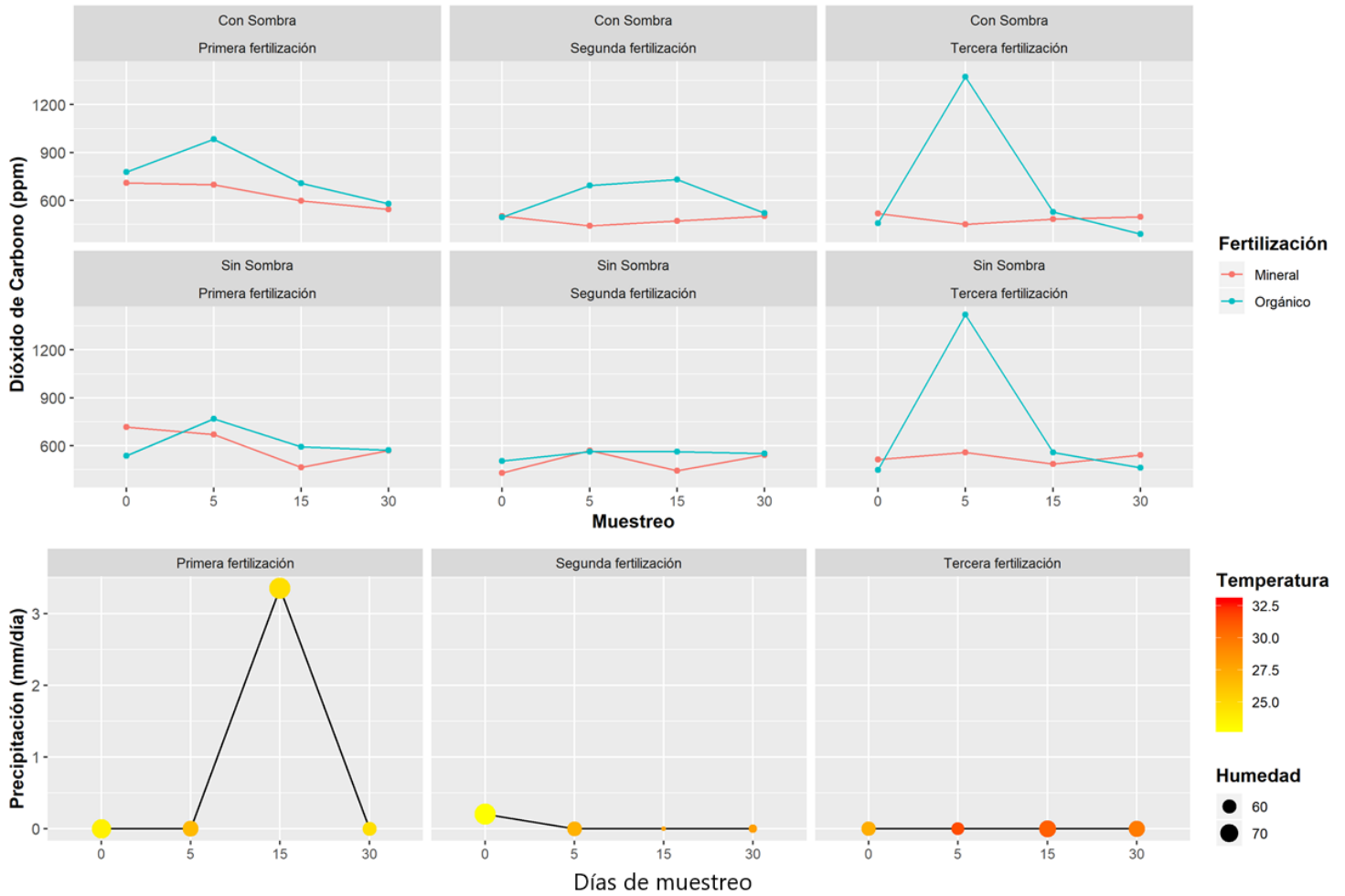


Figura 6. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del CO<sub>2</sub> en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

El día que hubo mayor temperatura (Día 5 de la tercera fertilización) se dio un incremento pronunciado en la emisión de CO<sub>2</sub> para los tratamientos orgánicos. La cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> en toda la investigación fue mayor en los tratamientos orgánicos que en los minerales. También el día de mayor precipitación se tuvo menor cantidad de emisiones independientemente del tratamiento.

## 1.2 Comportamiento del Metano

En la figura 7 se ve el comportamiento general de las emisiones de metano en cada fertilización.

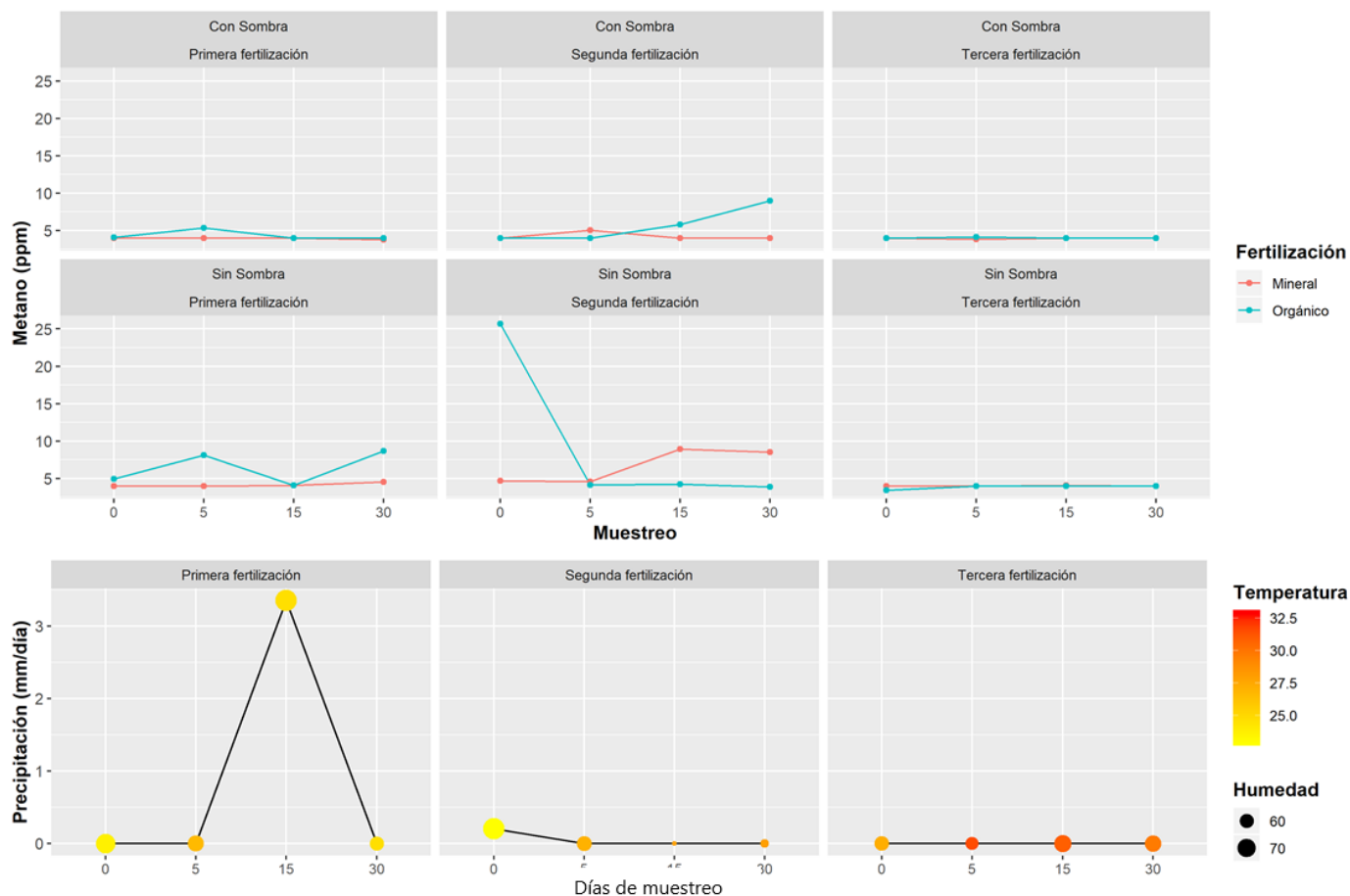


Figura 7. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento de  $\text{CH}_4$  en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se puede ver como las emisiones de  $\text{CH}_4$  fueron más bajas que las registradas para el dióxido de carbono. En la figura 1 ( $\text{CO}_2$ ), el punto más alto de emisiones llegaba a las 1200 ppm mientras que en el caso del metano la emisión más alta está por encima de las 25 ppm.



No hubo una tendencia clara en las emisiones de este gas por el tipo de fertilización. Además se puede ver que no hay relación en la emisión del gas con el comportamiento de la precipitación, humedad y temperatura.

### **1.3 Comportamiento de Óxido nitroso**

#### **1.4 Óxido nitroso**

Para las emisiones de Óxido nitroso en el caso de la segunda fertilización sin sombra y en la tercera, no se tuvieron los datos de laboratorio por problemas de diversas índoles. En los tratamientos con sombra para la primera fertilización se ve un comportamiento de emisión bajo para la fertilización orgánica menores al límite de detección de la metodología analítica. En la tercera fertilización la situación se invierte y es la emisión de  $N_2O$  correspondiente a la fertilización mineral las que no se lograron detectar, a diferencia de la fertilización orgánica, que tuvo el pico de emisión más alto de todos los tratamientos (600 ppb). Pareciera que las bajas temperaturas reducen las emisiones de óxido nitroso en los tratamientos de fertilización orgánica independientemente de si haya o no sombra como se puede ver en la figura 8.

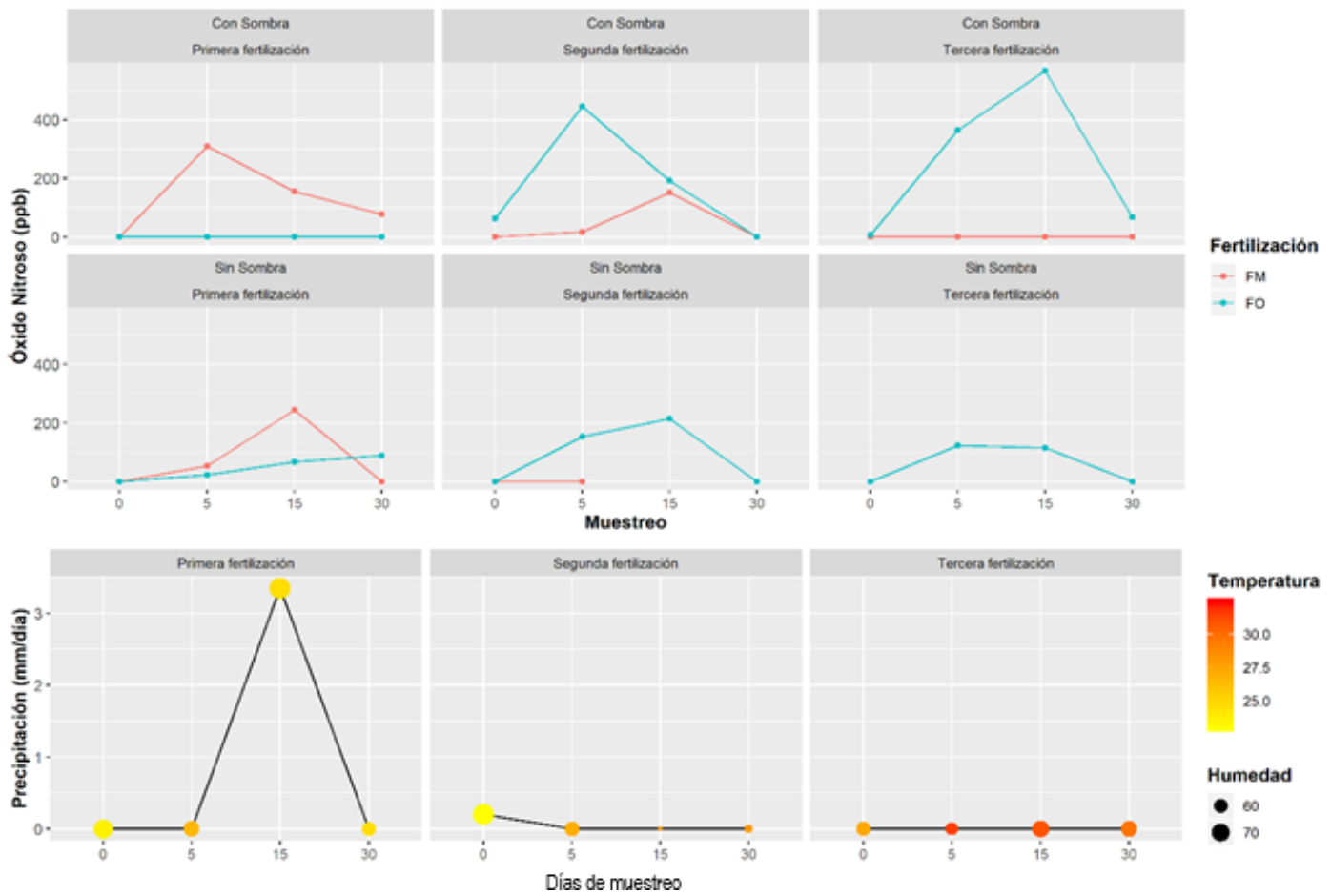


Figura 8. Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del N<sub>2</sub>O en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.5 Regresiones para el Dióxido de Carbono

Cada regresión tiene en los anexos del documento los cuadros de resultados del análisis de regresión lineal, gráfico de QQ plot y Gráfica con dispersión de residuos estudentizados, para mayor información estadística de cada análisis de regresión.

A continuación, se presentan las diferentes regresiones para el CO<sub>2</sub> para cada tratamiento.

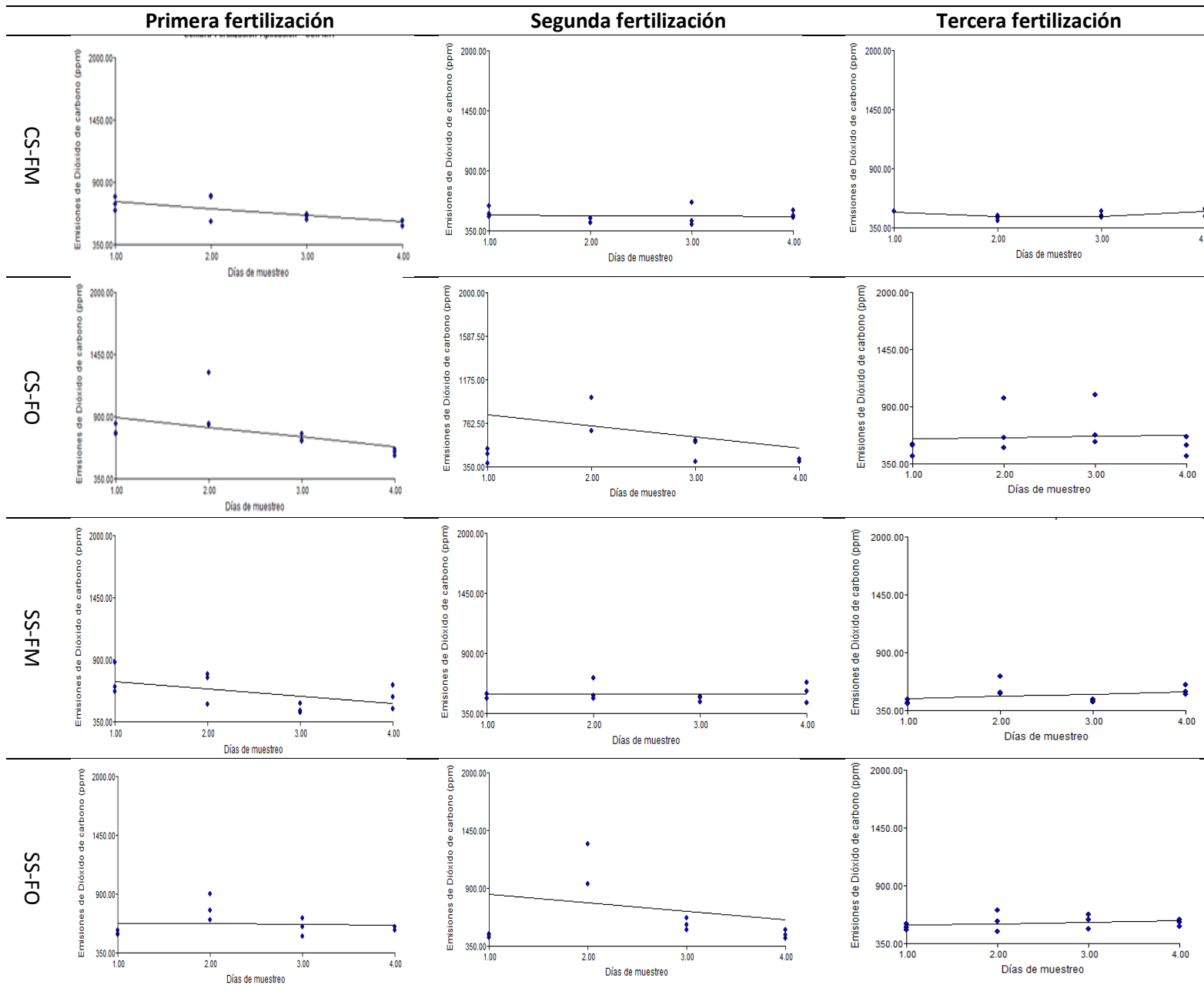


Figura 9. Regresiones de mejor ajuste para el CO<sub>2</sub> en cada fertilización para cada tratamiento.

Fuente elaboración propia.

Se puede ver un comportamiento ligeramente descendente conforme pasan los días de la fertilización, en las emisiones de dióxido de carbono, con algunos puntos de emisión anormales, aunque como se puede ver en los cuadros de resultados de análisis en los anexos la pendiente no fue significativa en la mayoría de los casos. Hay una independencia entre la emisión del gas con la condición de sombra y fertilización orgánica.

Los datos de emisión de CO<sub>2</sub> van disminuyendo con el tiempo en la mayoría de los casos, por lo tanto, los valores de mayor emisión se encuentran cercanos al momento de la aplicación del fertilizante, además no hay normalidad en algunos datos lo que se puede ver con los valores que están lejos de la recta de mejor ajuste.

Algunas rectas como las de la segunda fertilización a pesar de tener puntos lejos de la recta, las emisiones estuvieron muy lineales en el tiempo.

Los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 tuvieron un ligero crecimiento desde la aplicación del fertilizante hasta el final de las mediciones, como se puede ver en la figura 4.

## **1.6 Regresiones para el Metano**

Las regresiones para el gas de metano estuvieron en su mayoría constantes, como se puede ver en las gráficas, las emisiones fueron bajas o no detectables por el cromatógrafo y solo en algunos casos de la segunda fertilización las emisiones se incrementaron después del día de la aplicación del fertilizante.

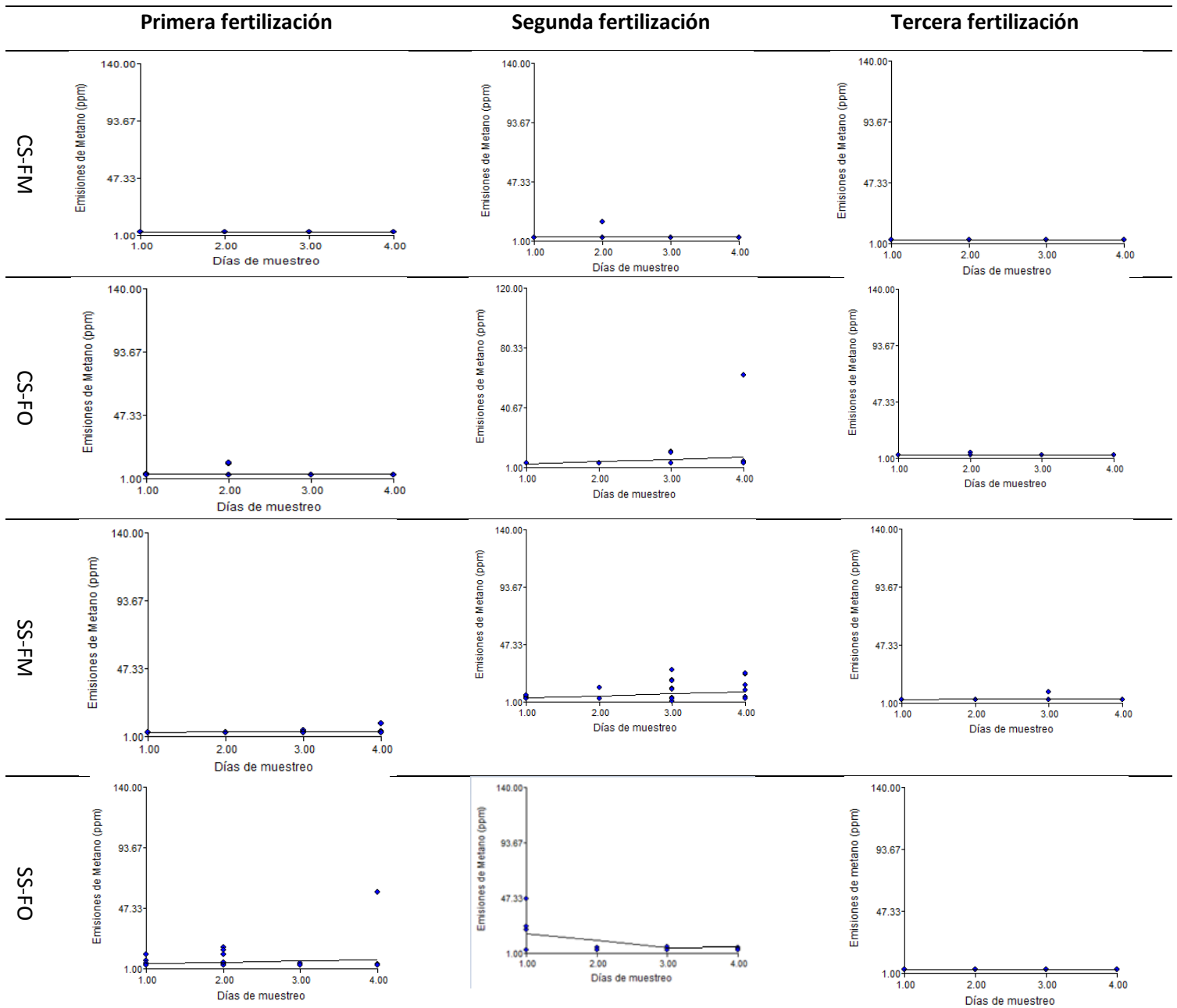


Figura 10. Regresiones de mejor ajuste para el CH<sub>4</sub> en cada fertilización para cada tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

## **1.7 Regresiones para el Óxido Nitroso**

Para el Óxido nitroso no se realizó las regresiones lineales correspondientes a los tratamientos sin sombra y fertilización mineral para la fertilización 2 y 3 por ausencia de los resultados de laboratorio, las demás se pueden ver en la figura 6.

En general todas las regresiones para las emisiones de Óxido nitroso se mantuvieron constantes en la emisión por ejemplo en el caso del tratamiento con sombra y fertilización mineral donde en la primera y segunda fertilización fueron constantes las emisiones a pesar de tener puntos lejos de la recta de mejor ajuste y en la tercera fertilización no se detecto emisiones en laboratorio.

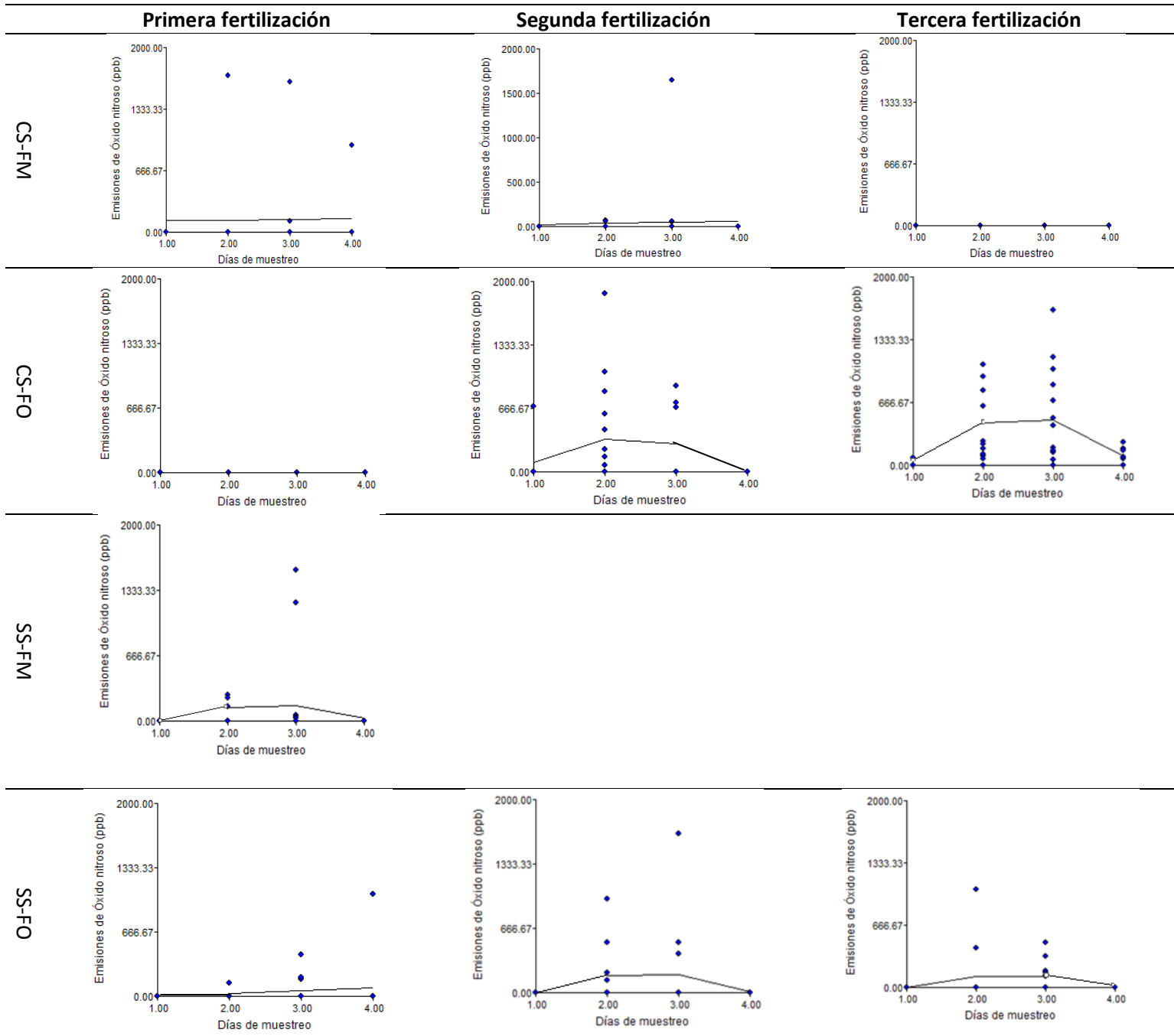


Figura 11. Regresiones de mejor ajuste para el N<sub>2</sub>O en cada fertilización para cada tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.7 Dióxido de carbono equivalente

Con el fin de equiparar los datos a una misma unidad se sumó la totalidad de las emisiones obtenidas para cada tratamiento durante todas las mediciones y se les saco la media por emisión, cada valor fue convertido a unidades de Dióxido de carbono equivalente.

