

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)

Caso de estudio Saldaña, Tolima

Diana Carolina Polanía Montiel

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2017

Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.)

Caso de estudio Saldaña, Tolima

Diana Carolina Polanía Montiel

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Geomática

Director:

M.Sc. Luis Joel Martínez Martínez

Codirector:

PhD. Hermann Restrepo Díaz

Línea de Investigación:

Geo información para el uso sostenible de los recursos naturales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2017

Aunque la vida te coloque en mil batallas, en la que no siempre se gana, en todas se aprende, se lucha, se fortalece y nos hace cada día mejor persona.

Gracias por tener a mi alrededor los seres que me han dado confianza, me han acompañado, que he conocido y que han ayudado a construir mi camino. Que mi pequeño universo está en base de sus conocimientos y apoyo incondicional.

“Somos lo que hacemos de forma repetida. La excelencia, entonces no es un acto, sino un hábito.” - Aristóteles

Agradecimientos

A mi amada familia “mis padres Pablo Polanía y Sara Montiel, mis hermanas Norma y Dayanna Polanía Montiel y mi hermosa niña Samara Quinteros Polanía”, que siempre me ha apoyado en todas mis decisiones, aunque muchas de ellas no sean las más apropiadas, por soportar mis locuras, mis pasiones y compartir mis logros. A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Al profesor Luis Joel Martínez que es mi mentor en el mundo de la Geomática y guía incondicional en el proceso de la investigación. Al profesor Hemann Restrepo que me apoyo incondicionalmente en la parte fisiológica del cultivo, a su pupilo Alefsi Sánchez por su gran apoyo. Al profesor Enrique Darghan por soportarme cada día en su oficina y ser mi base en el mundo estadístico y mi padre académico. Al Centro Experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), en especial al ingeniero Gabriel Garcés por su apoyo en campo. A Carlos Cáceres, que fue la persona que me influencio y apoyo a iniciar esta nueva etapa, que a pesar de los malos momentos, ahora es un gran amigo. A mis compañeros de maestría Cristhian Páez, Doris Ruiz y Paula corredor, por ser mis acompañantes de esta aventura.

Son muchas las personas a las que les debo agradecer, a pesar que no las nombre, les doy infinitamente gracias por la paciencia, el cariño y la fuerza que me brindaron en este proceso.

Resumen

La evaluación del estado nutricional en el cultivo de arroz por medio de las respuestas espectrales tiene un gran potencial para la toma de decisiones referentes a la aplicación de insumos agrícolas, ya que el uso de los sensores puede substituir al muestreo destructivo común en la evaluación de variables fisiológicas, además, minimiza costos en la medición de las mismas variables pues no requiere del uso de reactivos, ni laboratorios sofisticados para la extracción de la información de interés en el cultivo, lo que a su vez podría generar un uso eficiente y específico de la fertilización así como del manejo en general del cultivo. Esta investigación se realizó al sur de Colombia, en el municipio de Saldaña, departamento del Tolima, en el Centro Experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), con el objetivo de evaluar la relación entre las respuestas espectrales del arroz (*Oryza sativa* L.), variedad Fedearroz – 67 y el estado nutricional asociado al N en diferentes estados fenológicos. Se estableció un diseño factorial simple en arreglo en bloques completos y generalizados al azar, teniendo como factor entre-sujetos a la dosis de N (0, 160, 200 y 240 kg/ha) aleatorizada en cuatro parcelas de 5m×5m y cuatro repeticiones por tratamiento, y como factor intra-sujetos se asoció a seis etapas fenológicas desigualmente espaciadas (macollamiento, máximo macollamiento, desarrollo de la panícula, floración, grano lechoso y grano maduro), lo que implicó el uso del análisis de varianza por etapa fenológica (pues el muestreo se trató como observaciones independientes a causa de la naturaleza destructiva de las hojas) y la aplicación de la corrección de Bonferroni. La mayoría de los índices presentaron diferencias significativas en los tratamientos, con diferenciación clara del testigo respecto de las dosis 160, 200 y 240 kg/ha de N, pero con poca o ninguna diferenciación entre 160 y 200 en las primeras etapas fenológicas así como poca o ninguna diferenciación para 200 y 240 en las etapas fenológicas finales. Las respuestas espectrales se midieron con espectroradiómetro FieldSpec 4 Hi – Res Spectroradiometer (ASD Inc.), a partir de las cuales se obtuvieron 48 índices espectrales que fueron modelados estadísticamente mediante análisis de regresión (lineal y no lineal) para establecer relaciones con los contenidos de clorofilas y el contenido de N. Para el macollamiento, los índices con más