En la tabla 4 se puede ver que para el CO<sub>2</sub> los casos de mayor emisión fueron en los escenarios con fertilización orgánica habiendo poca diferencia si los tratamientos tenían o no sombra.

Tabla 4. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, y su media para CO<sub>2</sub>.

<b>Tratamiento</b>	<b>Total de emisiones CO<sub>2</sub></b> <b>(ppm)</b>	<b>Media en cada medición</b> <b>(ppm)</b>	<b>Desviación</b> <b>estandar</b>
CS-FM	19255	534	99.36
CS-FO	24709	686	362.1
SS-FM	19518	542	108.6
SS-FO	22611	628	289.59

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se presenta los totales obtenidos en el total de las mediciones de metano (ppm), el Dióxido de Carbono equivalente y la media para cada medición, en este caso la mayor emisión estuvo en los tratamientos sin sombra y con fertilización orgánica.



Tabla 5. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para CH<sub>4</sub> y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq).

<b>Tratamiento</b>	<b>Total de emisiones CH<sub>4</sub> (ppm)</b>	<b>de CO<sub>2</sub>eq para el total de emisiones</b>	<b>Media en cada de medición (ppm)</b>	<b>CO<sub>2</sub>eq para la media de las mediciones</b>
CS-FM	579.13	13319.99	4.05	93.15
CS-FO	667.44	15351.12	4.7	108.1
SS-FM	702.38	16154.74	4.95	113.85
SS-FO	902.42	20755.66	6.31	145.13

Para el Óxido nitroso se realizó con los tratamientos que se tenía la totalidad de los datos como se puede ver en el cuadro 5, con su respectiva equivalencia a CO<sub>2</sub>.

Tabla 6. Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para N<sub>2</sub>O y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq).

<b>Tratamiento</b>	<b>Total de emisiones (ppb)</b>	<b>de CO<sub>2</sub>eq para el total de emisiones</b>	<b>Media en cada de medición (ppb)</b>	<b>CO<sub>2</sub>eq para la media de las mediciones</b>
CS-FO	20426.85	6046347.6	143.85	42579.6
SS-FO	9405.81	2784119.7	65.77	19467.92

## CAPITULO V

### 1. DISCUSIÓN

#### 1.1 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

Las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidas en esta investigación fueron mayores en la fertilización orgánica, contrario a lo reportado por demás investigaciones realizadas, por ejemplo la de López et al (2018) en el cultivo de la caña encontraron que los cultivos en transición y orgánicos presentan un menor nivel de emisiones de GEI con respecto a los cultivos comerciales, con una reducción del 71% y el 36% respectivamente. Otra investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, publicada en la agencia SINC (2010) concluyeron que los fertilizantes orgánicos, como los purines reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. En el cuadro 3 se puede ver también como los tratamientos con mayor emisión fueron los que estaban sometidos a fertilización orgánica, una posible causa podría ser por la descomposición de materia orgánica rica en Carbono que pudiera emitir mayor contenido de CO<sub>2</sub>.

En esta investigación las emisiones de CO<sub>2</sub> estuvieron en un rango entre las 500 a las 1200 ppm. En investigaciones realizadas en Suramérica con *Coffea arabica* y *Coffea canephora* se encontró emisión entre las 700 y 900 ppm (Sorgato, 2016), la autora describe que ese es un promedio ideal para el cultivo y su fotosíntesis.

El punto más alto de emisión se presentó con la mayor temperatura, a más de 33°C, esto se respalda con la investigación publicada por SINCA (2010) de la Universidad Politécnica de Madrid donde se encontró que el CO<sub>2</sub> se ve inhibido a bajas temperaturas, la razón es que se trata de procesos realizados por microorganismos presentes en el suelo cuya actividad se inhibe a bajas temperaturas.

La utilización de coberturas vegetales en los sistemas productivos es una de las técnicas de mayor influencia en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, según El-Hage y Hattam (2003), esto podría mejorar la condición del microclima en el sistema, bajando la temperatura y por ende reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las dos primeras fertilizaciones tuvieron una tendencia a la disminución de CO<sub>2</sub> en el tiempo según se dedujo los análisis de regresión, excepto en la última fertilización donde la tendencia fue hacia el ascenso de las emisiones en el tiempo, lo cual podría estar relacionado con un efecto acumulativo de las diferentes fertilizaciones realizadas en el tiempo, o por las altas temperaturas presentadas en esas últimas mediciones a la entrada del verano. Los aumentos de temperatura coinciden con el incremento de los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> (Montenegro; Abarca, 2001).

Según Rikxoort; Schroth; Läderach; Rodríguez (2015) afirman que la producción de café está impactando el clima al emitir gases de efecto invernadero y el cultivo también es vulnerable al cambio climático por lo cual hicieron una investigación en 5 países latinoamericanos (México, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Colombia), donde concluyen que una estrategia para la reducción de GEI es la inclusión de cafetales con árboles y además el uso de la madera de los mismo como sustituto de combustibles fósiles. Respecto a la sombra y las emisiones de CO<sub>2</sub>, según la gráfica 2 se refleja que no hay relación en el experimento en las emisiones tanto con o sin sombra.

## 1.2 Metano

Las emisiones de metano fueron inferiores (0 a 25 ppm) al dióxido de carbono (500 a 1200 ppm), se podría deber a lo mencionado por Richards (2013) quien afirma que el metano se libera cuando el material orgánico se descompone en condiciones anaeróbicas. En la investigación pudo ser que al encontrarse en un sistema con condiciones aeróbicas las emisiones fueron bajas en comparación con CO<sub>2</sub>, aunque cabe destacar que como menciona el autor anterior el metano es 25 veces más potente que el dióxido de carbono, pero a pesar de eso como se puede ver en el cuadro 4 cuando las emisiones son equiparadas a Dióxido de Carbono equivalente aun así siguen siendo inferiores a las obtenidas del CO<sub>2</sub>.

En los gráficos hay una disminución en la emisión de metano en los tratamientos con sombra. Además, las emisiones disminuyen en el tiempo, para la tercera fertilización las emisiones fueron casi nulas.

En los resultados de la investigación las emisiones de la fertilización orgánica fueron mayores que en la mineral, El-Hage y Hattam (2003) en su libro Agricultura orgánica, ambiente y seguridad ambiental, encontraron que la fertilización con nitrógeno mineral ha demostrado que inhibe la oxidación de CH<sub>4</sub> y además aclaran que no existen antecedentes acerca de los efectos de la agricultura orgánica respecto a las emisiones de metano.

### 1.3 Óxido Nitroso

El  $N_2O$  como se puede ver en el cuadro 5 de los resultados es el de mayor potencial de calentamiento global, a pesar de que muchas de las muestras no fueron detectables en el cromatógrafo se puede ver que con los puntos identificados la suma de emisiones cuando se trasladan a dióxido de carbono equivalente es superior comparando con  $CH_4$  y  $CO_2$ .

Valorando los resultados de emisión de óxido nitroso se encontró en la primera fertilización los tratamientos con fertilización mineral hay mayor emisión pero en las demás fertilizaciones pareciera que la fertilización orgánica es bastante superior, situación similar obtenida por Louro; Báez; García y Castro (2010) donde midieron las emisiones de óxido nitroso en el cultivo de maíz y obtuvieron que los fertilizantes orgánicos tuvieron emisiones iguales o ligeramente similares a los obtenidos con una fertilización mineral. Probablemente la emisión alta de óxido nitroso en tratamientos con fertilización orgánica se deba a que los abonos utilizados son ricos en nitrógeno, como se puede ver en el cuadro 1 la gallinaza tiene 2,06 y el lombricompost 2,75% de masa de nitrógeno, parámetros altos para abonos de origen orgánico, basándonos en experiencia con compost de años anteriores y también en estudio de Castro, Henriquez, Bertsh (2009) donde examinaron diferentes abonos orgánicos y encontraron porcentajes de nitrógeno entre 0,9 y 2,12%.

Los picos de emisión de  $N_2O$  estuvieron en los tratamientos con fertilización orgánica, con altas temperaturas y bajas precipitaciones, similares resultados obtuvieron Montenegro y Abarca (2001), pero con fertilización con fórmula completa y nitrogenada en su estudio de emisiones de óxido nitroso en café, hicieron una relación entre las emisiones y la temperatura, encontrando al igual que en el presente trabajo tendencia en el incremento de la emisión del gas con el aumento de los grados Celsius.

La mayoría de las gráficas de regresión lineal con curvas de mejor ajuste tuvieron un incremento de emisión conforme pasaban los días después de la aplicación del fertilizante, independientemente de si fuese orgánico o mineral, con o sin sombra, al igual que como cita Montenegro y Abarca (2001) hay incrementos en los niveles de emisión de  $N_2O$  luego de la aplicación de fertilizante, lo cual demuestra la influencia directa de la fertilización en el patrón de emisión de este gas.

## CAPITULO VI

### 1. CONCLUSIONES

La metodología utilizada con las cámaras de captura de gas fue práctica por lo fácil de transportarlas, instalarlas y hacer la extracción de las muestras de aire además de que es un método económico. Algunos inconvenientes fueron la cobertura de alcance de la muestra y la cantidad de muestras que se puede obtener en comparación con otras metodologías.

El estudio se basó en los tres principales GEI ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ), como lo evidenció los resultados el comportamiento de cada uno de los gases es totalmente distinto a pesar de que las muestras se hayan tomado en los mismos tratamientos, la misma persona, misma metodología y con condiciones climáticas homogéneas.

En la mayoría de los casos la emisión de los gases en tratamientos fertilizados de forma orgánica fue superior a los casos fertilizados de forma mineral, condición que podría replantear la forma de aplicación de los fertilizantes orgánicos y la necesidad de realizar estudios en el futuro con las mismas condiciones donde se pueda minimizar la cantidad de fertilizante orgánico, siempre que la calidad del fertilizante lo permita.

Según los resultados la sombra no influyó en la emisión de los gases, independientemente del tipo de fertilización, probablemente por la densidad de sombra que tenían los árboles de Moringa en el año de medición.

En el caso del Dióxido de Carbono se evidencia un incremento de las emisiones en los días de mayor temperatura, probablemente porque la actividad microbiana del suelo se ve favorecida a temperaturas altas.

Para el CO<sub>2</sub> en todos los escenarios los tratamientos que tenían fertilización orgánica tuvieron emisiones superiores a los de fertilización mineral, probablemente por las materias primas de los fertilizantes orgánicos que son ricos en carbono.

La mayoría de las regresiones para CO<sub>2</sub> en la primera y segunda fertilización reflejan un descenso con el tiempo de las emisiones, con lo que se concluye que conforme avanzan los días después de la aplicación del fertilizante las emisiones descienden, situación contraria en la tercera fertilización que hay un ligero crecimiento con forme avanzan los días, probablemente relacionado con la época de temperaturas más altas registradas en los momentos de medición.

Las emisiones de Metano fueron bajas a pesar de haber utilizado abonos con materias primas de producción animal como boñiga y gallinaza, probablemente la baja emisión es debido a que el gas necesita condiciones anaeróbicas mayores para su formación y emisión. En la tercera fertilización es en el momento de menores emisiones, lo que quiere decir que a diferencia del CO<sub>2</sub> el metano no reporta incremento de mediciones con altas temperaturas según la investigación.

En el caso de las regresiones para metano, hay un comportamiento muy lineal y solo en algunos casos de la segunda fertilización hay un ligero incremento a los días der haber colocado el fertilizante.

A pesar de que las emisiones de metano fueron menores al dióxido de carbono en partes por millón, si se comparan a nivel de dióxido de carbono equivalente las emisiones tienen rangos similares superiores a las 10.000 unidades, por ser el metano aún más contaminante.



Para el Óxido nítrico en los casos en que se obtuvo resultados para ambas fertilizaciones, fue mayor la emisión en los tratamientos fertilizados de forma orgánica, en la segunda y tercera fertilización, probablemente porque las fuentes de elaboración de los abonos orgánicos son altas en contenido de nitrógeno. En el caso de las regresiones de  $N_2O$  son las que presentan más datos fuera de la línea de mejor ajuste, ya que fue el gas que presentó más variedad en el valor de emisión.

## 2. RECOMENDACIONES

Sería de gran utilidad repetir el experimento con otra metodología como Eddy Covarianza para poder comparar resultados con los obtenidos en esta investigación y sobretodo tener una base de datos aún más amplia de emisiones del sistema, por la capacidad de esta metodología de tomar muestras por segundo.

Se recomienda realizar la investigación en años posteriores cuando las diferentes podas de formación hechas en los árboles hayan formado una copa más densa y de mayor cobertura. Aunque cabe destacar que a nivel de plantación se observa en el verano mejor condición física visual de las plantas bajo sombra.

Basándonos en la reducida cantidad de literatura con inventarios de gases en espacios que han sido fertilizados de forma orgánica, se recomienda repetir el ensayo con distintos fertilizantes orgánicos.

Debido a que a mayor temperatura se da una mayor emisión de CO<sub>2</sub>, se recomienda el uso de sombra de cobertura amplia y coberturas vegetales que generen un microclima más fresco para reducir emisiones.

Para el sistema en el que se realizó el trabajo algunas prácticas que podrían contribuir a la generación de menor cantidad de gases de efecto invernadero es la mayor fragmentación posible del fertilizante que se requiere por año en la plantación; es decir si se fertilizaba tres veces al año tratar de aumentar el número, con el fin de que la cantidad de fertilizante que se le coloca a cada planta sea menor y además tratar de incorporar prácticas que permitan el tapado del fertilizante con el fin de que no quede en total exposición al medio ambiente.

Siempre se debe de ajustar la dosis de fertilizante a la cantidad que necesita la plantación para evitar desperdicios y producción de gases innecesaria, es una práctica que aporta a la sostenibilidad del sistema.

Es importante elegir el fertilizante no solo de menor emisión de gases, si no el que también colabore a mantener una producción sostenible, por ende sería de gran utilidad hacer un estudio donde se relacione la emisión de gases por unidad de producto, en este caso con la cantidad de café producido.

Sería de gran utilidad repetir este ensayo de nuevo para poder comparar resultados obtenidos con estas condiciones en otro año, probablemente con sombra más densa y con un efecto acumulado de diferentes fertilizaciones anteriores.

## CAPITULO VII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R. (2012). Importancia de la sombra en el cultivo del café. Agosto 15, 2017, de Asociación Nacional del Café. Recuperado de: [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/13NOT:NT\\_Importancia\\_sombra\\_café](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/13NOT:NT_Importancia_sombra_café).
- Álvarez, C. (2011). ¿Pueden los árboles compensar el CO<sub>2</sub> emitido por los autos?. El país. Recuperado de: <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/06/pueden-los-arboles-compensar-el-co2-emitido-por-los-coches.html>
- Arenas, L. (2015). *Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. Recuperado de: [http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura\\_Natalia\\_Arenas\\_Calle-2016.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura_Natalia_Arenas_Calle-2016.pdf)
- Asociación nacional del café. (2016). Sombra. ANACAFÉ. Recuperado de: <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Sombra>
- Benavides, H., León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Recuperado en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Benito, M. (2016). Guía específica de trabajo sobre CO<sub>2</sub> y cambio climático. Fundación San Patricio. Recuperado de: <http://www.programainvestiga.org/pdf/guias2016-17/Guia%20introdutoria%20al%20tema%20CO2%20y%20cambio%20climatico.pdf>
- Capa, E. (2015). *“Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes*

- fases fenológicas del cultivo de café (Coffea arabica L.)*” (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Recuperado de: [http://oa.upm.es/36539/1/EDWIN\\_DANIEL\\_CAPA\\_MORA.pdf](http://oa.upm.es/36539/1/EDWIN_DANIEL_CAPA_MORA.pdf)
- Castro, A; Henríquez, C & Bertsh, F. (2009). Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33(1). Recuperado de: [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v33n01-031.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n01-031.pdf)
- Cenicafé. (2013). Fertilización de los cafetales. *Cartilla Cafetera*, Cap 7, 132-154. Recuperado de: <http://www.cenicafe.org/es/documents/cartillaCafeteraCapitulo7.pdf>
- Carulla, J. (2009). Cambio climático. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 56(1), 5. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/18086/19002>
- Comisión Europea. (2018). Medición de gases invernadero. *Climat strategies and targets*. Recuperado de: [https://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/measuring\\_gases\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/measuring_gases_es.pdf)
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2015). Medidas voluntarias de protección del clima (NAMA): Café bajo en emisiones, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.giz.de/en/worldwide/34087.html>
- El-Hage, N; Hattam, C. (2003). *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria*. FAO. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/y4137s/y4137s07.htm>
- Ente Costarricense de Acreditación. (2018). Documento de acreditación del laboratorio de análisis ambiental de la UNA.
- Espíndola, C. Valderrama J. (2011). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Vol 23. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>

Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono. Sf. Proyecto NAMA café de Colombia. Recuperado de: [http://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=74079](http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=74079)

Fahey, O. (2011). Moringa Hope Costa Rica. Octubre. Recuperado de: <http://moringahopecostarica.wixsite.com/moringahopecostarica/sistemas-agreoforestales-inteligentes>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2011). Fertilización de cafetales, clave para la productividad. Recuperado de: [https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/fertilizacion\\_de\\_cafetales\\_clave\\_para\\_la\\_productividad/](https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/fertilizacion_de_cafetales_clave_para_la_productividad/)

FórumCafé. (2008). El cambio climático podría acabar con el café. Infocafes. Recuperado de: [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/F-37\\_Cambio\\_climatico\\_y\\_cafe.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/F-37_Cambio_climatico_y_cafe.pdf)

Fournier, L. (1987). El cultivo del cafeto (*Coffea arabica*), al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense. 12 (01). 01-02. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v12n01\\_131.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v12n01_131.pdf)

Globale methane. (2008). La importancia del metano y las actividades de reducción de emisiones. Recuperado de: [https://www.globalmethane.org/documents/methane\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/methane_fs_spa.pdf)

Herrera, J; Rojas, J; Rodríguez, S; Rojas, A; Beita, V. (2016). Determinación de emisiones de metano en tres embalses hidroeléctricos en Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. 27p.

Holdridge, L. (1967). LifeZoneEcology. Edición revisada. CCT. San José, Costa Rica.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Participación del sector agropecuario latinoamericano en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en otros foros internacionales.

- (2014). San José, Costa Rica. Recuperado de [http://infoagro.net/archivos\\_Infoagro/Ambiente/biblioteca/ES\\_213vbfh225561.pdf](http://infoagro.net/archivos_Infoagro/Ambiente/biblioteca/ES_213vbfh225561.pdf)
- Isaza, C. (2014). Cambio climático y su impacto en el cultivo de café. Recuperado de: <http://www.agrolearning.com/educacion/file.php/123/materialEstudio/CambioClimaticoYCafe.pdf>
- Kameko, C. (2003). *Determinación del potencial de mineralización de nitrógeno de bocashi, compost y lombricompost producidos en Earth*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Earth. Recuperado de: [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/determinacion\\_del\\_potencial\\_n.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/determinacion_del_potencial_n.pdf)
- Kohai, R. (2009). *Moringa oleifera*. Fuente de Permacultura. Recuperado de: <https://fuentedepermacultura.org/fichas-de-especies-vegetales/moringa-oleifera/>
- López, A et al. (2018). Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas. Vol 36(1). Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n1/2145-9371-inde-36-01-00003.pdf>
- Lourd, A; Báez, D; García, M; Castro, J. (2010). Emisiones de Óxido nitroso en un suelo cultivado con maíz tras el aporte de distintos tipos de fertilizantes. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. La Coruña, España. Recuperado de: <http://ciam.gal/uploads/publicacions/841archivo.pdf>
- Memoria del 1er Foro Estatal. (2011) “Vulnerabilidad y adaptación del sector cafetalero ante el cambio climático”. Café y cambio climático. Chiapas, México. Recuperado en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7608e/A7608e.pdf>
- Montenegro, J; Abarca, S. (2001). Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 67 p. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-6074.pdf>

- Montenegro, J; Herrera, J. (2013). Emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en el sistema de producción café sin sombra en Costa Rica. *Tópicos meteorológicos y oceanográficos*. Vol 12. San José, Costa Rica.
- Monroig, M. (2016). El cafeto y el cambio climático. Puerto Rico. Recuperado de: [http://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1657/El\\_Cafeto\\_y\\_el\\_Cambio\\_Climatico.pdf](http://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1657/El_Cafeto_y_el_Cambio_Climatico.pdf)
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2018a). NAMA Café: una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones. NAMA Café de Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/informacion/prog-nac-cafe-NAMA-herramienta-desarrollo-bajo-en-emisiones.pdf>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2018b). NAMA Café: una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones. NAMA Café de Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/cambio-climatico/cop18-Caso-NAMA-Cafe.pdf>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2018c). NAMA Café de Costa. Recuperado de: <http://www.namacafe.org/es/nama-cafe-de-costa-rica>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2019a). Cadena de valor del café. NAMA Café de Costa Rica. Recuperado de: <https://www.namacafe.org/es/cadena-de-valor-del-cafe>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2019b). Mediante la NAMA Café se obtendrán beneficios importantes de desarrollo sostenible: Beneficios socioeconómicos: aumento en el nivel de vida. NAMA Café de Costa Rica. Recuperado de: <https://www.namacafe.org/es/impactos>
- Nojonen, M *et al.* (2012). Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. *Agriculture, ecosystems and environment*. Volumen 151. 6-15 p.



- Omicrono. (2013). Plantando árboles luchamos contra los gases de efecto invernadero. El español. Recuperado de: <https://omicrono.lespanol.com/2013/03/plantando-arboles-luchamos-contra-los-gases-de-efecto-invernadero/>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2014). Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/218907/icode/>
- Puentes, J. (2014). La moringa, un nuevo recurso vegetal para la alimentación, la salud humana y la generación de energía renovable. Revista Cultural Mito, N°33. Recuperado de: <http://revistamito.com/la-moringa-un-nuevo-recurso-vegetal-para-la-alimentacion-la-salud-humana-y-la-generacion-de-energia-renovable/>
- Richards, M. (2013). ¿Es posible reducir las emisiones en la agricultura, a la vez que se mantienen los rendimientos? Climate Change Agriculture and Food Security. Recuperado de: <https://ccafs.cgiar.org/es/blog/%C2%BFes-posible-reducir-las-emisiones-en-la-agricultura-la-vez-que-se-mantienen-los-rendimientos#.XjyHAGhKiUk>
- Rikxoort, H; Schroth, G; Läderach, P; Rodriguez, B. (2015). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy for Sustainable Development*. Springer. 34 (4) 887-897 p.
- Saynes, V. Etchevers, J. Paz, F. Alvarado, L. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00083.pdf>
- Segura, M y Andrade, H. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. Scielo. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n35/n35a05.pdf>
- Sinc. (2010). Fertilizantes orgánicos contra el cambio climático. Recuperado de: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Fertilizantes-organicos-contra-el-cambio-climatico>

Snyder, C. Bruulsema, T. Jensen, T. (2007). Mejores prácticas de manejo para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de fertilizantes. International plant nutrition institute. Recuperado de: [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/1523EB64F3E5C940052574CE00733B4F/\\$file/Mejores+Pr%C3%A1cticas+de+Manejo+para+Minimizar+Emisiones+de+Gases.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/1523EB64F3E5C940052574CE00733B4F/$file/Mejores+Pr%C3%A1cticas+de+Manejo+para+Minimizar+Emisiones+de+Gases.pdf)

Sorgato, V. (2016). Emisión de CO<sub>2</sub> tiene un lado positivo. El Comercio. Recuperado de: <https://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/febrero21-2016/emision-co2-beneficios-cultivos-cafe>

Zamora, M. (2018). Cambio Climático. Revista Mexicana De Ciencias Forestales, 6(31), 4-7. Recuperado de: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/190>

## CAPITULO VIII

### ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
CS-FO	1	Valor	12	0,28	0,21	37989,71	161,06 162,52

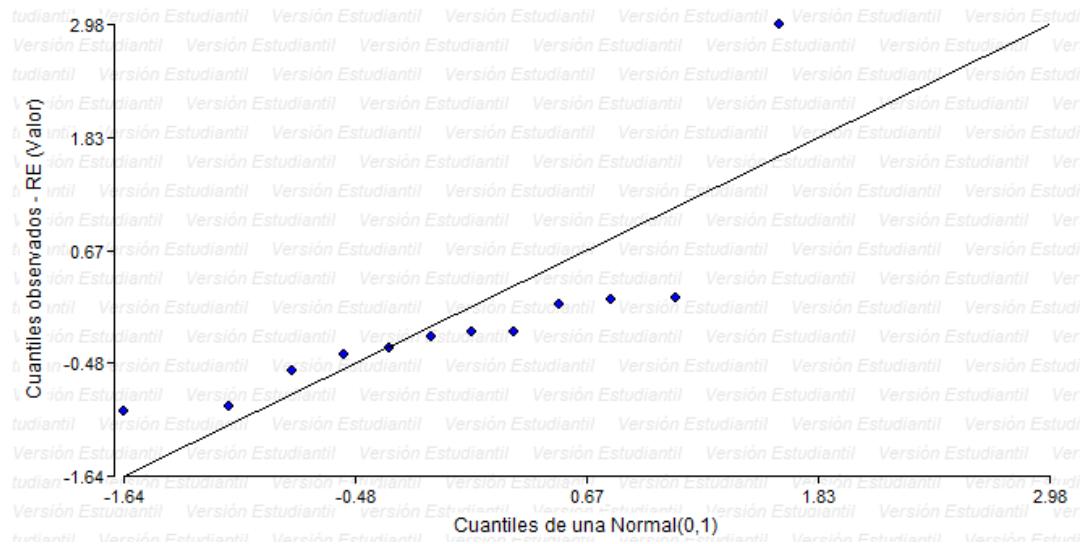
Anexo 2. Coeficientes de regresión y estadísticas asociados para para la fertilización 1 en los tratamientos con sombra y fertilización orgánica para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	980,25	119,89	713,11	1247,39	8,18	<0,0001			
Muestreo	-87,22	43,78	-184,76	10,33	-1,99	0,0743			3,97
	1,00								

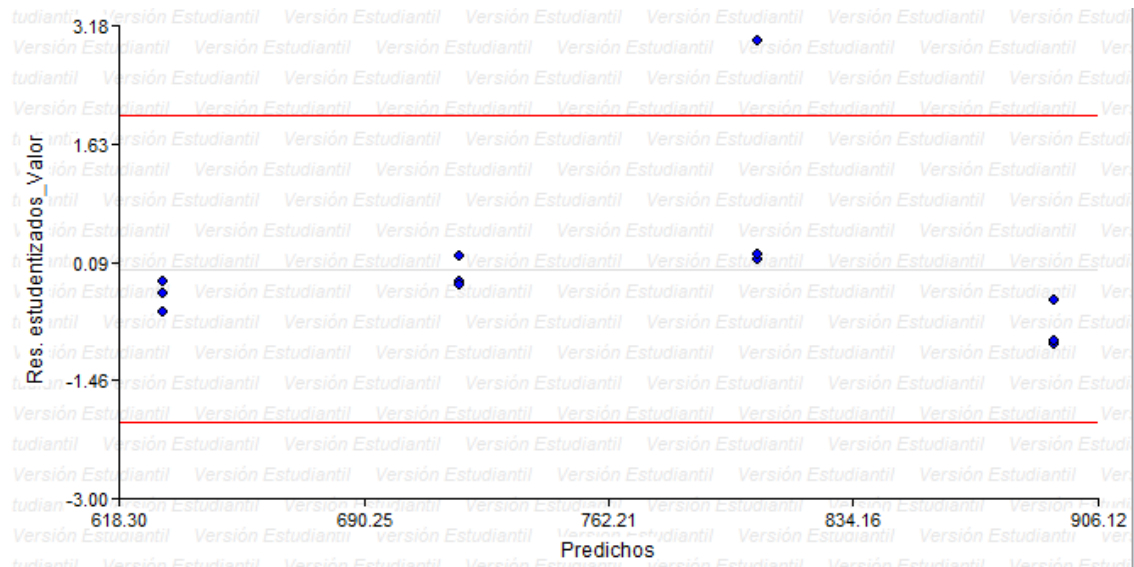
Anexo 3. Análisis de la varianza para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	114101,20	1	114101,20	3,97	0,0743
Muestreo	114101,20	1	114101,20	3,97	0,0743
Error	287483,78	10	28748,38		
Total	401584,98	11			

Anexo 4. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 5. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 6. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	1	Valor	12	0,53	0,49	6181,21	139,18	140,64

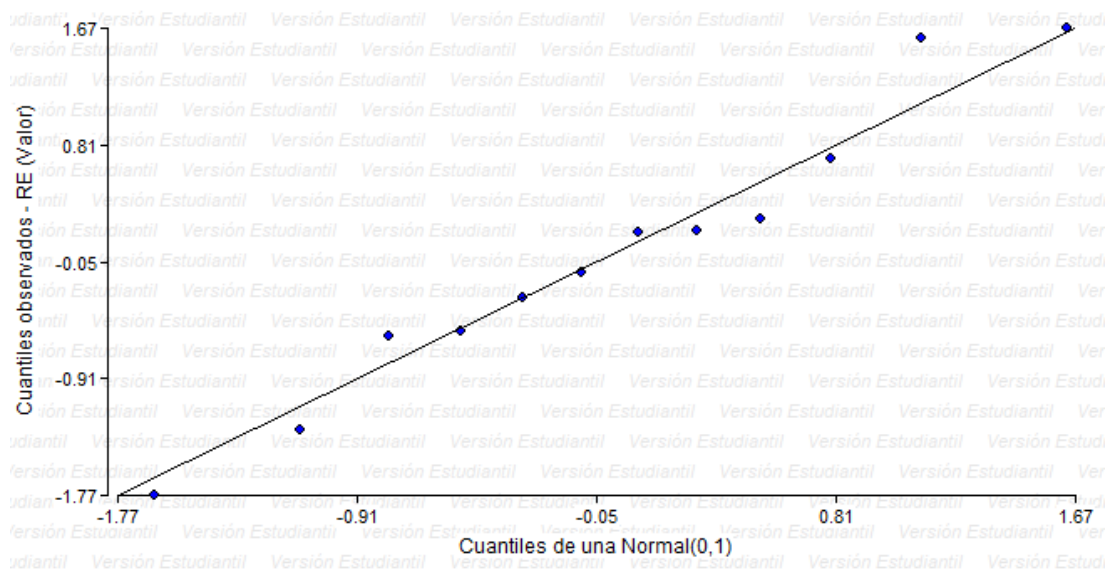
Anexo 7. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	786,38	48,18	679,03	893,72	16,32	<0,0001			
Muestreo	-59,45	17,59	-98,65	-20,25	-3,38	0,0070		11,42	1,00

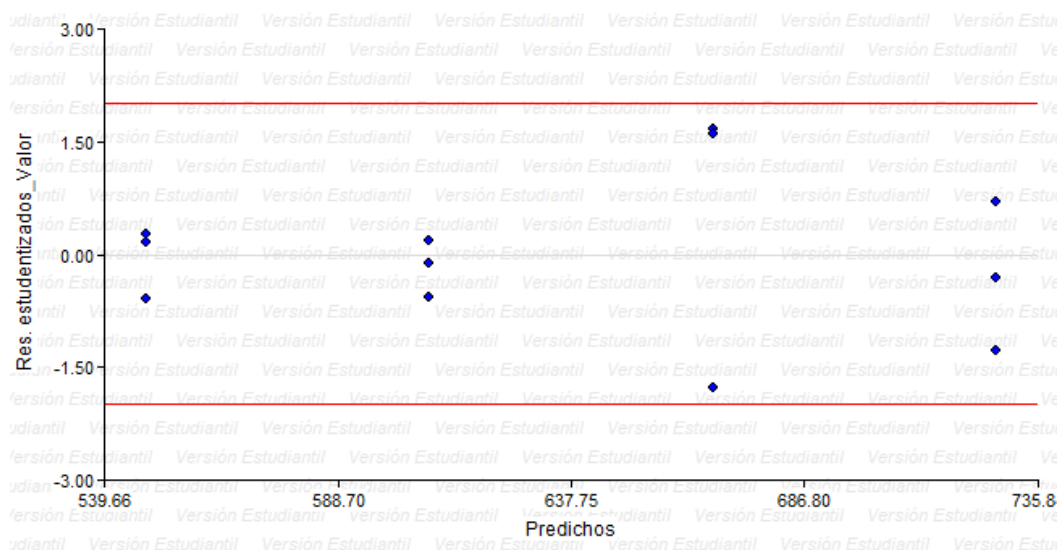
Anexo 8. Análisis de la Varianza (SC tipo III) para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53014,54	1	53014,54	11,42	0,0070
Muestreo	53014,54	1	53014,54	11,42	0,0070
Error	46424,34	10	4642,43		
Total	99438,88	11			

Anexo 9. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 10. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 11. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra con fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
SS-FO	1	Valor	12	0.01	0.00	19041.51	152.66 154.11

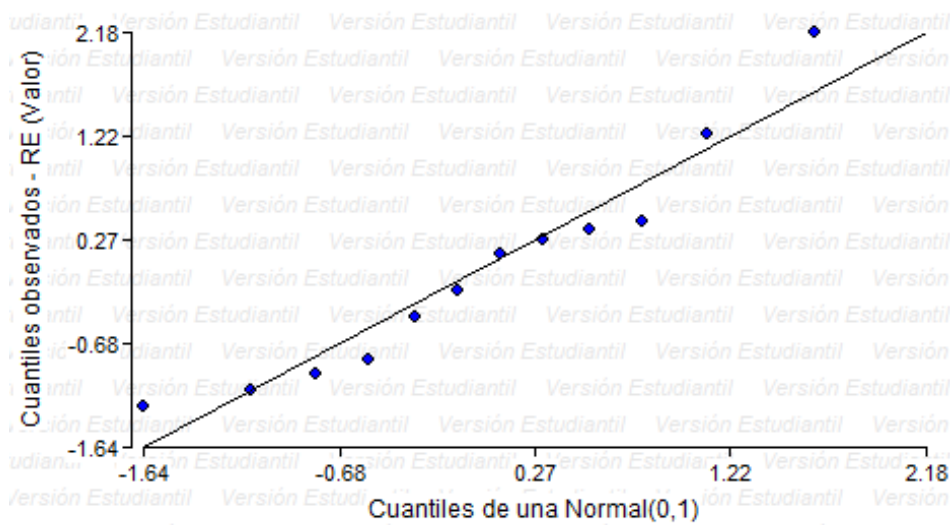
Anexo 12. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra con fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	635.21	84.47	447.00	823.42	7.52	<0.0001			
Muestreo	-7.11	30.84	-75.83	61.62	-0.23	0.8224		1.14	1.00

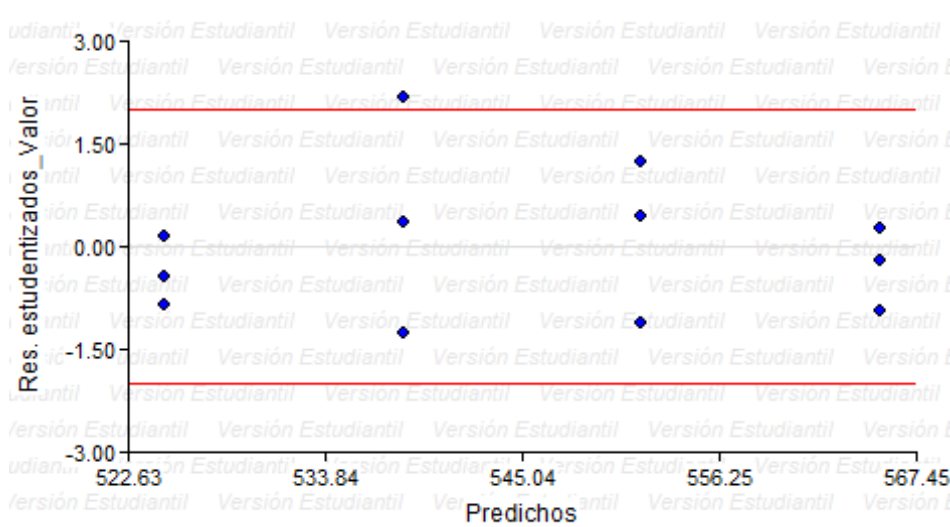
Anexo 13. Cuadro de Análisis de la varianza para los tratamientos sin sombra con fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.		757.93	1	757.93	0.05 0.8224
Muestreo		757.93	1	757.93	0.05 0.8224
Error	142705.96	10	14270.60		
Total	143463.89	11			

Anexo 14. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 15. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 16. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
SS-FM	1	Valor	12	0.28	0.21	23080.83	153.94 155.40

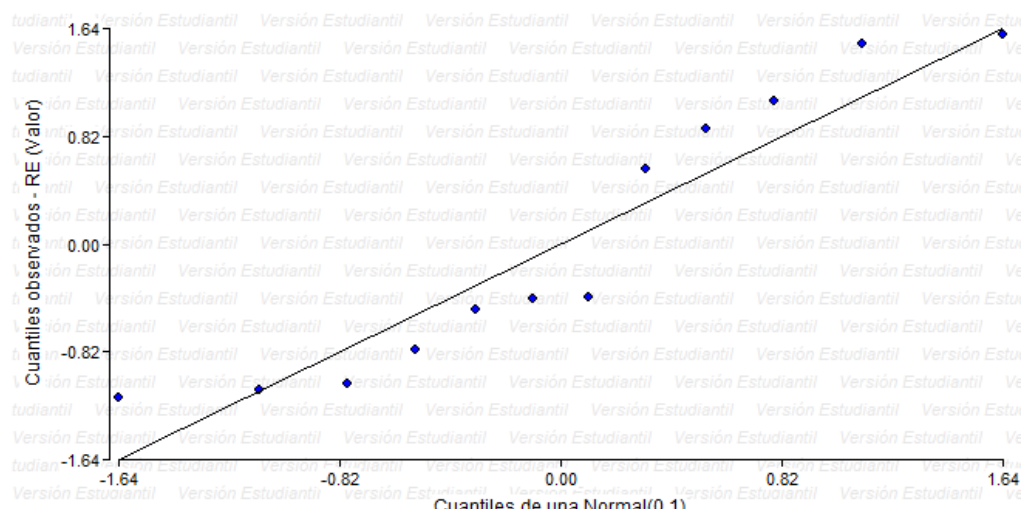
Anexo 17. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	766.96	89.12	568.39	965.53	8.61	<0.0001			
Muestreo	-64.70	32.54	-137.21	7.81	-1.99	0.0748			4.68
	1.00								

Anexo 18. Análisis de la Varianza para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.

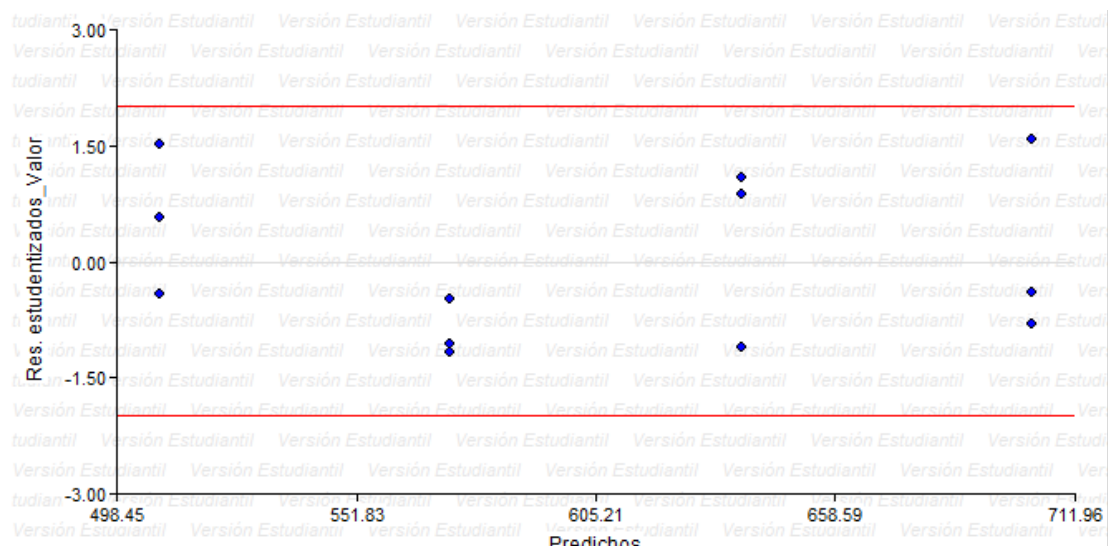
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	62791.35	1	62791.35	3.95	0.0748
Muestreo	62791.35	1	62791.35	3.95	0.0748
Error	158850.00	10	15885.00		
Total	221641.35	11			

Anexo 19. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.





Anexo 20. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 21. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
CS-FO	2	Valor	12	0.05	0.00	454436.92	191.00 192.46

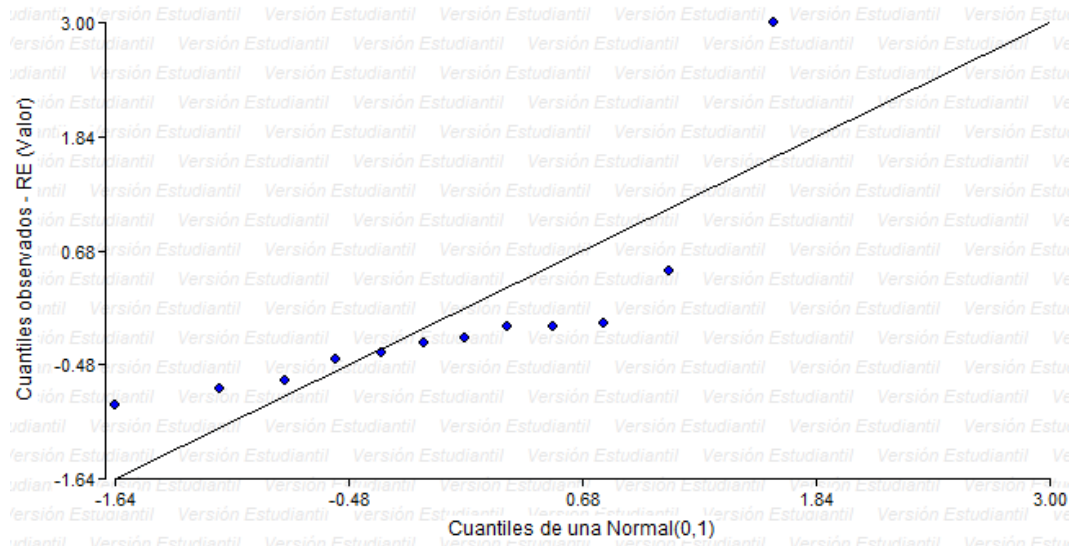
Anexo 22. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	949.54			417.39	19.54 1879.54	2.27	0.0462			
Muestreo	-105.11			152.41	-444.70	234.48		-0.69	0.5061	
	1.52	1.00								

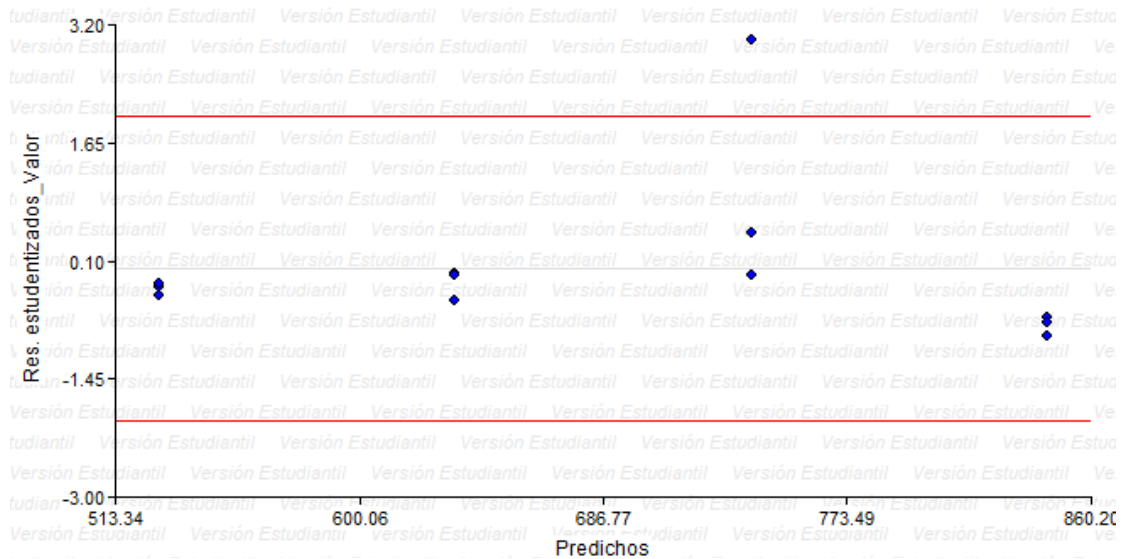
Anexo 23. Análisis de la Varianza para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	165716.43	1	165716.43	0.48	0.5061
Muestreo	165716.43	1	165716.43	0.48	0.5061
Error	3484243.51	10	348424.35		
Total	3649959.93	11			

Anexo 24. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 25. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 26. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral para la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
CS-FM	2	Valor	12	3.6E-03	0.00	5624.77	137.78
<u>139.23</u>							

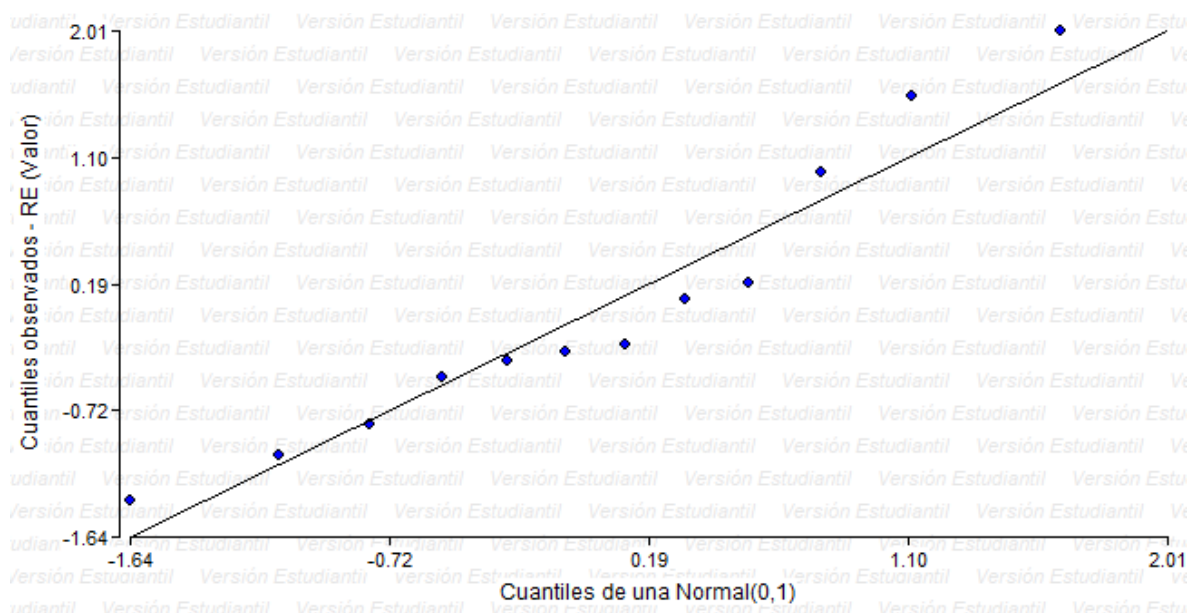
Anexo 27. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos con sombra y fertilización mineral para la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	495.67	45.44	394.42	596.91	10.91	<0.0001			
Muestreo	-3.16	16.59	-40.13	33.81	-0.19	0.8528		1.12	1.00

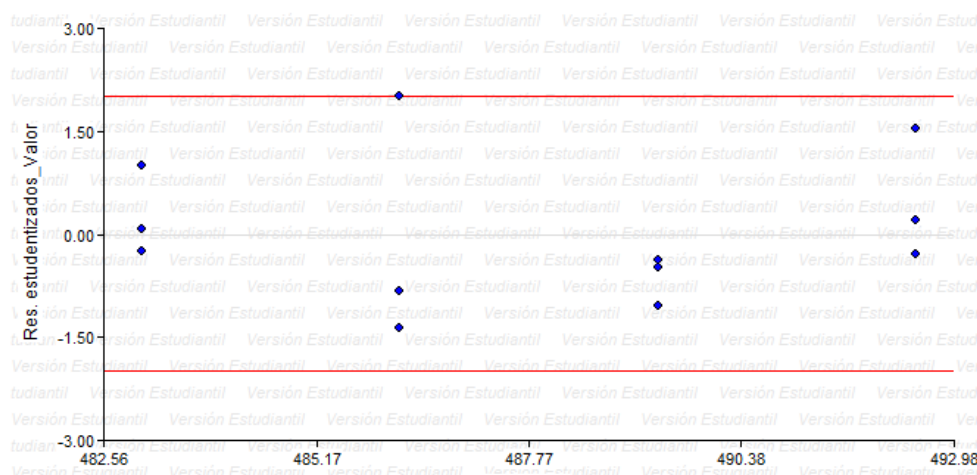
Anexo 28. Análisis de la Varianza para los tratamientos con sombra y fertilización mineral para la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.		149.63	1	149.63	0.04
Muestreo		149.63	1	149.63	0.04
Error	41292.06	10	4129.21		
Total	41441.68	11			

Anexo 29. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 30. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 31. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
SS-FO	2	Valor	12	0.04	0.00	329033.23	186.84 188.29