altos coeficientes de determinación R^2 (alrededor 0,40) fueron el índice de la diferencia doble (DDI), el radio simple modificado (mSR) y el de la relación simple modificada (BmSR); en el máximo macollamiento los mayores R^2 (alrededor de 0,85) fueron los cocientes R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$ y el radio simple a 705 nm (SR_{705}); en el desarrollo de la panícula los índices asociados a mayor ajuste (R^2 alrededor de 0,80) fueron el de simetría del borde rojo (RES), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI2), el índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI), el DDI, los cocientes R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, las diferencias normalizadas del borde rojo (NDRE1 y NDRE2), el mSR y el pigmento diferencia normalizado específico (PSNDb); para la floración se utilizaron los índices por máximos valores de R^2 (alrededor de 0,87) fueron el NDVI2, DDI, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$, las derivadas de diferencia normalizada (BND), y el D_{715}/D_{705} ; en el grano lechoso (R^2 alrededor de 0,86) fueron DDI, R_{740}/R_{720} , R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, NDRE1, $(R_{790}/R_{690-725})-1$, mSR, SR_{705} , D_{725}/D_{702} , RES y en el grano maduro los índices con mayor R^2 (alrededor a 0,78) fueron R_{740}/R_{720} , mSR y D_{725}/D_{702} . Estos resultados evidencian la importancia de utilizar una fertilización específica según la etapa fenológica, siendo recomendable usar en la etapa de macollamiento, máximo macollamiento y desarrollo de panícula una dosis de 160 Kg/ha de N, mientras que en las etapas de floración, grano lechoso y grano maduro sería apropiado desde el punto de vista estadístico, el uso de la dosis de 200 Kg/ha. El rendimiento de las parcelas entre los tratamientos de 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha no presentaron diferencias significativas, pero sí con el tratamiento de 0 kg-N/ha, lo que permite la elección de la dosis inferior. En lo que respecta a los modelos de regresión, es importante diferenciar cada etapa fenológica, pues los índices de mejor ajuste se diferenciaron por etapa. Finalmente, los índices espectrales tienen gran potencial e importancia para la estimación del contenido de N y clorofila para el cultivo de arroz y podrán ser utilizados específicamente por etapa fenológica para el manejo de la fertilización.

Palabras clave: Respuestas espectrales en arroz, nutrición de plantas, fisiología de cultivos, índices de vegetación.

Abstract

The evaluation of nutritional status in rice cultivation through spectral responses has a great potential for decision making regarding the application of agricultural inputs, since the use of the sensors can replace the common destructive sampling in the evaluation of physiological variables, in addition, minimizes costs in the measurement of the same variables since it does not require the use of reagents, nor sophisticated laboratories for the extraction of the information of interest in the culture, which in turn could generate an efficient and specific use of fertilization as well as general management of the crop. This research was carried out in the southern region of Colombia, in the municipality of Saldaña, department of Tolima, at the Las Lagunas Experimental Center of the National Rice Federation (FEDEARROZ), in order to evaluate the relationship between rice spectral responses (*Oryza sativa* L.), variety Fedearroz - 67 and the nutritional status associated with N in different phenological states. A simple factorial design was established in a randomized complete and randomized block design with a randomized N-dose (0, 160, 200 and 240 kg / ha) in four plots of 5m×5m and four replicates (macollamiento, maximum tillering, panicle development, flowering, milky grain and mature grain), which involved the use of analysis of variance per phenological stage (since the sampling was treated as independent observations because of the destructive nature of the leaves) and the application of the Bonferroni correction. The majority of the indices had significant differences in the treatments, with clear differentiation of the control with respect to doses 160, 200 and 240 kg/ha of N, but with little or no differentiation between 160 and 200 in the first phenological stages as well as little or no differentiation for 200 and 240 in the final phenological stages. Spectral responses were measured using a FieldSpec 4 Hi - Res Spectroradiometer (ASD Inc.) spectrometer, from which 48 spectral indices were obtained, which were statistically modeled by regression analysis (linear and nonlinear) to establish relationships with the contents of chlorophylls and the content of N. For the tillering, the indexes with the highest determination coefficients R^2 (around 0,40) were the double difference index (DDI), the modified simple radius (mSR) and the modified simple ratio (BmSR); at the maximum tillering the older R^2 (about 0,85) were the ratios R_{750}/R_{705} ,