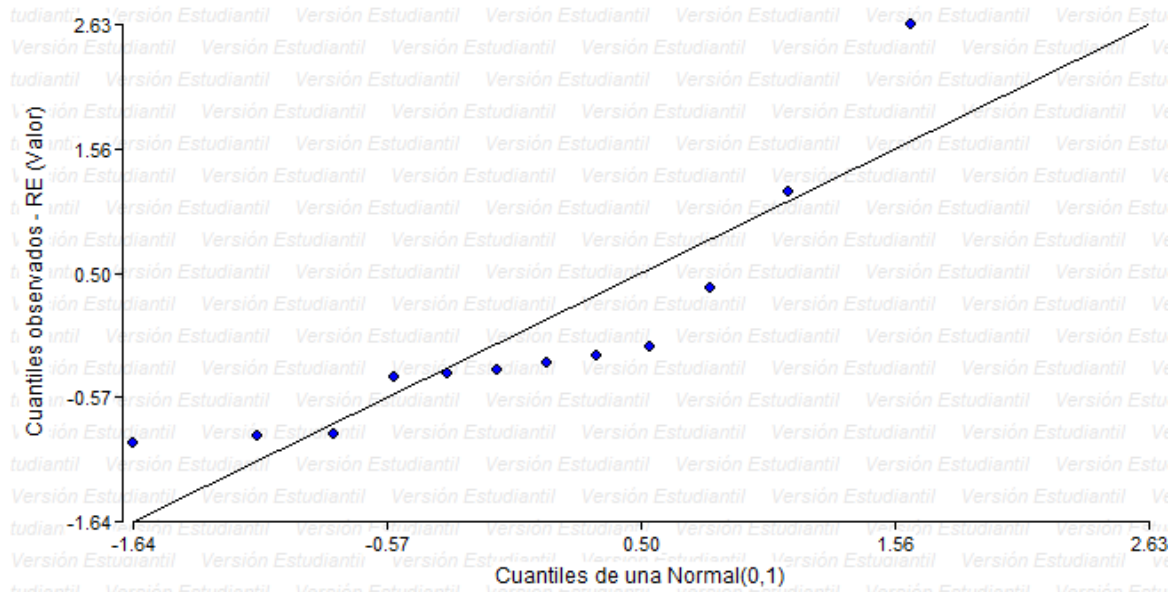
Anexo 32. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	926.38	350.93	144.46	1708.29	2.64	0.0247			
Muestreo	-81.83	128.14	-367.34	203.69	-0.64	0.5375			1.46

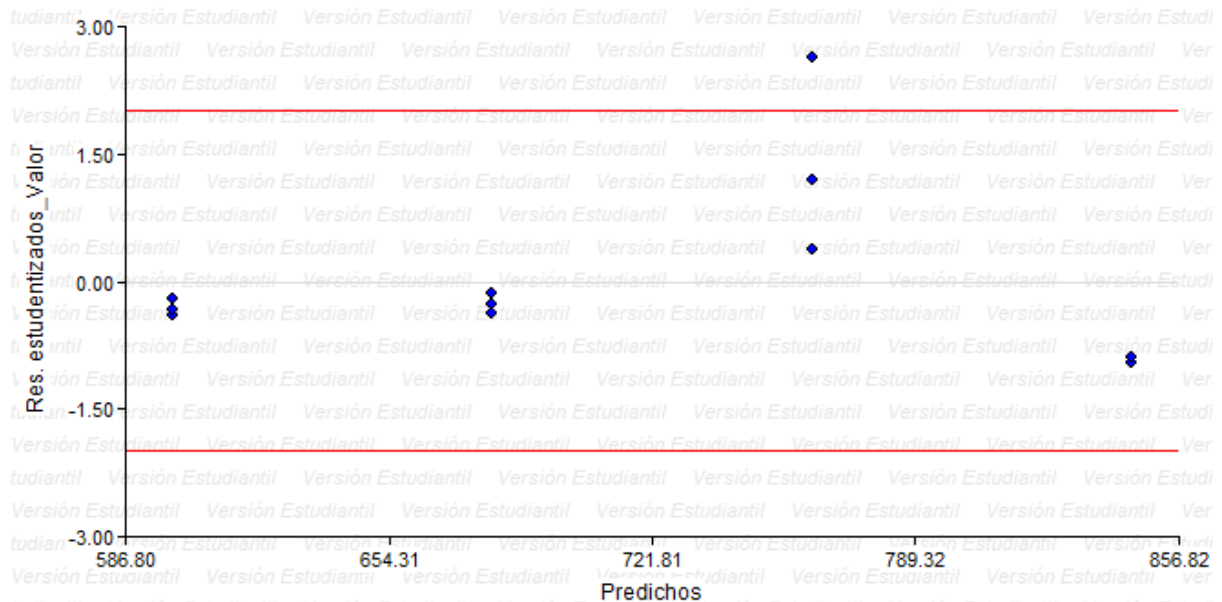
Anexo 33. Análisis de la Varianza para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	100429.96	1	100429.96	0.41	0.5375
Muestreo	100429.96	1	100429.96	0.41	0.5375
Error	2462982.31	10	246298.23		
Total	2563412.27	11			

Anexo 34. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 35. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 36. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
SS-FM	2	Valor	12	1.6E-04	0.00	6881.94	139.67
<u>141.13</u>							

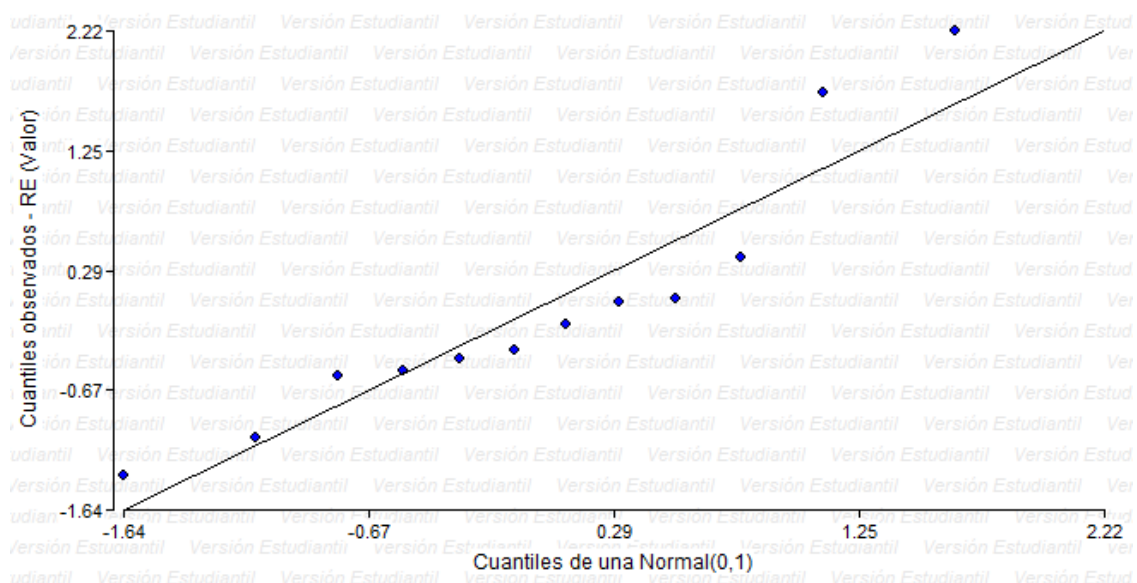
Anexo 37. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	523.46	49.17	413.90	633.02	10.65	<0.0001			
Muestreo	0.72	17.95	-39.28	40.73	0.04	0.9686	1.09	1.00	

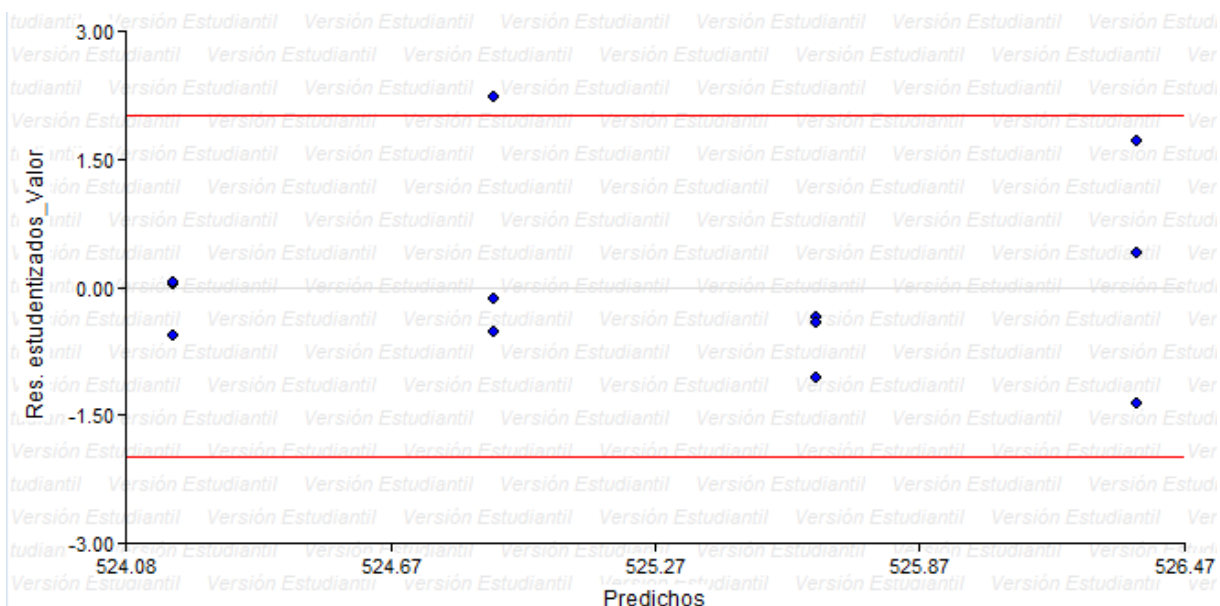
Anexo 38. Análisis de la Varianza (para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral en la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.		7.88	1	7.88	1.6E-03
Muestreo		7.88	1	7.88	1.6E-03
Error	48354.42		10	4835.44	
Total	48362.31		11		

Anexo 39. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 40. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 41. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
CS-FO	3	Valor	12	4.8E-03	0.00	53203.09	164.96
							166.41

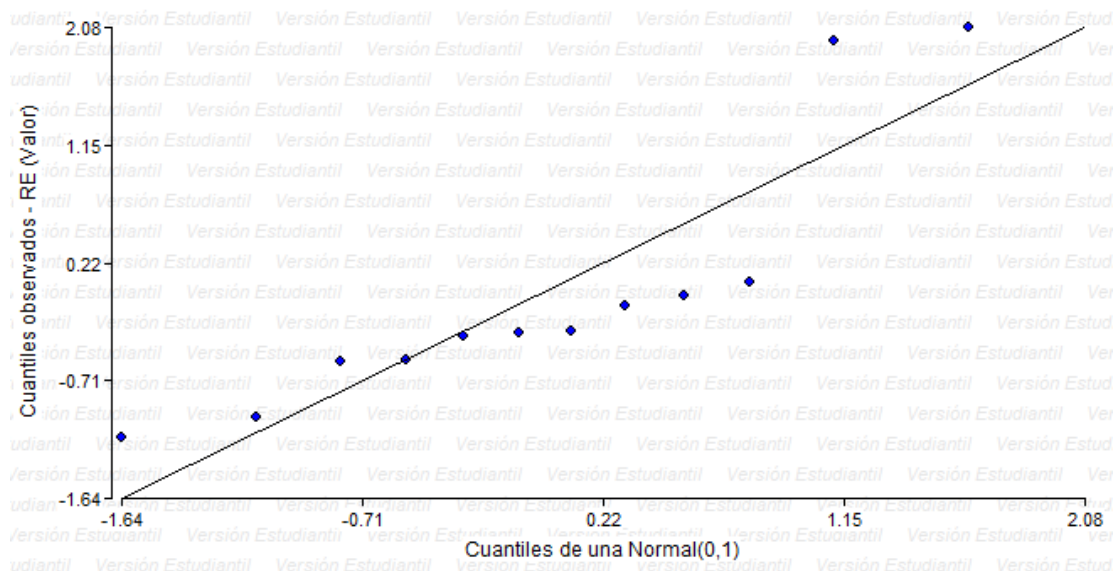
Anexo 42. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	581.96	141.01	267.76	896.16	4.13	0.0021			
Muestreo	11.28	51.49	-103.45	126.01	0.22	0.8310			1.13
									1.00

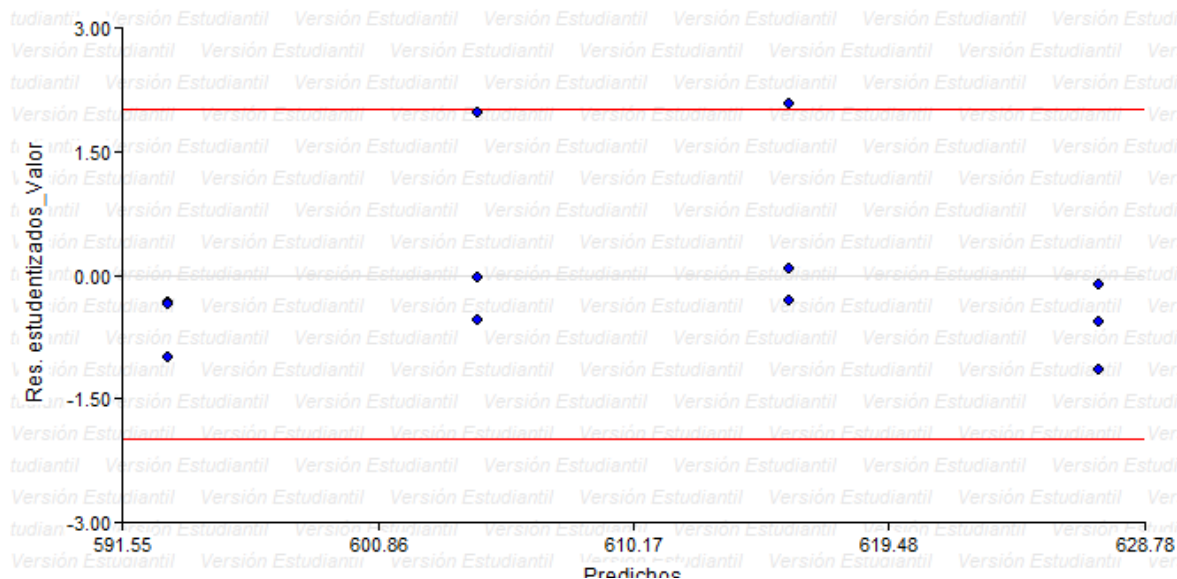
Anexo 43. Análisis de la Varianza para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1909.70	1	1909.70	0.05	0.8310
Muestreo	1909.70	1	1909.70	0.05	0.8310
Error	397694.21	10	39769.42		
Total	399603.92	11			

Anexo 44. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 45. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 46. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC
CS-FM	3	Valor	12	0.01	0.00	1975.79	124.41 125.87



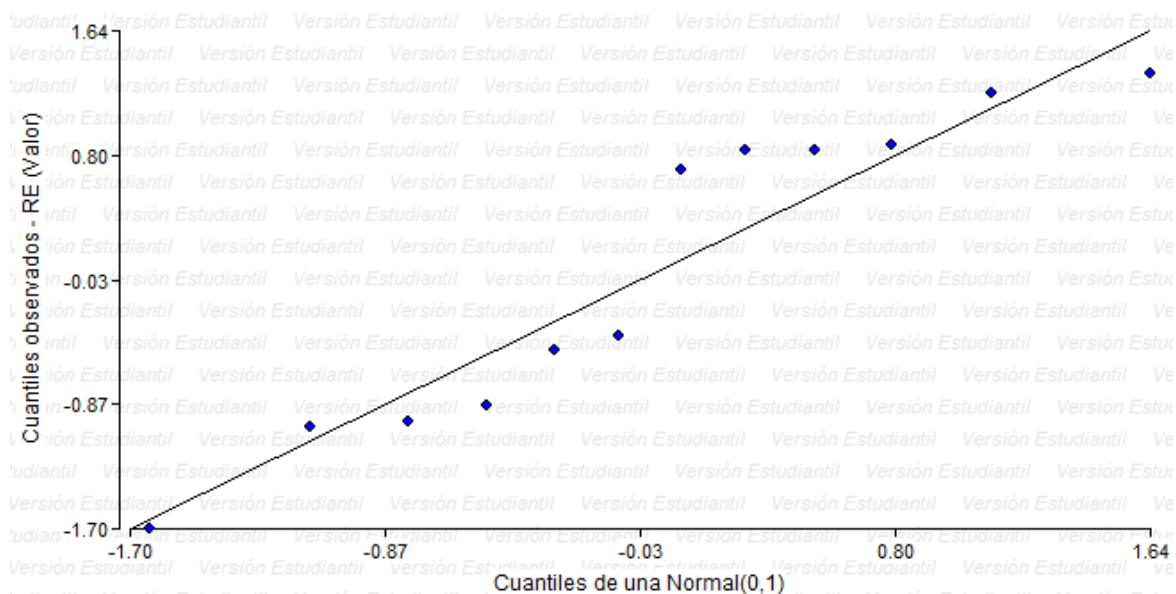
Anexo 47. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	471.88	26.04	413.86	529.89	18.12	<0.0001			
Muestreo		2.88	9.51	-18.30	24.07	0.30	0.7679	1.17	1.00

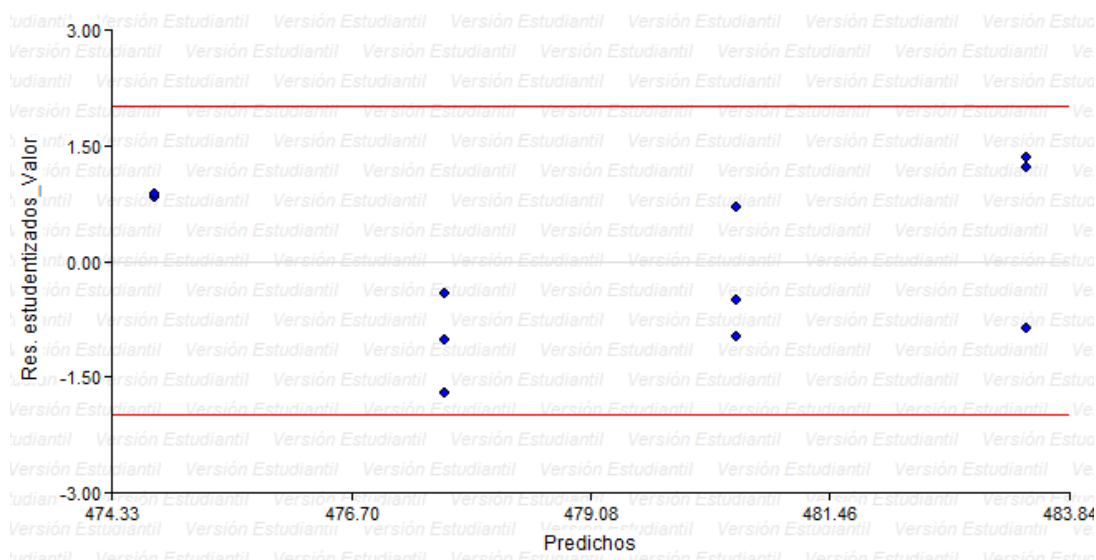
Anexo 48. Análisis de la Varianza para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo.		124.70		1	124.70	0.09	0.7679
Muestreo		124.70		1	124.70	0.09	0.7679
Error	13560.59		10	1356.06			
Total	13685.29		11				

Anexo 49. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 50. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 51. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	3	Valor	12	0.07	0.00	4699.10	136.14	137.60

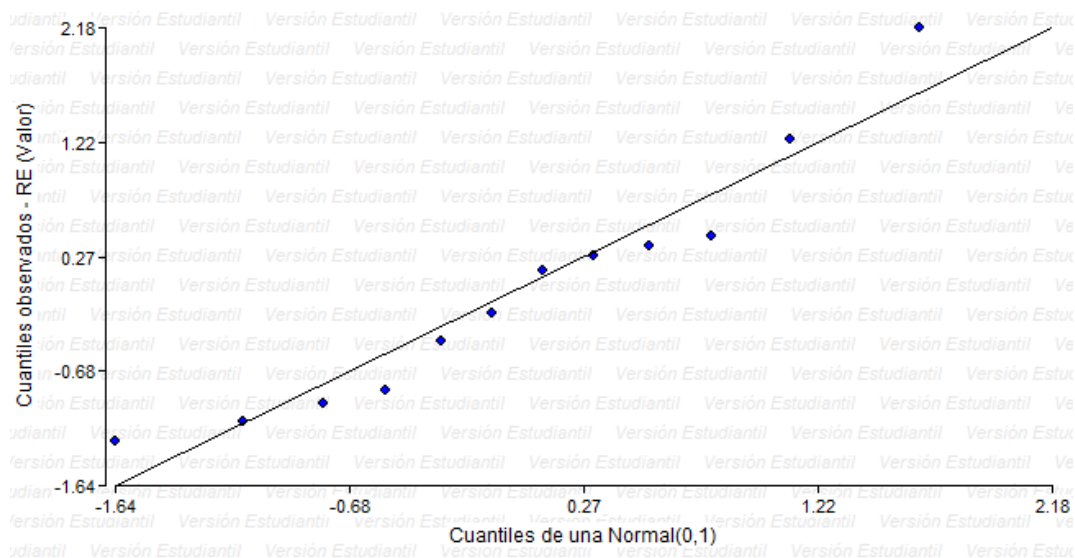
Anexo 52. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	511.08	42.45	416.51	605.66	12.04	<0.0001			
Muestreo		13.58	15.50	-20.95 48.12	0.88	0.4014		1.79	1.00

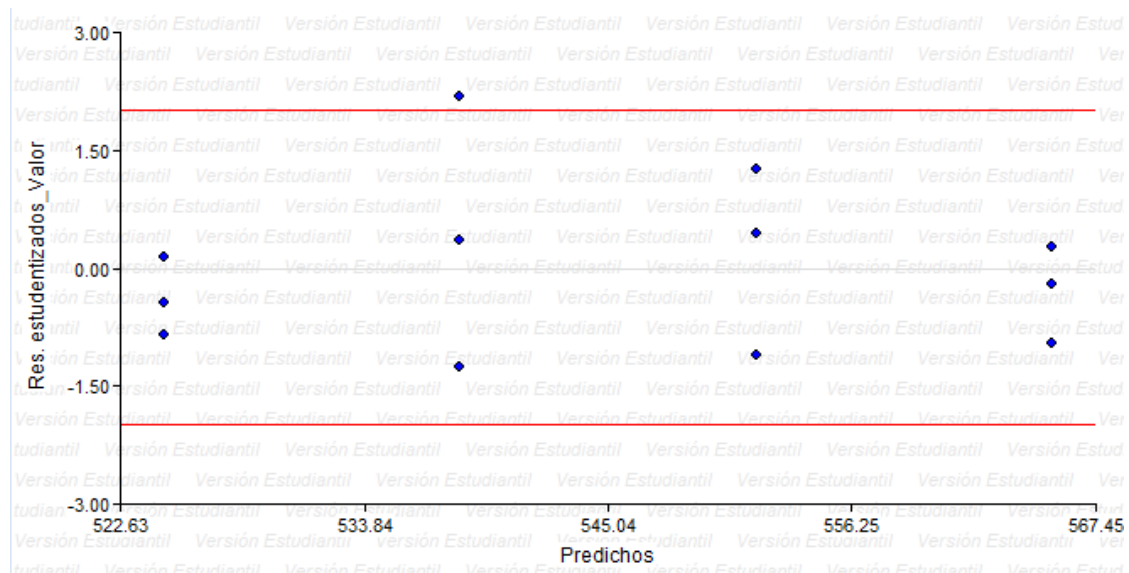
Anexo 53. Cuadro de Análisis de la Varianza para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2767.60	1	2767.60	0.77	0.4014
Muestreo	2767.60	1	2767.60	0.77	0.4014
Error	36034.88	10	3603.49		
Total	38802.48	11			

Anexo 54. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 55. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 56. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP
<u>AIC</u>	<u>BIC</u>					
SS-FM	3	Valor	12	0.10	0.01	7798.87 142.22 143.68

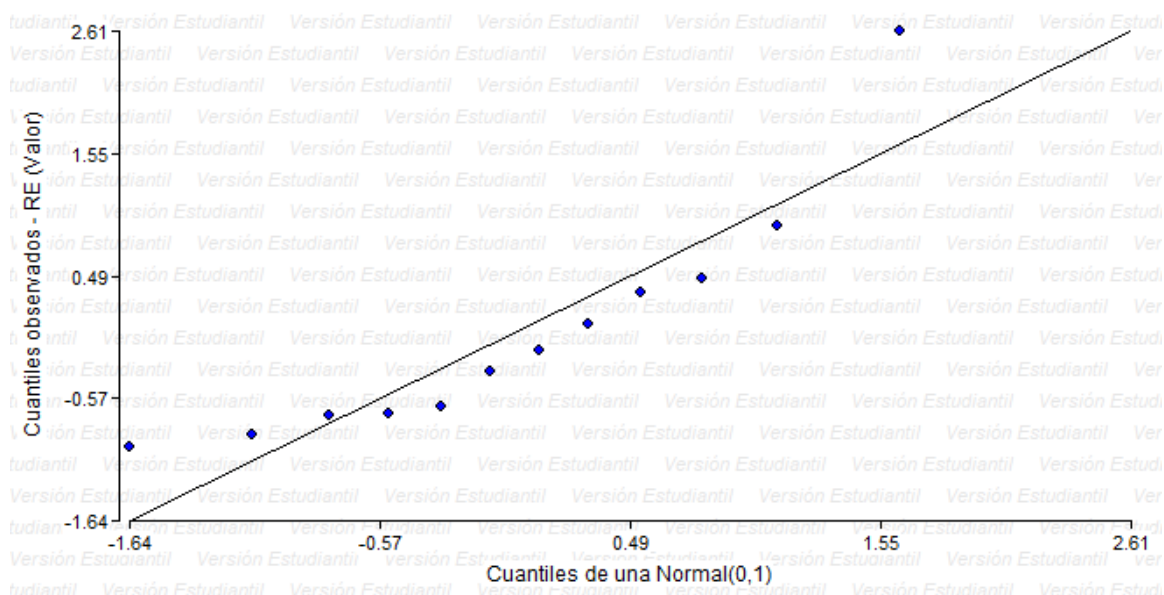
Anexo 57. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	444.75	54.68	322.91	566.59	8.13	<0.0001			
Muestreo		20.53	19.97	-23.97 65.02	1.03	0.3282		2.05	1.00

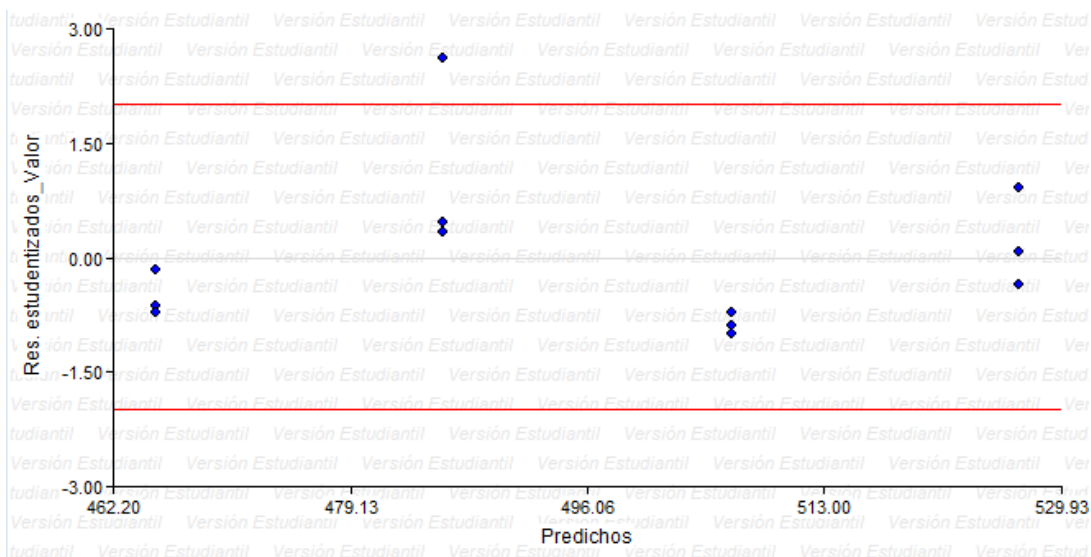
Anexo 58. Análisis de la Varianza para los tratamientos sin sombra con fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.		6319.13		1	6319.13 1.06 0.3282
Muestreo		6319.13		1	6319.13 1.06 0.3282
Error	59805.13		10	5980.51	
Total	66124.27		11		

Anexo 59. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 60. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CO<sub>2</sub>.



Anexo 61. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.

#### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FO	1	Valor	47	0.01	0.00	2.91	185.11	190.66

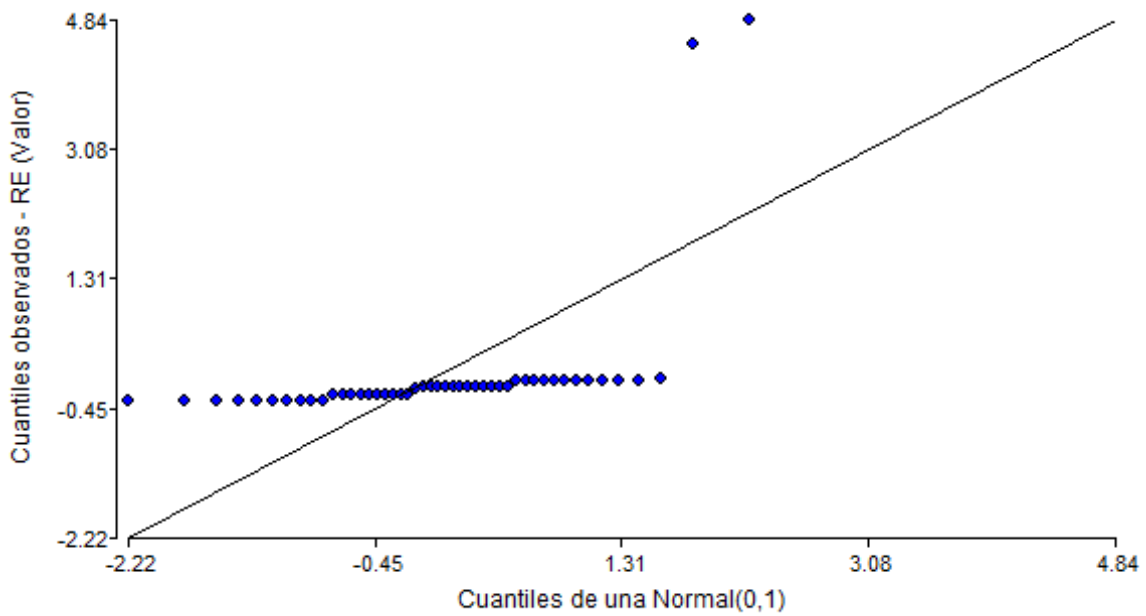
#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	Cp	Mallows	VIF
const	4.74	0.59	3.54	5.93	8.00	<0.0001			
Muestreo	-0.15	0.22	-0.59	0.29	-0.69	0.4926		0.48	1.00

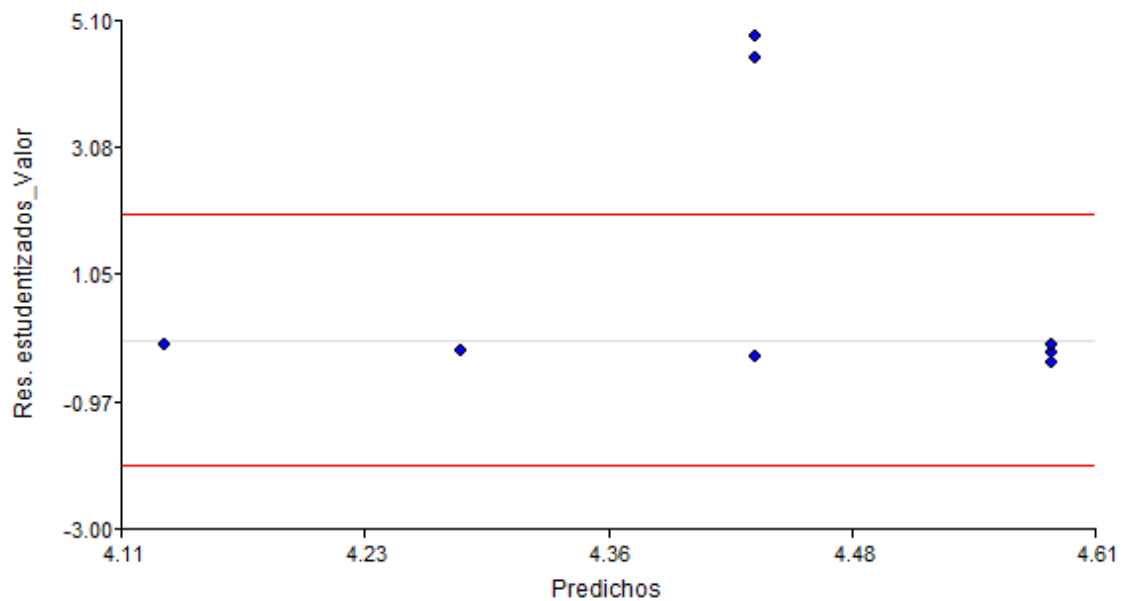
#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.32	1	1.32	0.48	0.4926
Muestreo	1.32	1	1.32	0.48	0.4926
Error	124.35	45	2.76		
Total	125.68	46			

Anexo 62. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 63. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 64. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	1	Valor	48	0.04	0.02	0.19	54.58	60.19

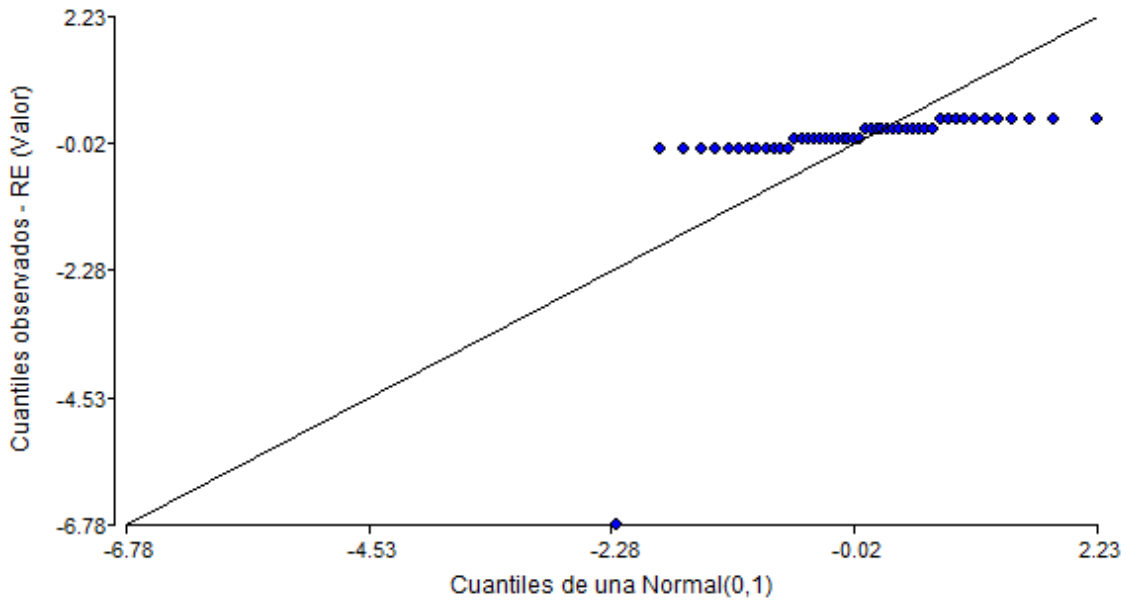
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4.12	0.14	3.83	4.41	28.42	<0.0001		
Muestreo	-0.07	0.05	-0.18	0.03	-1.35	0.1825	1.83	1.00

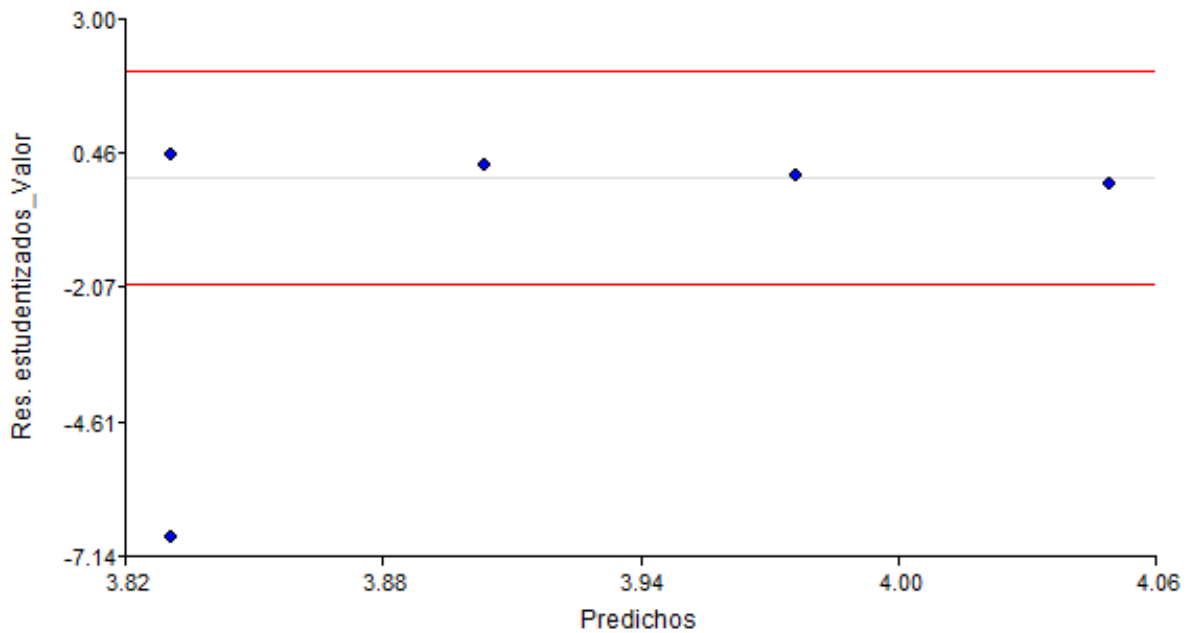
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.31	1	0.31	1.83	0.1825
Muestreo	0.31	1	0.31	1.83	0.1825
Error	7.73	46	0.17		
Total	8.04	47			

Anexo 65. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 66. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.





Anexo 67. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	1	Valor	48	0.01	0.00	82.27	346.52	352.14

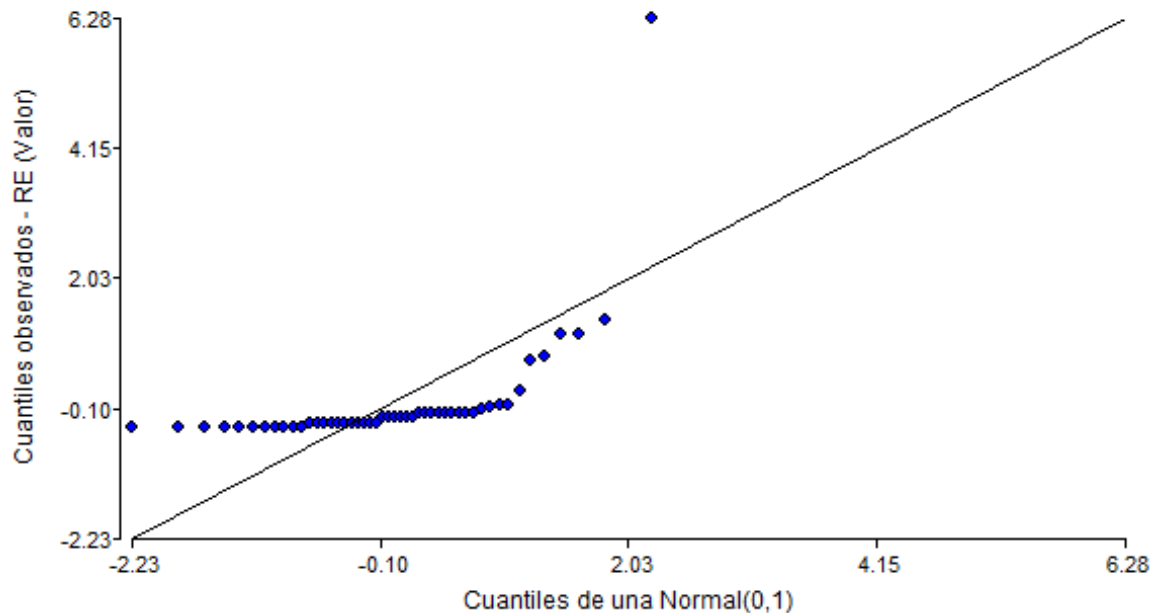
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4.68	3.03	-1.42	10.79	1.54	0.1295		
Muestreo	0.71	1.11	-1.52	2.94	0.64	0.5266	0.41	1.00

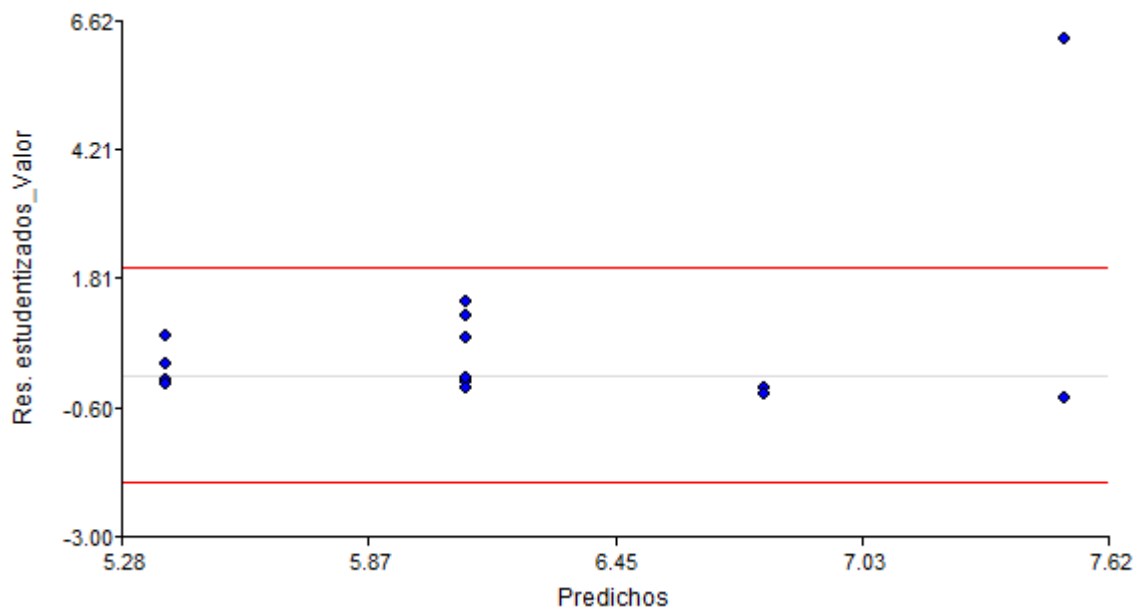
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.97	1	29.97	0.41	0.5266
Muestreo	29.97	1	29.97	0.41	0.5266
Error	3386.49	46	73.62		
Total	3416.45	47			

Anexo 68. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 69. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 70. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FM	1	Valor	47	0.05	0.03	0.83	122.93	128.48

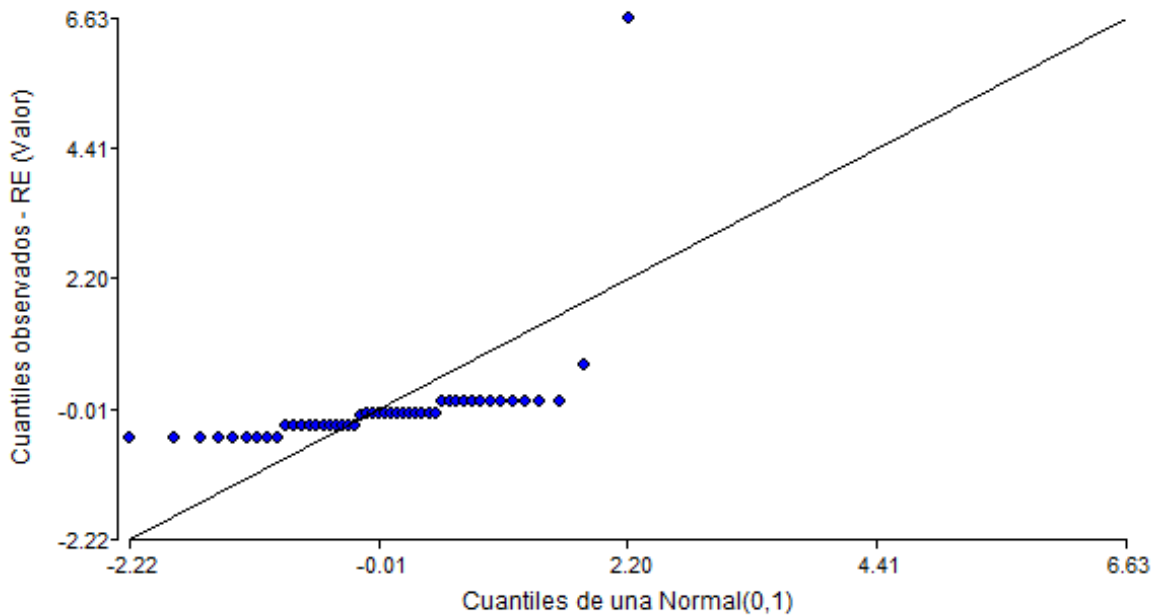
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	3.72	0.31	3.11	4.34	12.18	<0.0001		
Muestreo	0.17	0.11	-0.05	0.40	1.54	0.1314	2.36	1.00

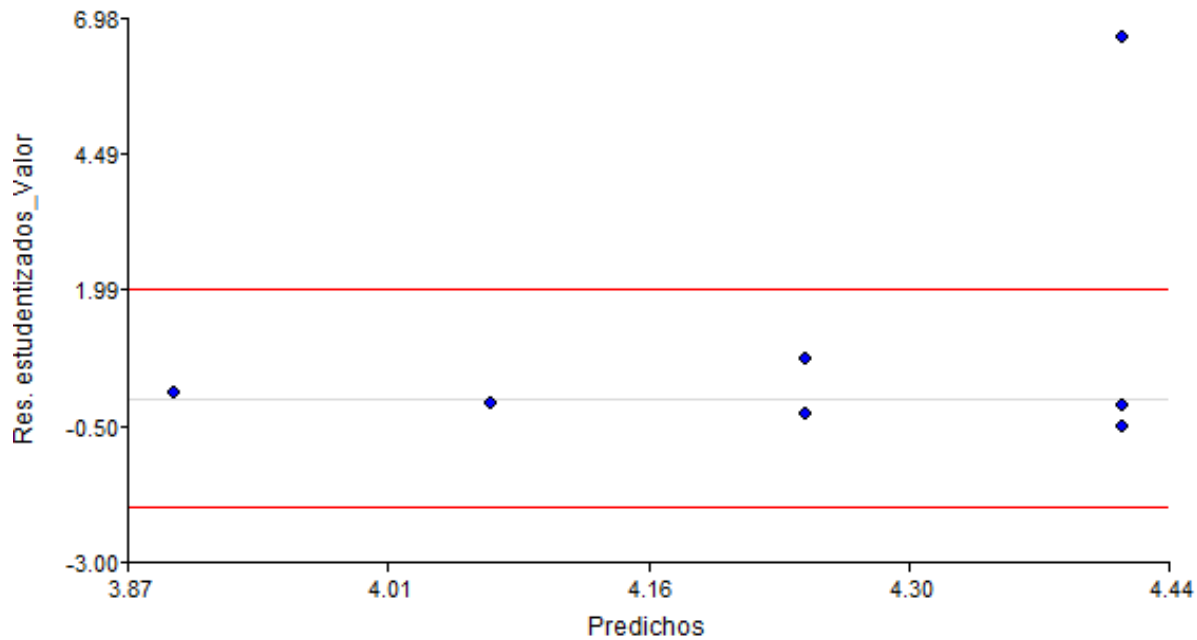
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.74	1	1.74	2.36	0.1314
Muestreo	1.74	1	1.74	2.36	0.1314
Error	33.12	45	0.74		
Total	34.86	46			

Anexo 71. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 72. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 73. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FO	2	Valor	47	0.05	0.03	80.95	338.30	343.85

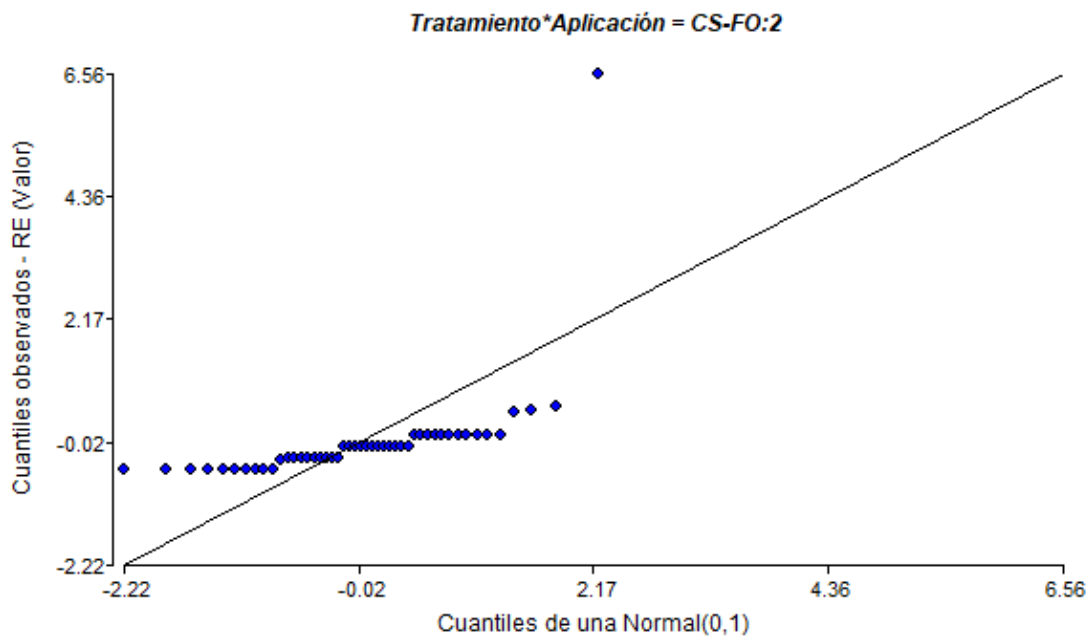
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	1.45	3.09	-4.76	7.67	0.47	0.6404		
Muestreo	1.69	1.12	-0.56	3.94	1.51	0.1377	2.28	1.00