$R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$ and the simple radius at 705 nm (SR_{705}); in the development of the panicle the indices associated to the greatest adjustment (R^2 around 0,80) were the red border symmetry (RES), the normalized difference vegetation index (NDVI2), the green normalized difference vegetation index (GNDVI), DDI, ratios R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, the standard red border differences (NDRE1 and NDRE2), mSR and specific normalized difference pigment (PSNDb); for flowering the indices were used for maximum values of R^2 (about 0,87) were the NDVI2, DDI, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$, normalized difference derivatives (BND), and the D_{715}/D_{705} ; in the milky grain (R^2 about 0,86) were DDI, R_{740}/R_{720} , R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, NDRE1, $(R_{790}/R_{690-725})-1$, mSR, SR_{705} , D_{725}/D_{702} , RES and in the mature grain the indexes with greater R^2 (around 0,78) were R_{740}/R_{720} , mSR and D_{725}/D_{702} . These results show the importance of using a specific fertilization according to the phenological stage, and it is advisable to use at the stage of tillering, maximum tillering and development of panicle a dose of 160 kg/ha of N, whereas in the stages of flowering, and mature grain would be appropriate from the statistical point of view, the use of the dose of 200 kg/ha. The yield of the plots between the treatments of 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha and 240 kg-N/ha did not present significant differences, but with the treatment of 0 kg-N/ha, the choice of the lower dose. Regarding the regression models, it is important to differentiate each phenological stage, since the indexes of better fit were differentiated by stage. Finally, the spectral indexes have great potential and importance for the estimation of N content and chlorophyll for rice cultivation and can be used specifically for phenological stage for the management of fertilization.

Keywords: Spectral signatures in rice, plant nutrition, crop physiology, vegetation indices.