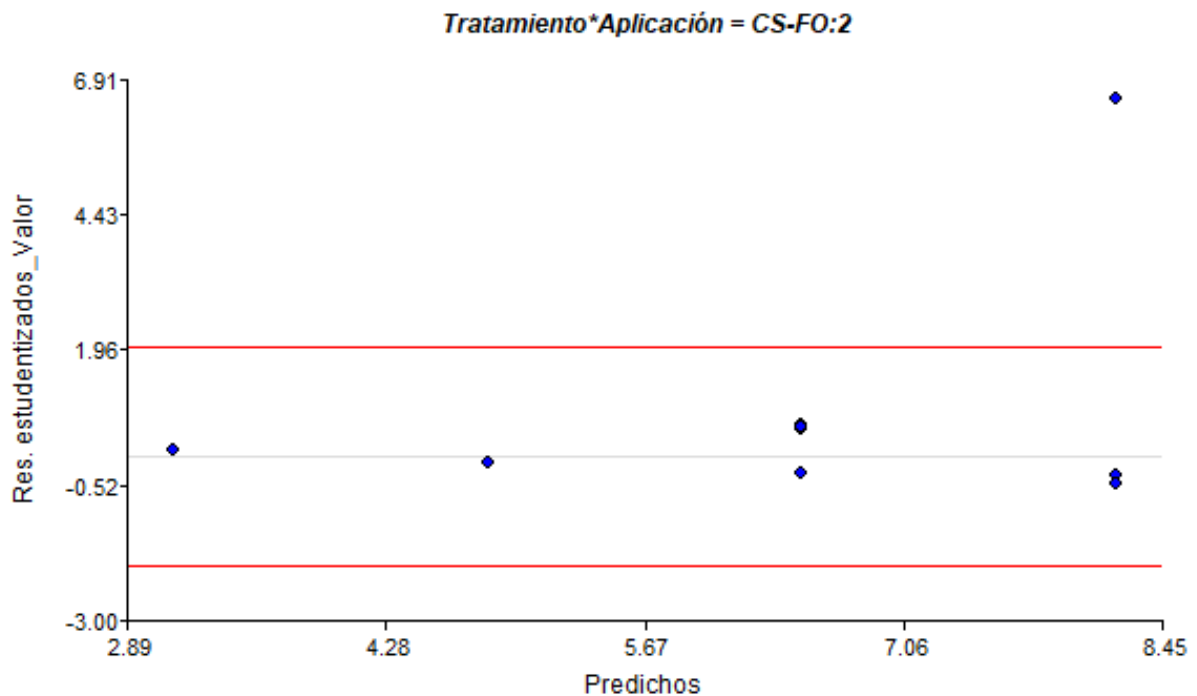
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	164.29	1	164.29	2.28	0.1377
Muestreo	164.29	1	164.29	2.28	0.1377
Error	3236.95	45	71.93		
Total	3401.24	46			

Anexo 74. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 75. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 76. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	2	Valor	47	0.01	0.00	3.41	192.42	197.97

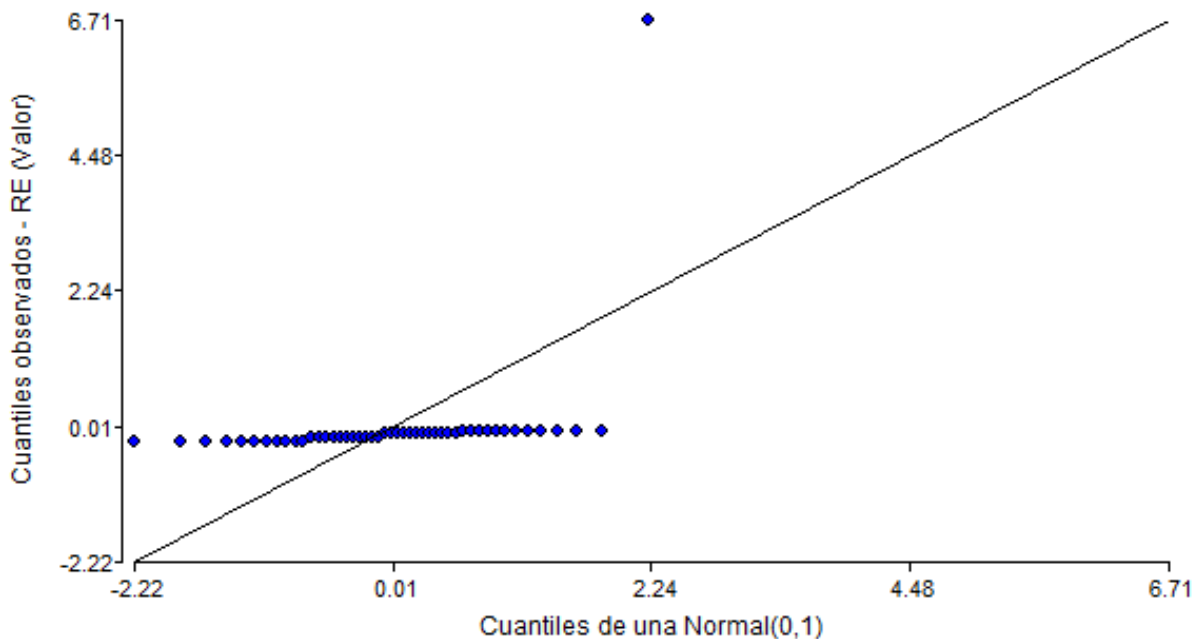
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4.54	0.65	3.23	5.86	6.95	<0.0001		
Muestreo	-0.11	0.24	-0.59	0.36	-0.48	0.6364	0.23	1.00

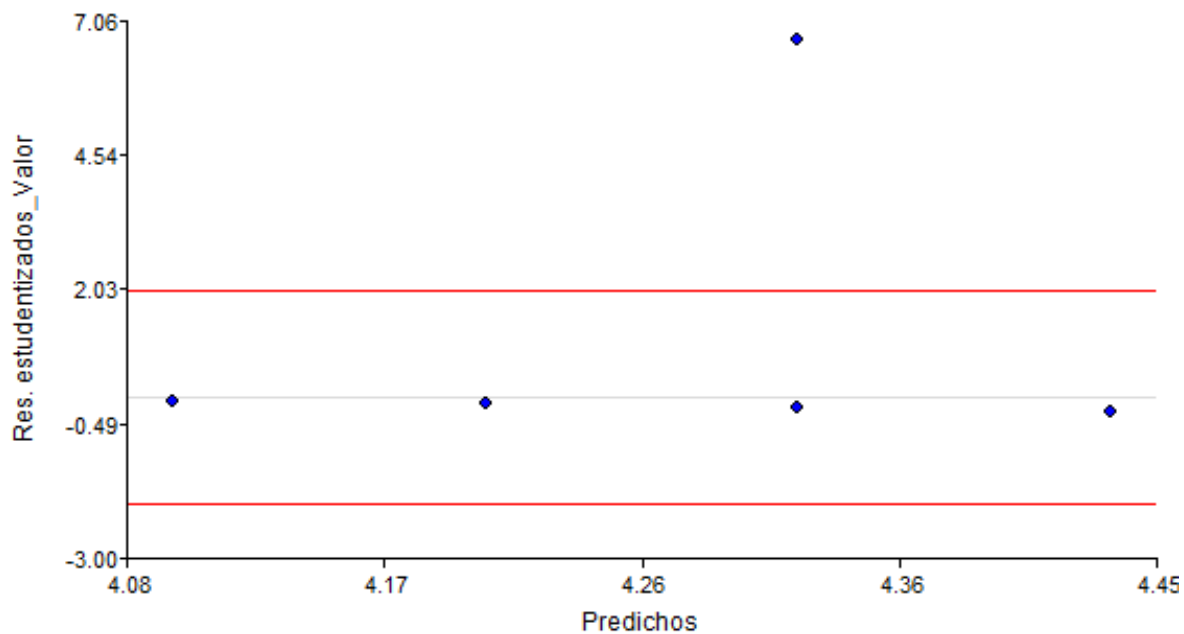
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.73	1	0.73	0.23	0.6364
Muestreo	0.73	1	0.73	0.23	0.6364
Error	145.28	45	3.23		
Total	146.01	46			

Anexo 77. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 78. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.





Anexo 79. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	2	Valor	47	0.09	0.07	467.60	420.40	425.95

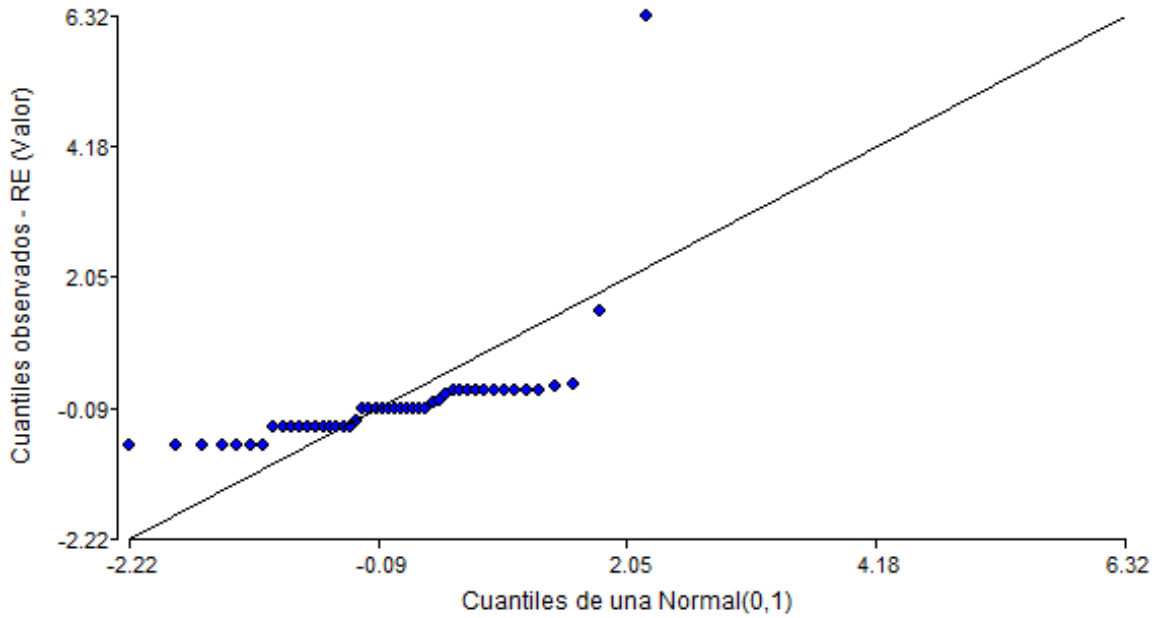
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	23.37	7.39	8.49	38.26	3.16	0.0028		
Muestreo	-5.80	2.67	-11.19	-0.42	-2.17	0.0353	4.71	1.00

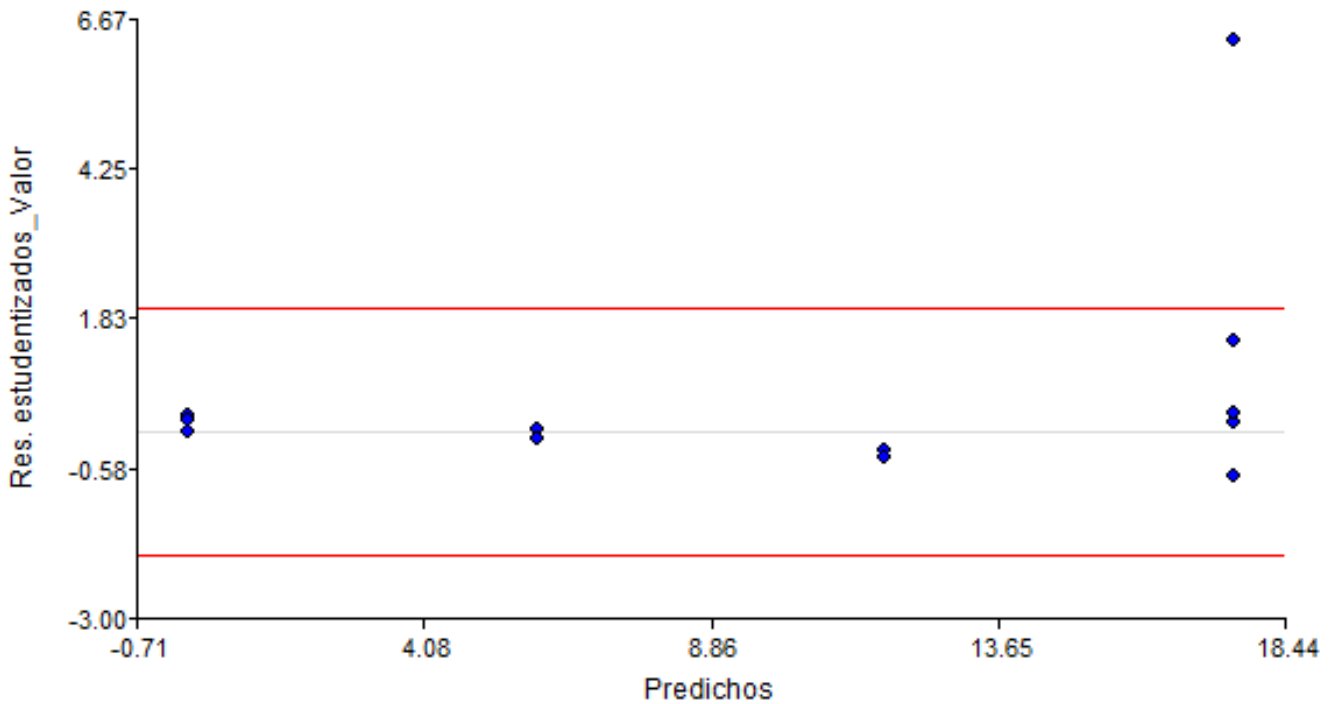
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1943.41	1	1943.41	4.71	0.0353
Muestreo	1943.41	1	1943.41	4.71	0.0353
Error	18570.67	45	412.68		
Total	20514.08	46			

Anexo 80. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 81. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 82. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral en la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FM	2	Valor	47	0.09	0.07	38.87	305.50	311.05

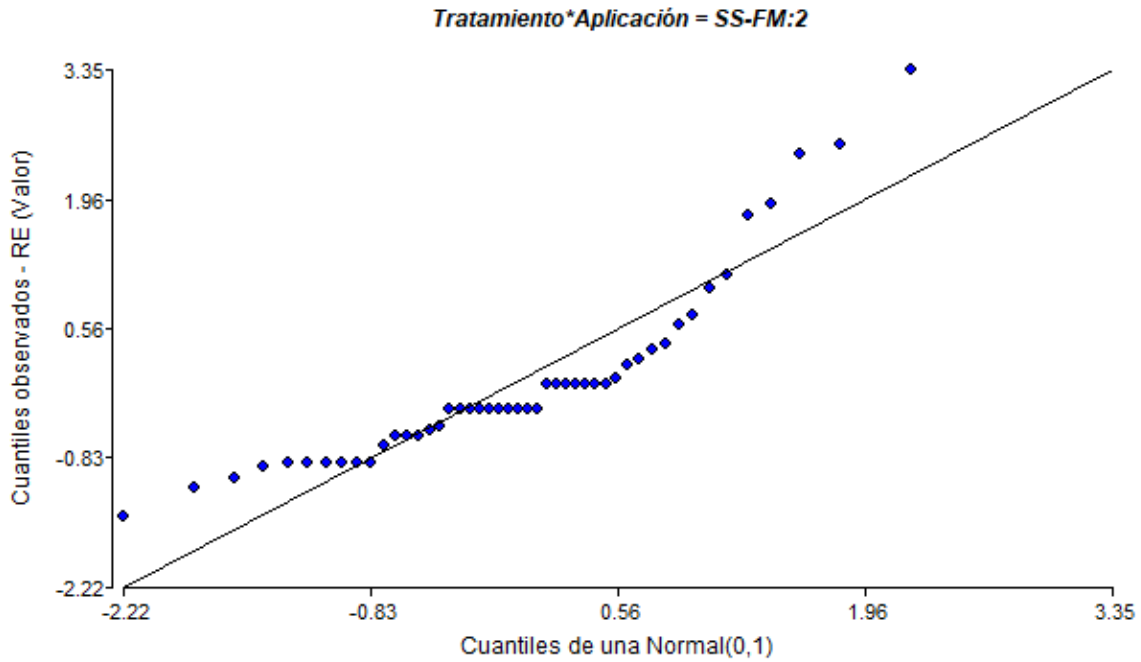
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	2.57	2.18	-1.82	6.95	1.18	0.2446		
Muestreo	1.63	0.79	0.04	3.21	2.07	0.0447	4.27	1.00

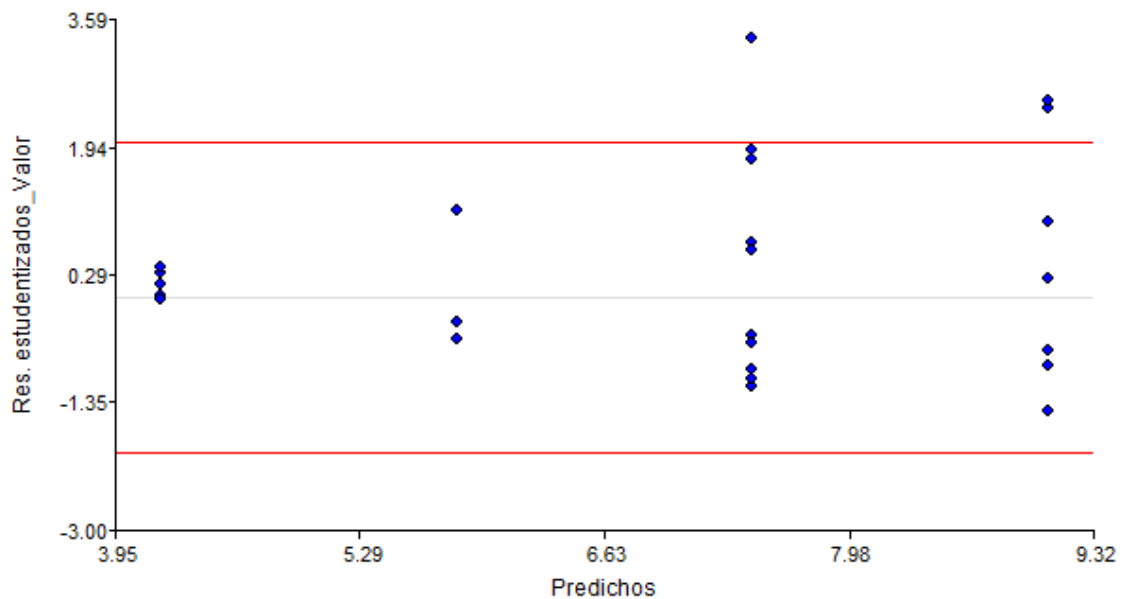
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	152.72	1	152.72	4.27	0.0447
Muestreo	152.72	1	152.72	4.27	0.0447
Error	1610.83	45	35.80		
Total	1763.56	46			

Anexo 83. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 84. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 85. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FO	3	Valor	48	2.8E-03	0.00	0.07	10.97	16.58

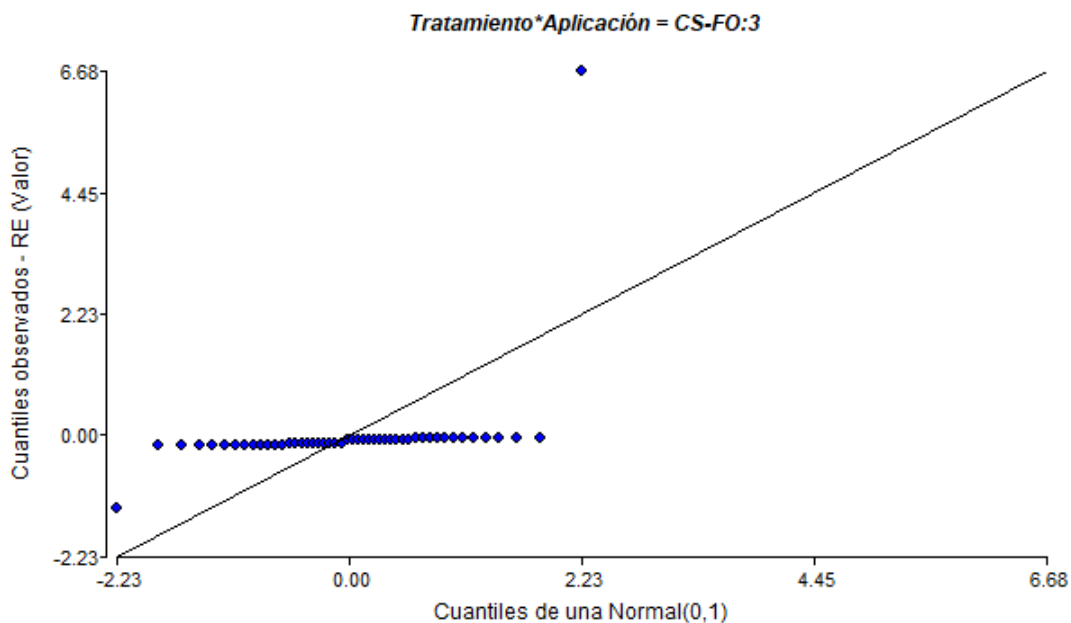
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4.06	0.09	3.87	4.25	44.12	<0.0001		
Muestreo	-0.01	0.03	-0.08	0.06	-0.36	0.7217	0.13	1.00

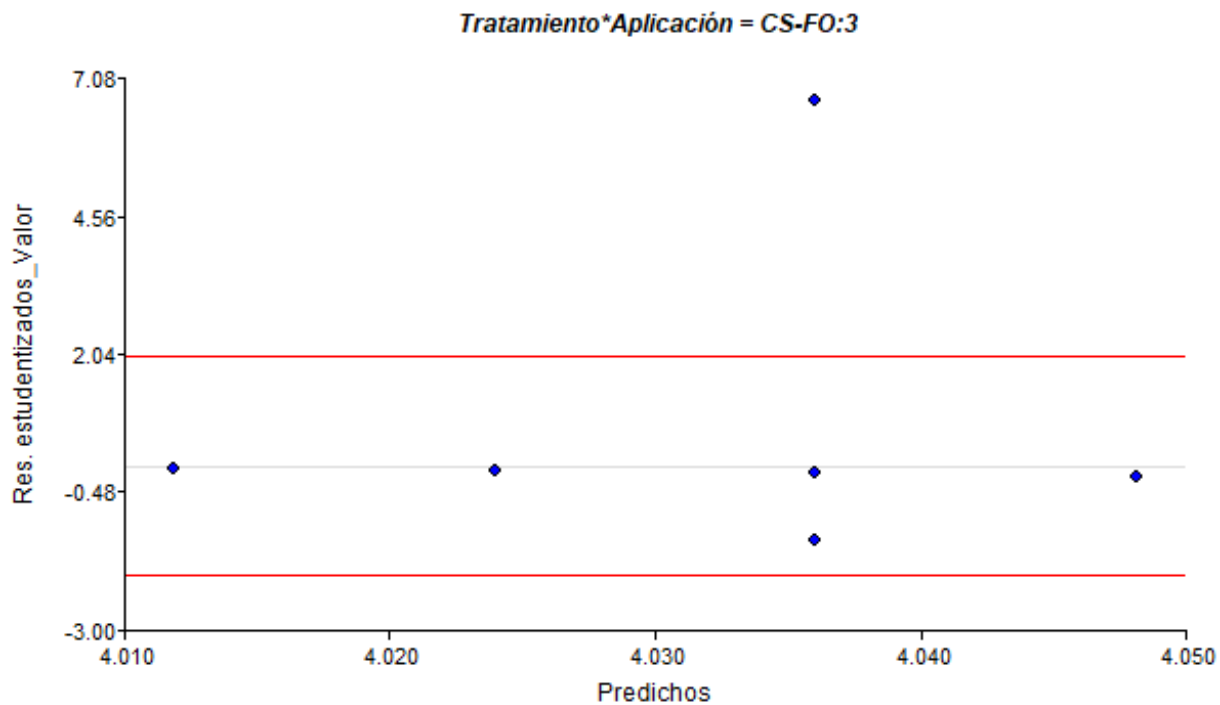
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	0.13	0.7217
Muestreo	0.01	1	0.01	0.13	0.7217
Error	3.12	46	0.07		
Total	3.13	47			

Anexo 86. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 87. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 88. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	3	Valor	48	4.3E-03	0.00	0.11	31.52	37.13

### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

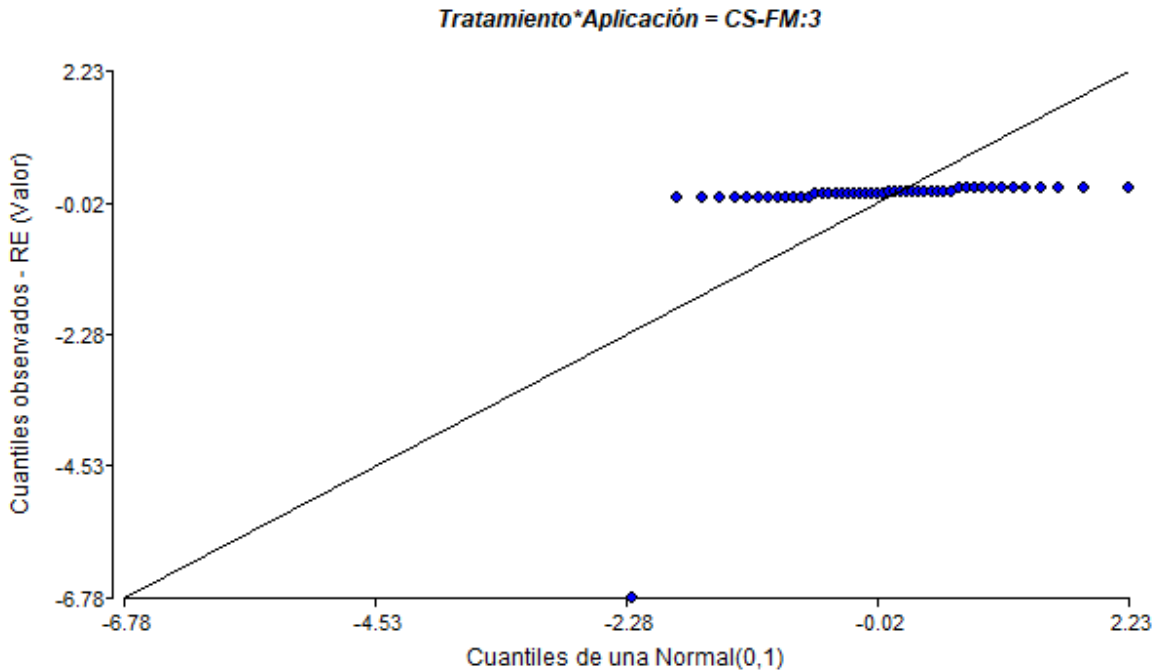
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	3.91	0.11	3.68	4.14	34.28	<0.0001		
Muestreo	0.02	0.04	-0.07	0.10	0.44	0.6596	0.20	1.00

|

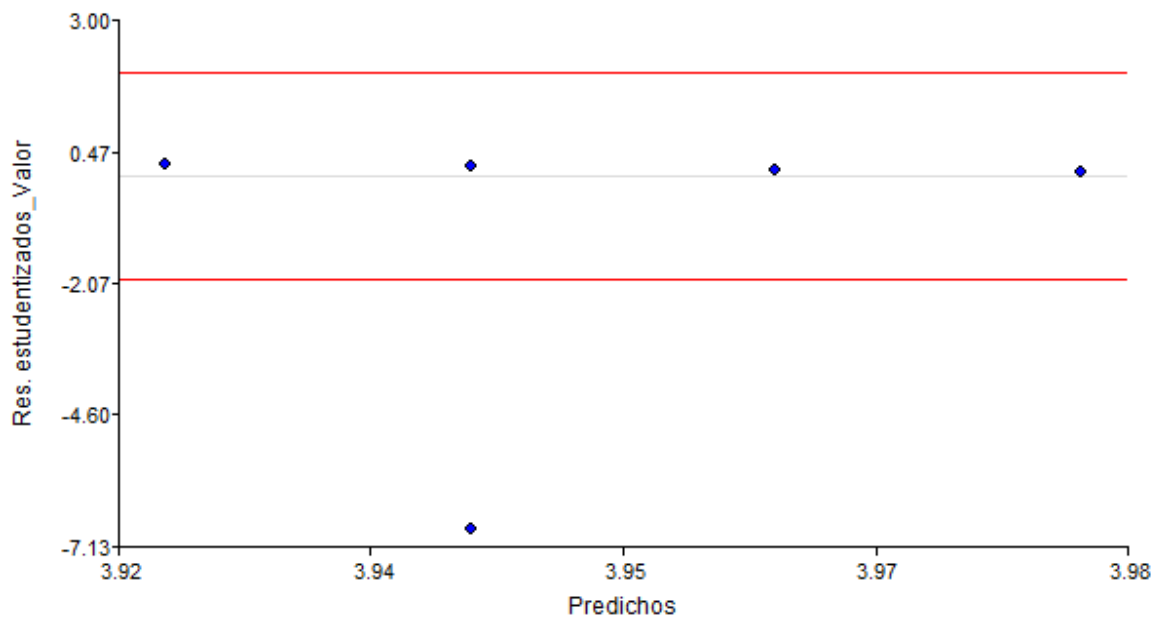
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	1	0.02	0.20	0.6596
Muestreo	0.02	1	0.02	0.20	0.6596
Error	4.78	46	0.10		
Total	4.80	47			

Anexo 89. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 90. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.





Anexo 91. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	3	Valor	48	0.08	0.06	0.55	105.53	111.14

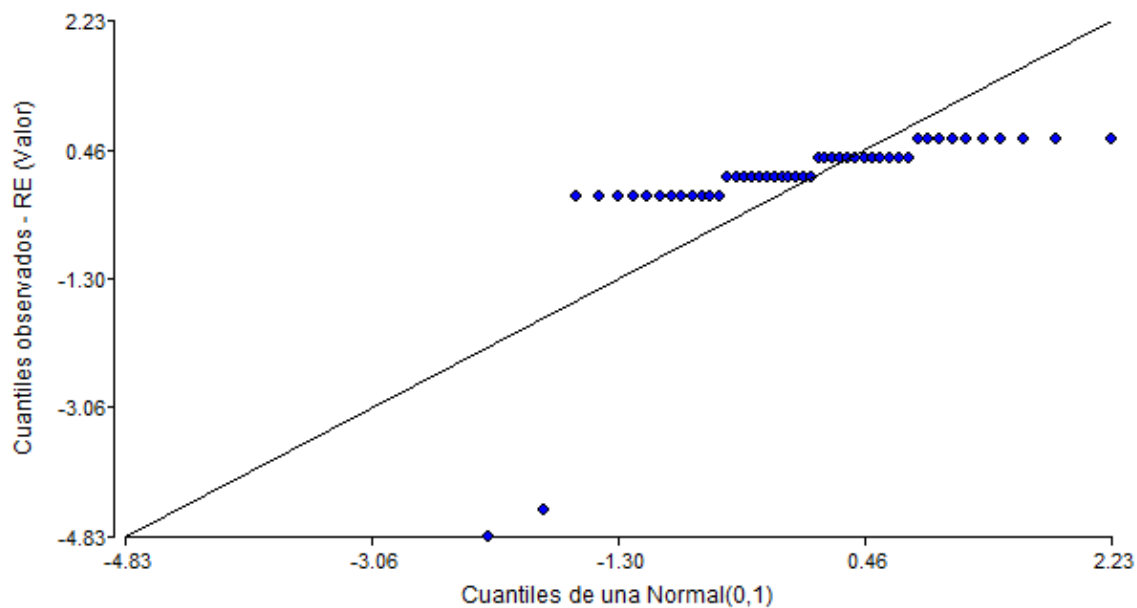
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	3.41	0.25	2.91	3.90	13.83	<0.0001		
Muestreo	0.18	0.09	-3.4E-03	0.36	1.97	0.0543	3.90	1.00

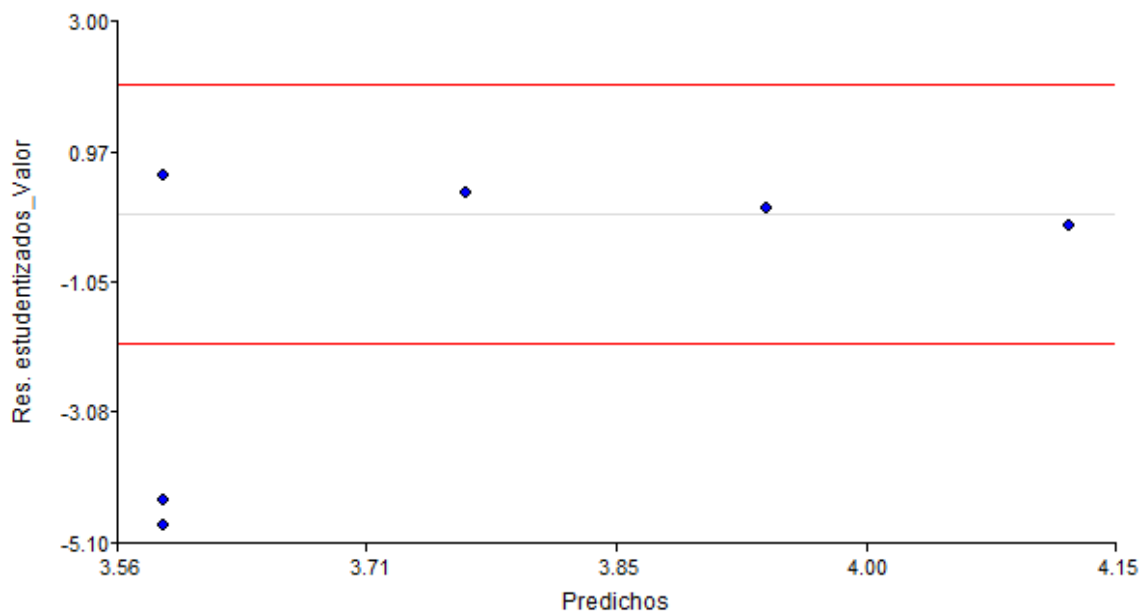
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.89	1	1.89	3.90	0.0543
Muestreo	1.89	1	1.89	3.90	0.0543
Error	22.35	46	0.49		
Total	24.25	47			

Anexo 92. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 93. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 94. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral en la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.

#### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FM	3	Valor	48	9.7E-05	0.00	1.08	141.38	147.00

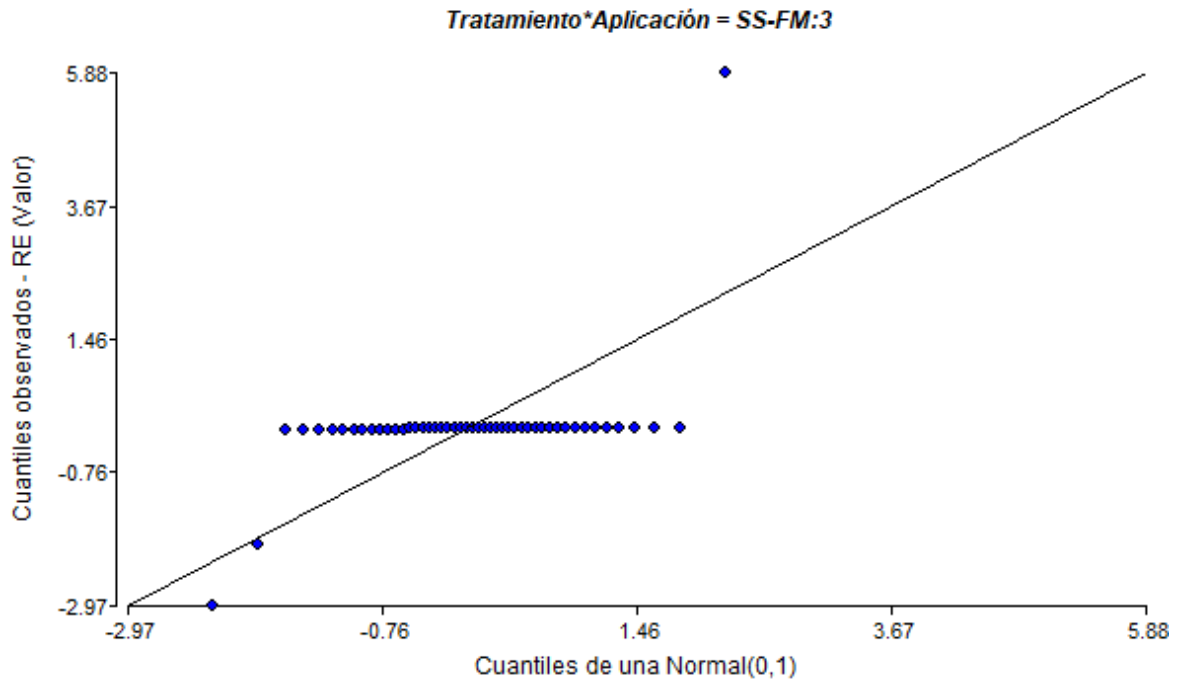
#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	4.00	0.36	3.28	4.72	11.17	<0.0001		
Muestreo	0.01	0.13	-0.25	0.27	0.07	0.9470	4.5E-03	1.00

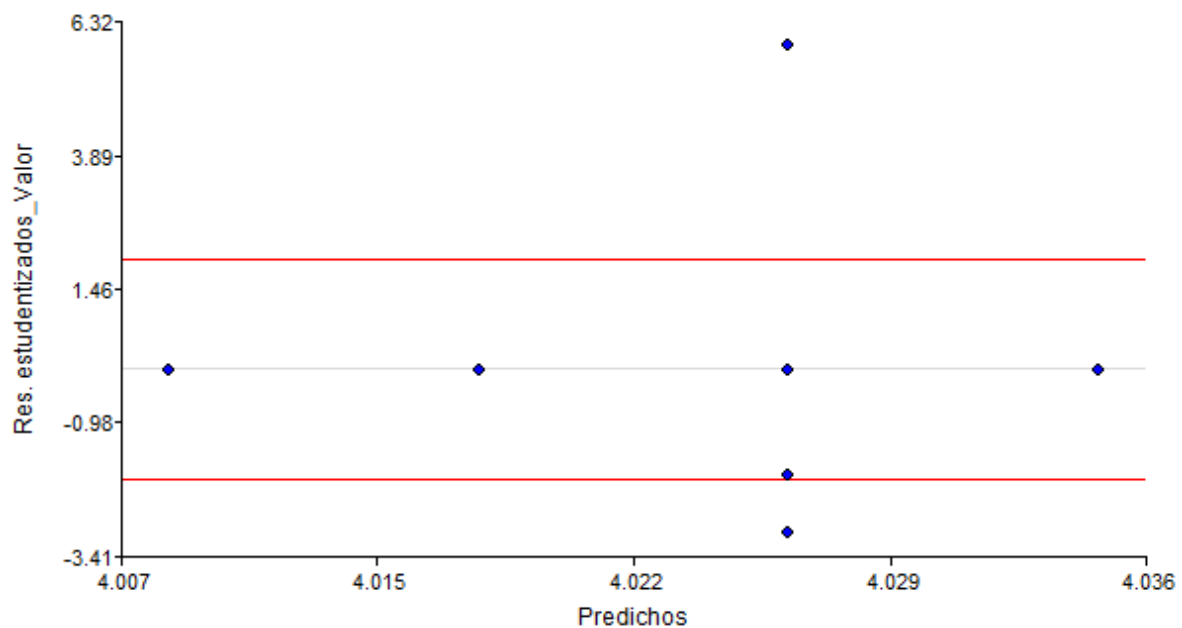
#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.6E-03	1	4.6E-03	4.5E-03	0.9470
Muestreo	4.6E-03	1	4.6E-03	4.5E-03	0.9470
Error	47.17	46	1.03		
Total	47.18	47			

Anexo 95. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 96. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 3 para el CH<sub>4</sub>.



Anexo 97. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	1	Valor	48	4.0E-04	0.00	221776.00	728.22	733.83

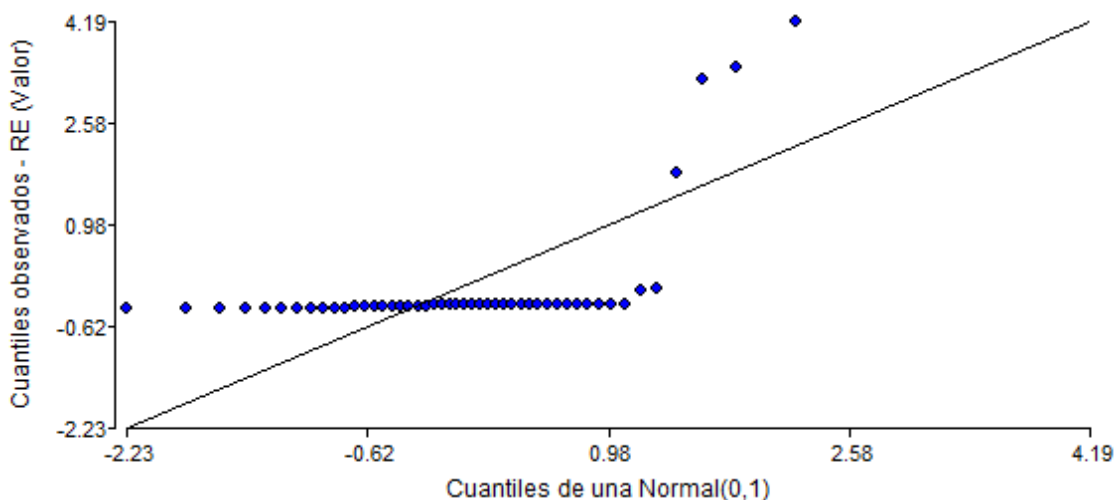
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	116.04	161.70	-209.45	441.53	0.72	0.4766		
Muestreo	8.04	59.05	-110.81	126.89	0.14	0.8923	0.02	1.00

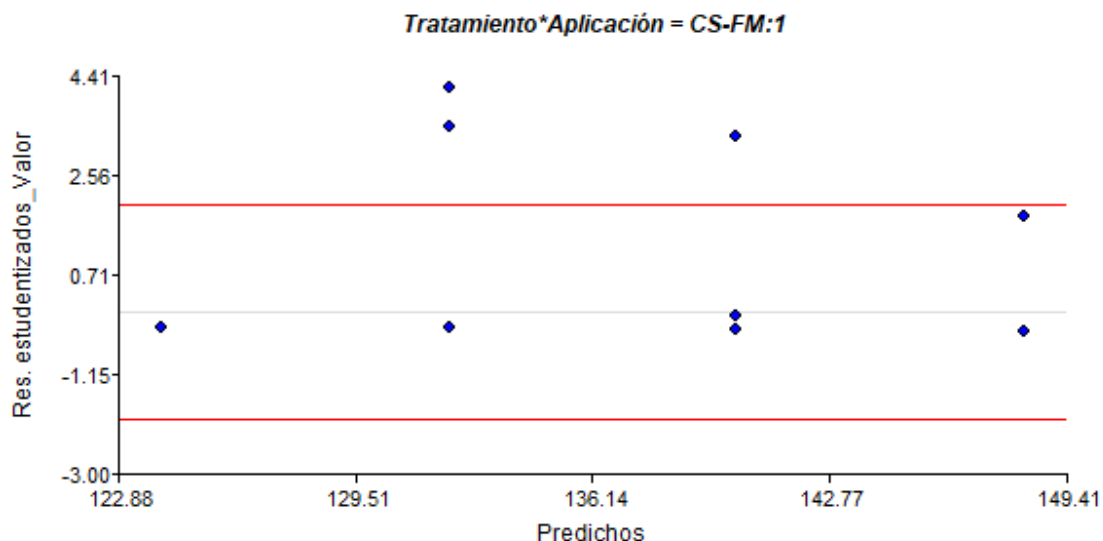
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3878.50	1	3878.50	0.02	0.8923
Muestreo	3878.50	1	3878.50	0.02	0.8923
Error	9622357.76	46	209181.69		
Total	9626236.26	47			

Anexo 98. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 99. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización1 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 100. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	1	Valor	48	0.04	0.02	30228.72	630.20	635.81

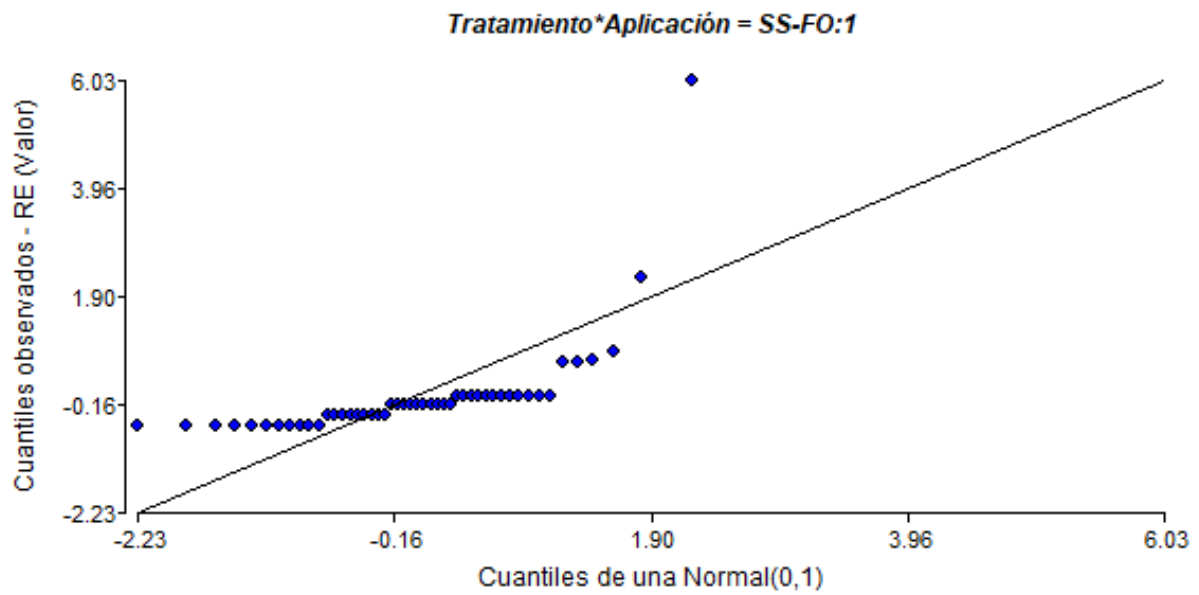
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-32.44	58.25	-149.69	84.80	-0.56	0.5802		
Muestreo	30.78	21.27	-12.03	73.59	1.45	0.1546	2.09	1.00

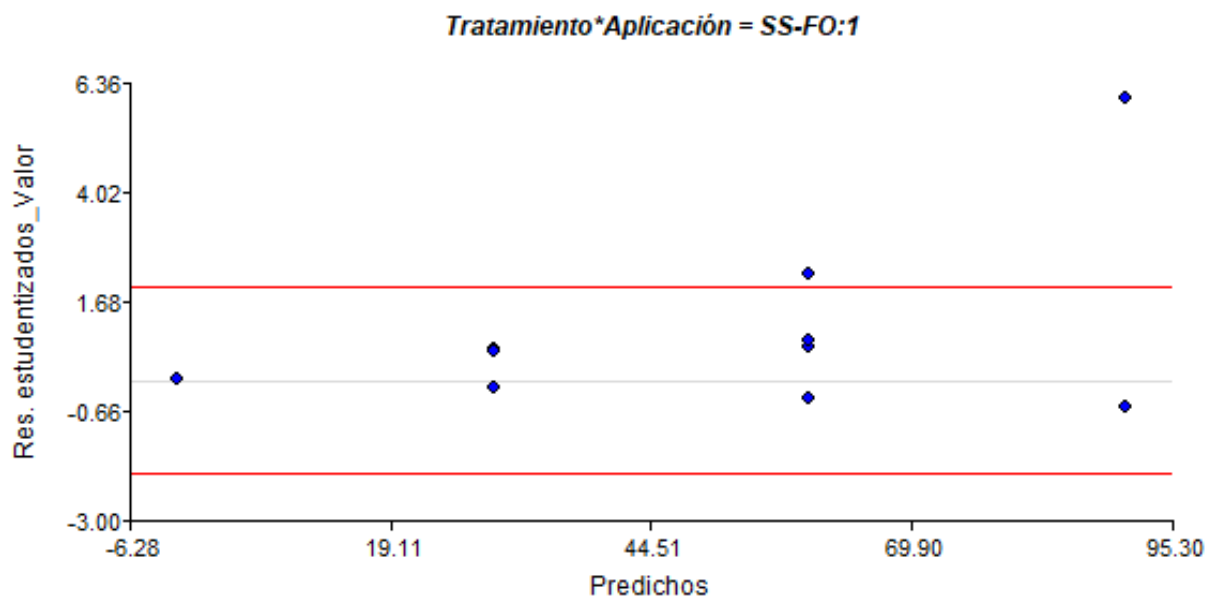
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56848.81	1	56848.81	2.09	0.1546
Muestreo	56848.81	1	56848.81	2.09	0.1546
Error	1248526.12	46	27141.87		
Total	1305374.93	47			

Anexo 101. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 102. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 103. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral en la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FM	1	Valor	47	0.01	0.00	86573.37	669.03	674.58

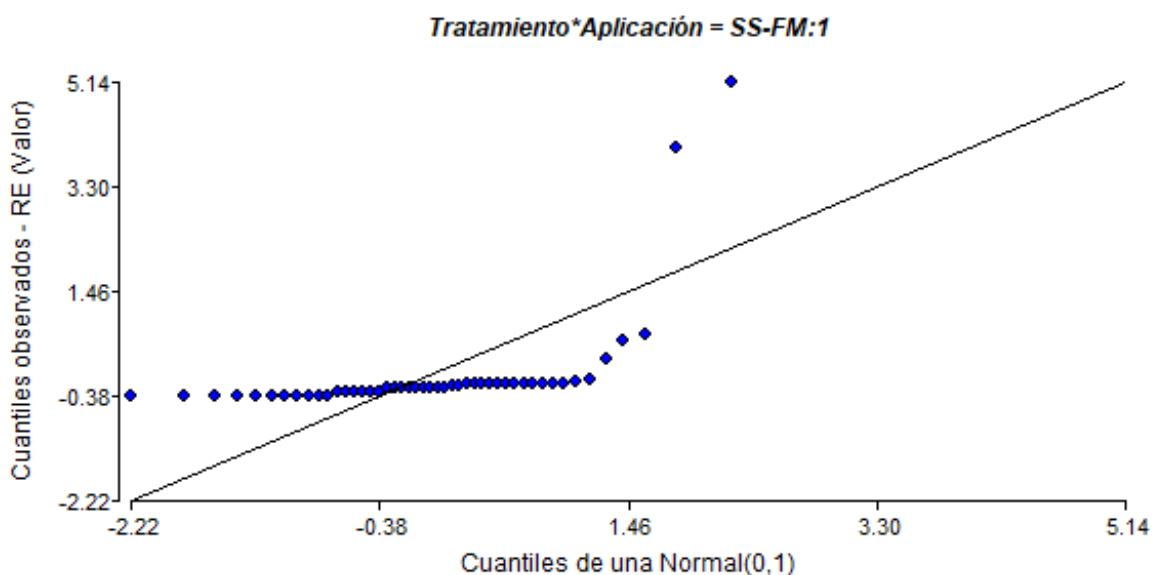
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	22.31	101.89	-182.90	227.53	0.22	0.8276		
Muestreo	21.82	37.66	-54.03	97.68	0.58	0.5652	0.34	1.00

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

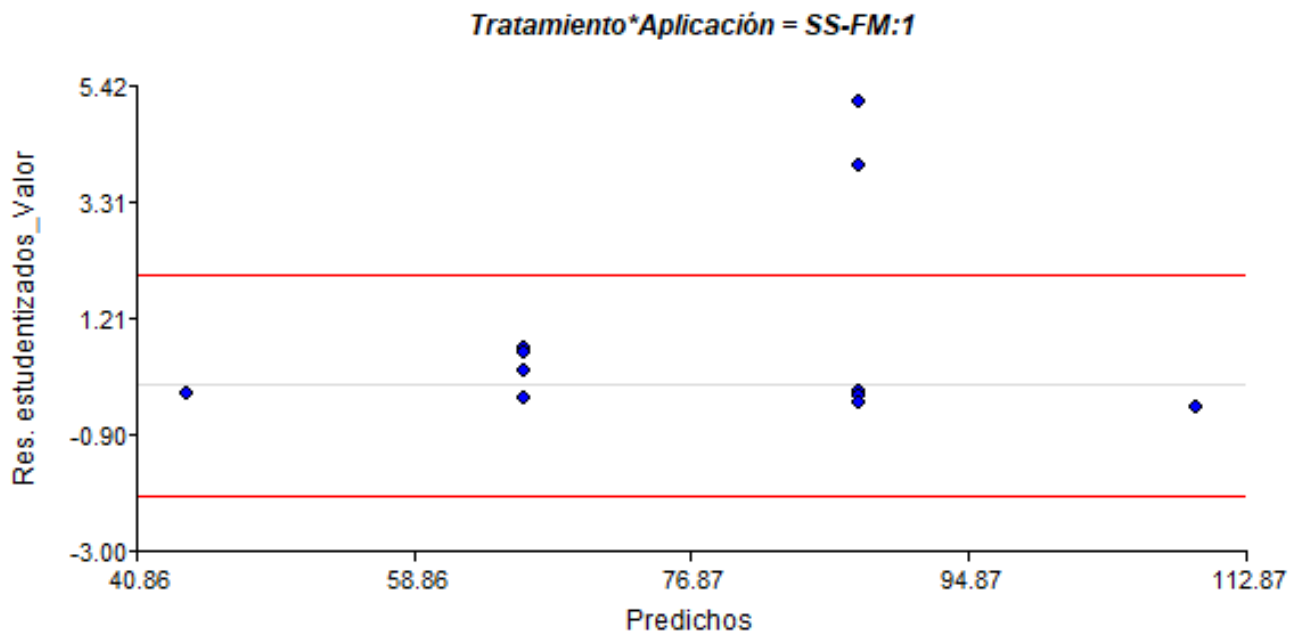
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27476.84	1	27476.84	0.34	0.5652
Muestreo	27476.84	1	27476.84	0.34	0.5652
Error	3682911.28	45	81842.47		
Total	3710388.12	46			

Anexo 104. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización 1 para el N<sub>2</sub>O.