Contenido

| | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Resumen | IX |
| Lista de figuras | XV |
| Lista de tablas | XX |
| Lista de Símbolos y abreviaturas | XXII |
| Introducción | 1 |
| 1. Problema de investigación | 7 |
| 2. Objetivos de investigación | 11 |
| 2.1 Objetivo General..... | 11 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 11 |
| 3. Marco teórico | 13 |
| 3.1 Cultivo de arroz..... | 13 |
| 3.1.1 Historia..... | 13 |
| 3.1.2 Etapas fenológicas del cultivo de arroz | 13 |
| 3.1.3 Función del nitrógeno en las plantas de arroz | 15 |
| 3.1.4 Manejo agronómico por ambiente en el arroz | 15 |
| 3.2 El espectro electromagnético..... | 15 |
| 3.2.1 Características de la vegetación en el espectro óptico | 16 |
| 3.2.2 Índices basados en la primera derivada | 17 |
| 3.2.3 Características espectrales del Red Edge en la vegetación | 18 |
| 3.4 Respuestas espectrales a la fertilización | 20 |
| 3.5 Índice para estimar contenidos de nitrógeno en hojas o dosel | 23 |
| 3.5.1 Simetría del borde rojo | 23 |
| 3.5.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada | 23 |
| 3.5.3 Índice de vegetación de diferencia normalizada verde | 24 |
| 3.5.4 Relación del pigmento vegetal | 24 |
| 3.5.5 Índice de reflectancia fisiológica | 24 |
| 3.5.6 Índice de pigmento independiente de la estructura | 25 |
| 3.5.7 Índice de diferencia doble | 25 |
| 4. Materiales y Métodos | 27 |
| 4.1 Localización del experimento..... | 27 |
| 4.2 Característica del área de estudio | 28 |
| 4.3 Esquema metodológico de la investigación | 29 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4 | Diseño del experimento..... | 30 |
| 4.5 | Recolección de datos | 32 |
| 4.6 | Análisis de datos | 32 |
| 5. | Resultados y Discusión..... | 35 |
| 5.1 | Respuestas espectrales de las hojas de arroz en seis estados fenológicos. . | 35 |
| 5.2 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de macollamiento..... | 38 |
| 5.3 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de máximo macollamiento..... | 48 |
| 5.4 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa del desarrollo de la panícula | 59 |
| 5.5 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de floración | 76 |
| 5.6 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de grano lechoso | 91 |
| 5.7 | Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de grano maduro | 104 |
| 5.8 | Rendimiento del cultivo | 118 |
| 6. | Conclusiones y recomendaciones | 137 |
| 6.1 | Conclusiones..... | 137 |
| 6.2 | Recomendaciones..... | 139 |
| A. | Anexo: Estadística descriptiva de cada etapa fenológica | 141 |
| B. | Anexo: Análisis de varianza (ANOVA multifactorial)..... | 165 |
| | Bibliografía | 191 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 3-1: Fenología de arroz de la variedad Fedearroz 67. | 14 |
| Figura 3-2: Respuestas espectrales típica de distintas coberturas. Fuente E. Chuvieco | 16 |
| Figura 4-1: área de estudio, Centro experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), municipio de Saldaña – Tolima. | 27 |
| Figura 4-2: Diagrama de flujo del proceso metodológico de la investigación. | 29 |
| Figura 4-3: Diseño de las parcelas experimentales en el Centro Experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ)..... | 30 |
| Figura 4-4: Etapas fenológicas del cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) donde se realizaron las mediciones de respuestas espectrales y clorofila. | 31 |
| Figura 5-1: Respuestas espectrales entre los 350 – 1000 nm en diferentes estados fenológicos..... | 35 |
| Figura 5-2: Respuestas espectrales entre los 350 – 1000 nm en diferentes estados fenológicos. (A) Dosis de N de 0 kg/ha; (B) Dosis de N de 160 kg/ha; (C) Dosis de N de 200 kg/ha; (D) Dosis de N de 240 kg/ha. | 36 |
| Figura 5-3: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 850 nm en la etapa fenológica de macollamiento. | 39 |
| Figura 5-4: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento..... | 39 |
| Figura 5-5: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento..... | 40 |
| Figura 5-6: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de macollamiento..... | 42 |
| Figura 5-7: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento. | 42 |
| Figura 5-8: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice DDI. (D, E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice de mSR..... | 46 |
| Figura 5-9: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice BmSR. | 47 |
| Figura 5-10: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 (nm) en la etapa fenológica de máximo macollamiento. | 49 |
| Figura 5-11: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento..... | 49 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5-12: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento. | 50 |
| Figura 5-13: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento. | 51 |
| Figura 5-14: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento. | 51 |
| Figura 5-15: (A y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice R_{750}/R_{705} . (B) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice R_{750}/R_{705} . (D y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$. (E) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A y el índice de $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 56 |
| Figura 5-16: (A y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (B) Regresión polinómica – 2° entre el contenido de clorofila A y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (D y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$. (E) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice de $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 57 |
| Figura 5-17: (A y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice SR_{705} . (B) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice SR_{705} | 58 |
| Figura 5-18: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula. | 60 |
| Figura 5-19: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula. | 60 |
| Figura 5-20: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula. | 61 |
| Figura 5-21: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula. | 61 |
| Figura 5-22: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula. | 62 |
| Figura 5-23: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total y el índice RES. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila A, B, contenido de N y el índice RES. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice NDVI2. | 67 |
| Figura 5-24: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice NDVI2. (B) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDVI2. (C, D y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice GNDVI. (F) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice GNDVI. | 68 |
| Figura 5-25: (A, B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B N y el índice DDI. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} | 69 |
| Figura 5-26: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (B) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice R_{740}/R_{720} . (C, D y E) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{710}/R_{760} . (F) Regresión exponencial entre el contenido de N y el índice R_{710}/R_{760} | 70 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5-27: (A, B y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, N y el índice R_{695}/R_{760} . (C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{695}/R_{760} . (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$. | 71 |