Anexo 105. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización mineral durante la fertilización1 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 106. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2.

**Análisis de regresión lineal**

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FO	2	Valor	47	0.02	0.00	156925.46	696.63	702.18

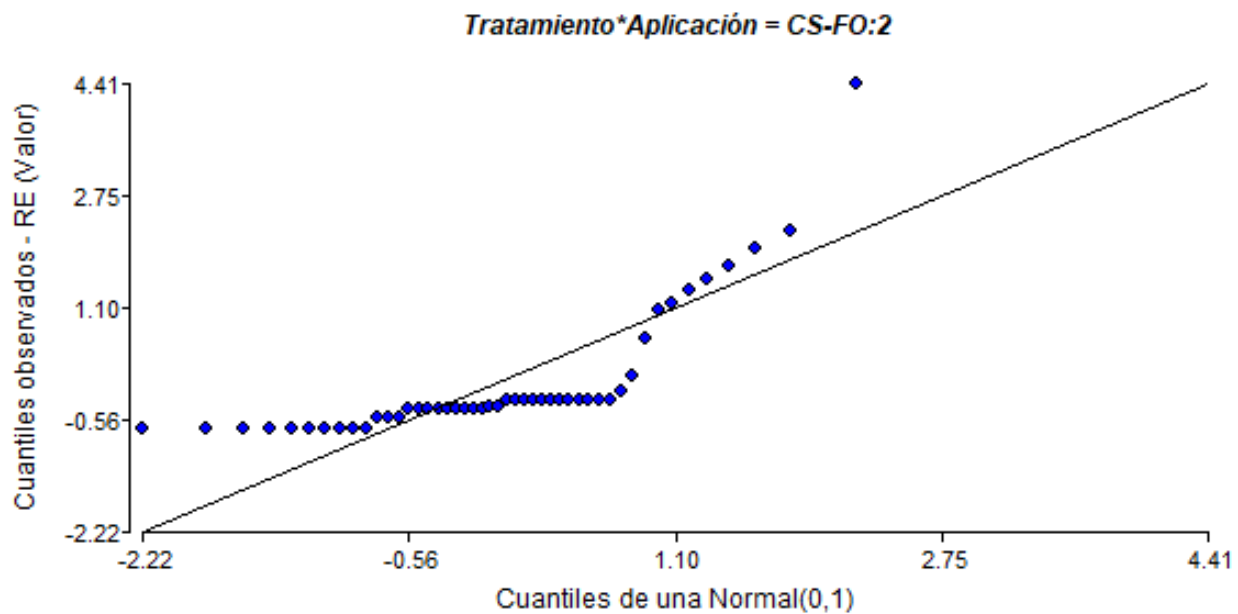
**Coefficientes de regresión y estadísticos asociados**

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	301.26	139.62	20.06	582.46	2.16	0.0363		
Muestreo	-48.89	50.52	-150.64	52.86	-0.97	0.3383	0.94	1.00

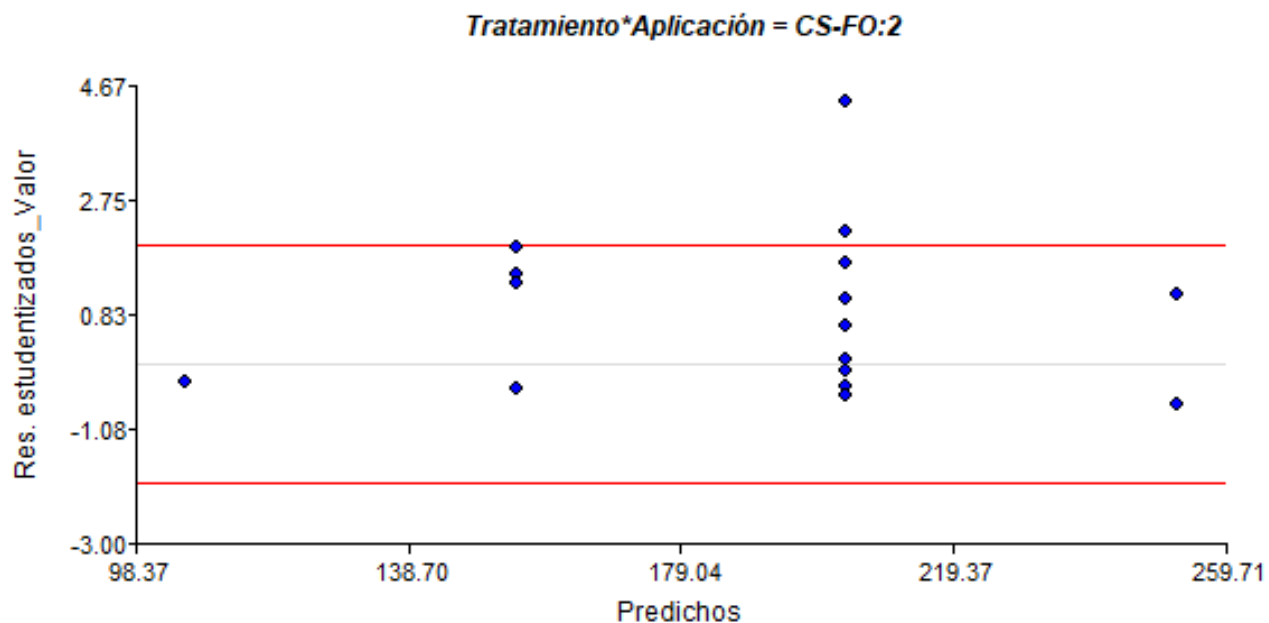
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	137924.54	1	137924.54	0.94	0.3383
Muestreo	137924.54	1	137924.54	0.94	0.3383
Error	6626418.47	45	147253.74		
Total	6764343.00	46			

Anexo 107. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 108. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 109. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización mineral en la fertilización 2.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FM	2	Valor	47	3.6E-03	0.00	62107.44	653.60	659.15

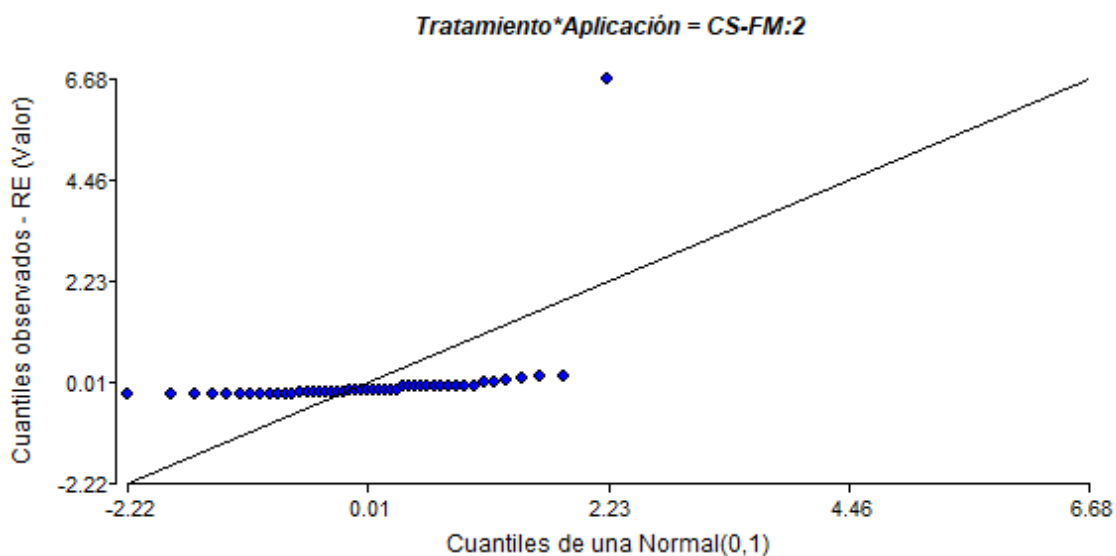
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	10.56	88.34	-167.35	188.48	0.12	0.9054		
Muestreo	12.87	31.96	-51.50	77.25	0.40	0.6890	0.16	1.00

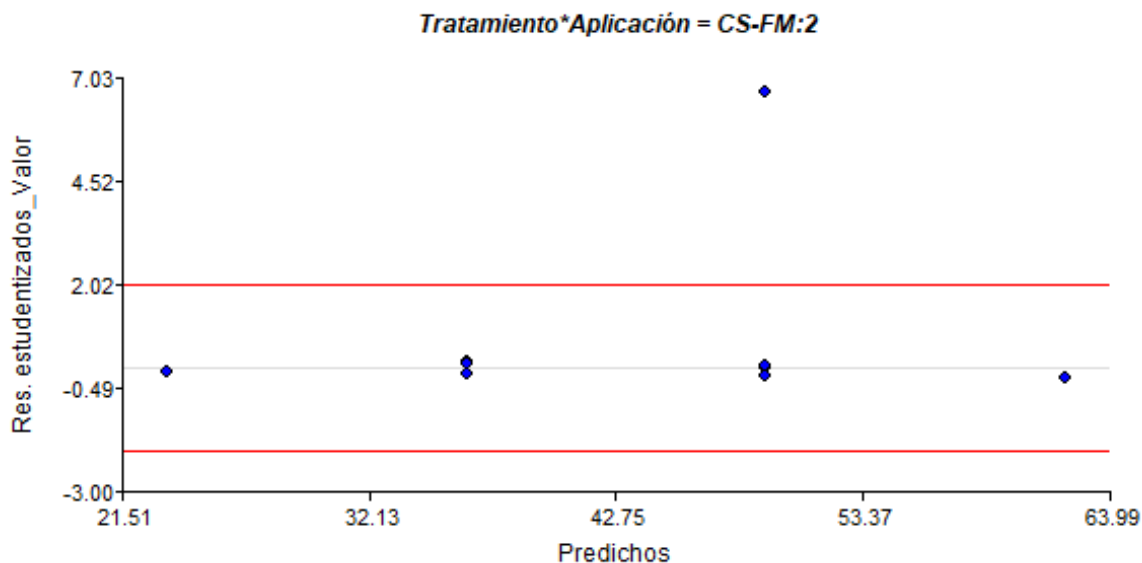
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9564.92	1	9564.92	0.16	0.6890
Muestreo	9564.92	1	9564.92	0.16	0.6890
Error	2652611.45	45	58946.92		
Total	2662176.37	46			

Anexo 110. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 111. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización mineral durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 112. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.

#### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	2	Valor	47	2.2E-04	0.00	93783.52	672.83	678.38

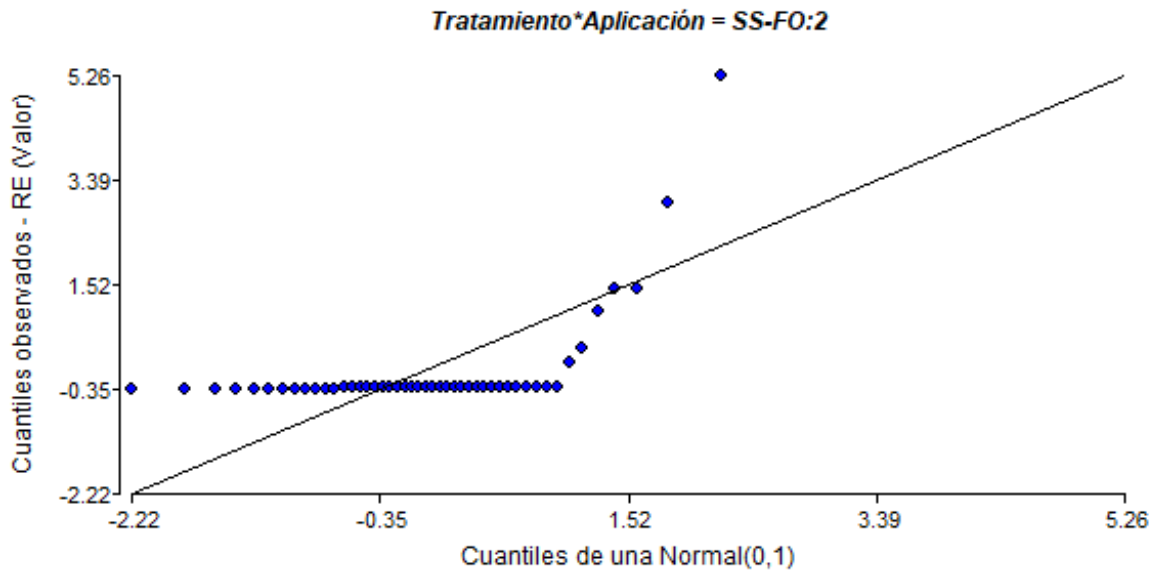
#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	83.95	108.39	-134.35	302.26	0.77	0.4426		
Muestreo	3.90	39.22	-75.09	82.88	0.10	0.9213	0.01	1.00

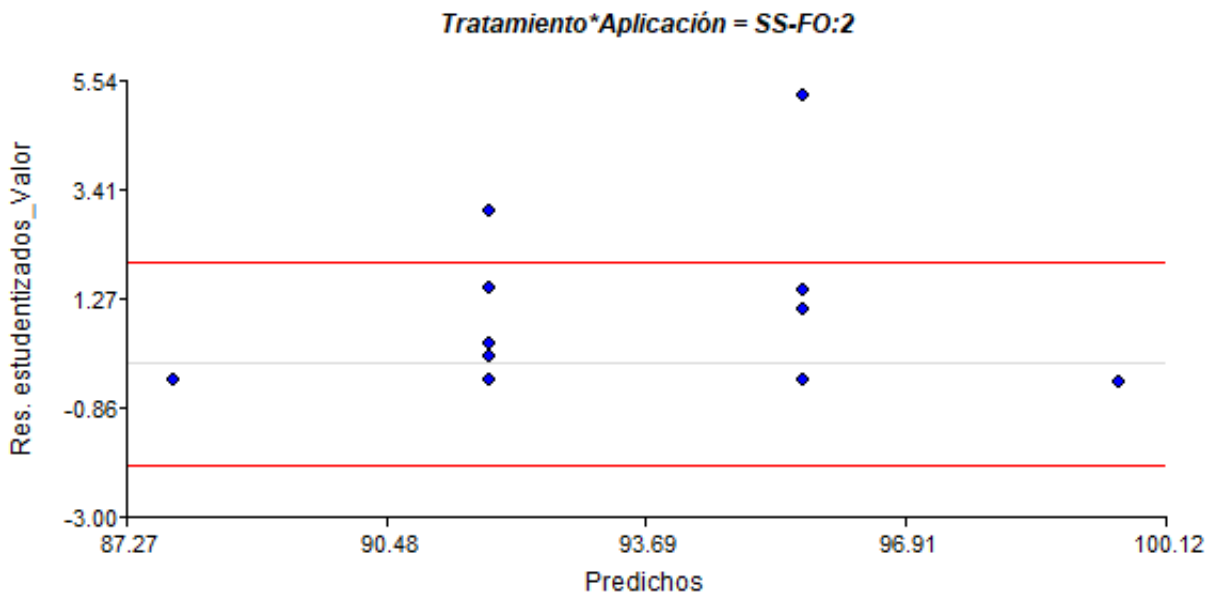
#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	876.04	1	876.04	0.01	0.9213
Muestreo	876.04	1	876.04	0.01	0.9213
Error	3993575.35	45	88746.12		
Total	3994451.39	46			

Anexo 113. Gráfico de QQ plot para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 114. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 2 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 115. Análisis de regresión lineal para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica en la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.

### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
CS-FO	3	Valor	48	0.01	0.00	162383.16	713.04	718.66

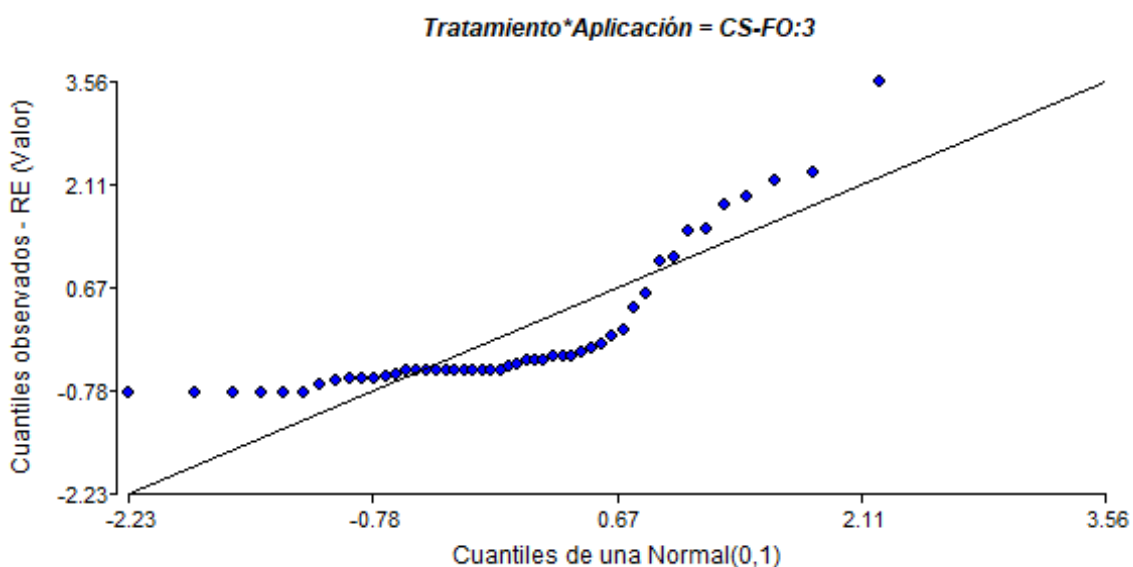
### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	155.24	138.06	-122.65	433.14	1.12	0.2666		
Muestreo	38.50	50.41	-62.97	139.97	0.76	0.4490	0.58	1.00

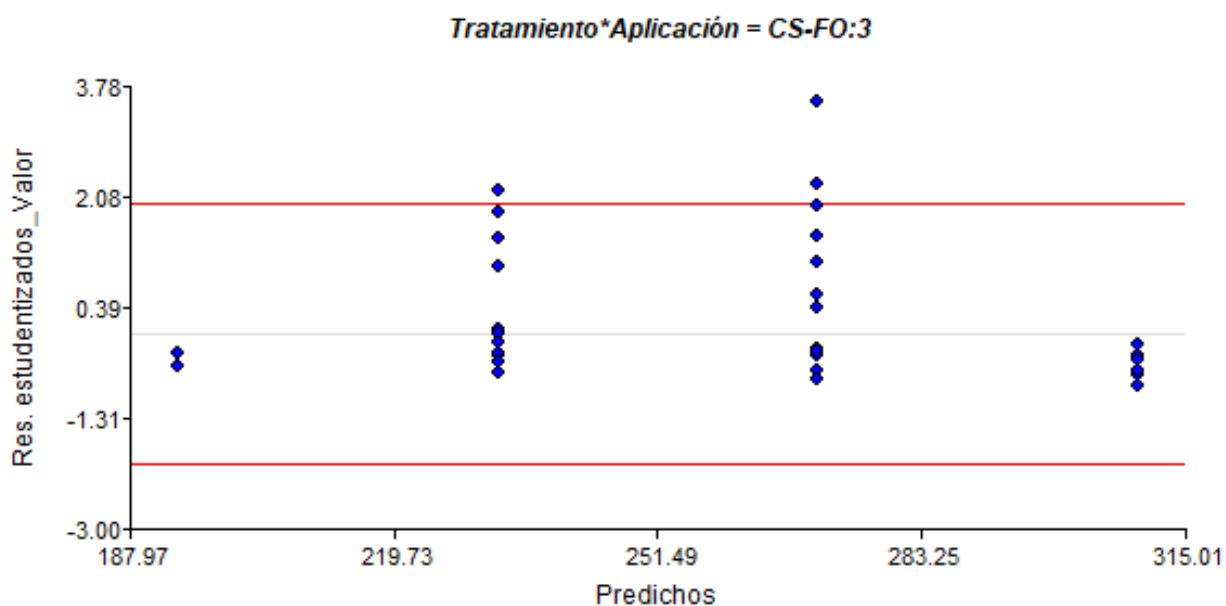
### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	88927.30	1	88927.30	0.58	0.4490
Muestreo	88927.30	1	88927.30	0.58	0.4490
Error	7014039.17	46	152479.11		
Total	7102966.47	47			

Anexo 116. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 117. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 118. Análisis de regresión lineal para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica en la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.

#### Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Aplicación	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
SS-FO	3	Valor	48	2.1E-05	0.00	35042.59	639.84	645.45

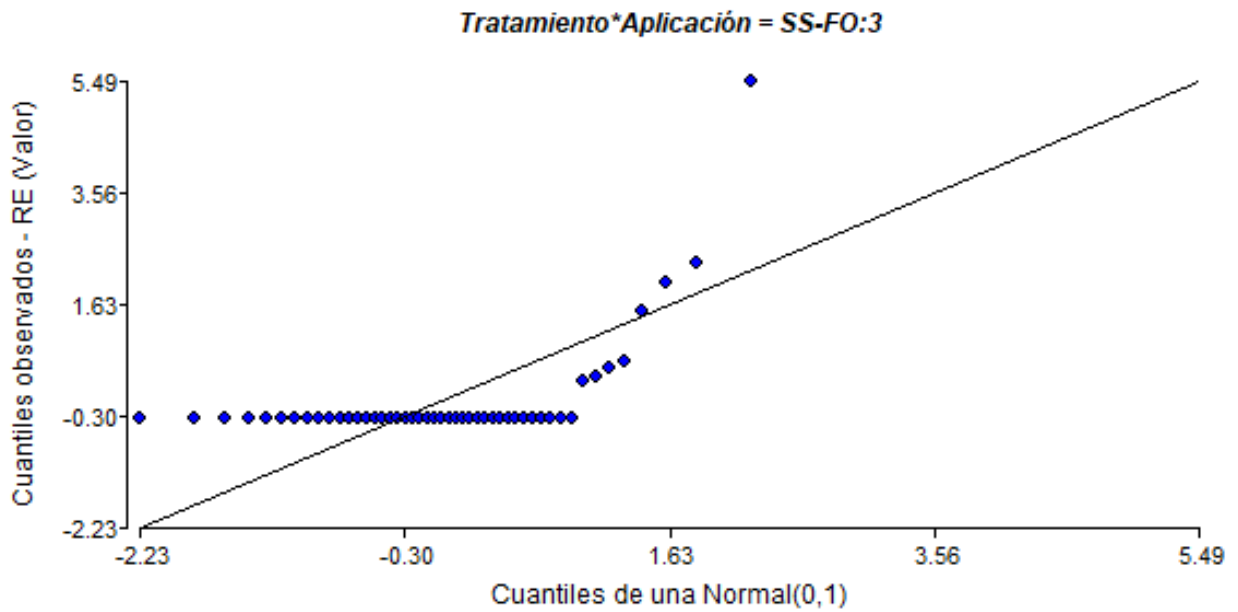
#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	61.40	64.40	-68.23	191.03	0.95	0.3454		
Muestreo	-0.73	23.52	-48.06	46.61	-0.03	0.9755	9.6E-04	1.00

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31.76	1	31.76	9.6E-04	0.9755
Muestreo	31.76	1	31.76	9.6E-04	0.9755
Error	1526290.03	46	33180.22		
Total	1526321.79	47			

Anexo 119. Gráfico de QQ plot para los tratamientos con sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.



Anexo 120. Dispersión de residuos estudentizados vrs los valores predilectos por el modelo para los tratamientos sin sombra y fertilización orgánica durante la fertilización 3 para el N<sub>2</sub>O.