| Figura 5-28: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$. (B) Regresión exponencial entre el contenido de N y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$. (C, D y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (E) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDRE1. | 72 |
| Figura 5-29: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE2. (D) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDRE2. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. | 73 |
| Figura 5-30: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (C, D, E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B, contenido de N y el índice mSR. | 74 |
| Figura 5-31: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice PSNDb. (D) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice PSNDb. | 75 |
| Figura 5-32: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de floración. | 77 |
| Figura 5-33: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de floración. | 77 |
| Figura 5-34: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de floración. | 78 |
| Figura 5-35: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de floración. | 79 |
| Figura 5-36: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de floración. | 79 |
| Figura 5-37: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice RES. (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice RES. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice NDVI2. | 84 |
| Figura 5-38: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice NDVI2. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice NDVI2. (C y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice DDI. (D y F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A, N y el índice DDI. | 85 |
| Figura 5-39: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{710}/R_{760} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice R_{710}/R_{760} . (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$. | 86 |
| Figura 5-40: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$. (C D Y E) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice NDRE1. | 87 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5-41: (A, B y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE2. (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido N y el índice NDRE2. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{800}-R_{550}$ | 88 |
| Figura 5-42: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{800}-R_{550}$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $R_{800}-R_{550}$. (C D y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice BND. (F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice BND..... | 89 |
| Figura 5-43: (A, B y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice D_{715}/D_{705} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice D_{715}/D_{705} | 90 |
| Figura 5-44: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de grano lechoso. | 92 |
| Figura 5-45: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de grano lechoso. | 92 |
| Figura 5-46: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano lechoso. | 93 |
| Figura 5-47: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de grano lechoso. | 93 |
| Figura 5-48: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 (nm) en la etapa fenológica de grano lechoso..... | 94 |
| Figura 5-49: (A y B) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice RES. | 98 |
| Figura 5-50: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice RES. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice DDI. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} . . | 99 |
| Figura 5-51: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{750}/R_{705} . (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 100 |
| Figura 5-52: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 101 |
| Figura 5-53: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$. (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice mSR. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice SR_{705} | 102 |
| Figura 5-54: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice SR_{705} . (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila tota, A, B y el índice D_{725}/D_{702} | 103 |
| Figura 5-55: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de grano maduro. | 105 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5-56: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de grano maduro..... | 105 |
| Figura 5-57: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano maduro..... | 106 |
| Figura 5-58: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de grano maduro. | 106 |
| Figura 5-59: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano maduro. | 107 |
| Figura 5-60: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} . (C) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice mSR. | 111 |
| Figura 5-61: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A, B y el índice mSR. (C, D y E) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A y el índice D_{720}/D_{702} | 112 |
| Figura 5-62: Rendimiento en kg/ha de las parcelas experimentales por tratamiento. ... | 119 |
| Figura 5-63: (A, B, C y D) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índices RES, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, BmSR y D_{715}/D_{705} | 121 |
| Figura 5-64: (A, B, C, D, E y F) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice NDVI2, R_{710}/R_{760} , NDRE2, D_{705}/D_{722} , BND, BmND. | 123 |
| Figura 5-65: (A, B, C, D, E y F) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice RES, SIPI, R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ y $R_{800}-R_{550}$ | 126 |
| Figura 5-66: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice nitrógeno y RES..... | 128 |
| Figura 5-67: (A, B, C, D y E) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice SIPI, DDI, $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, D_{705}/D_{722} , BND y BmND..... | 129 |
| Figura 5-68: (A, B, C y D) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice $R_{800}-R_{550}$, D_{705}/D_{722} , BmSR, BmND..... | 132 |
| Figura 5-69: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice NDVI1 y R_{675}/R_{700} | 134 |
| Figura 5-70: (A, B y C) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice R_{550}/R_{800} , PSND _a y $R_{800}-R_{550}$ | 135 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 4-1: Etapas fenológicas del cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) donde se realizaron las mediciones de Respuestas espectrales y clorofila. | 30 |
| Tabla 4-2: fertilización de mantenimiento | 31 |
| Tabla 4-3: aplicación del N según los tratamientos de fertilización, como fuente urea | 31 |
| Tabla 4-4: Agroquímicos aplicados en las parcelas experimentales. | 32 |
| Tabla 4-5: Índices espectrales calculados. | 33 |
| Tabla 5-1: Resumen del ANOVA para el macollamiento | 43 |
| Tabla 5-2: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el macollamiento. | 44 |
| Tabla 5-3: Coeficiente de correlación para el macollamiento (n=96). | 44 |
| Tabla 5-4: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofilas totales. | 48 |
| Tabla 5-5: Análisis de varianza (ANOVA) para el máximo macollamiento. | 52 |
| Tabla 5-6: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el máximo macollamiento. | 52 |
| Tabla 5-7: Coeficiente de correlación para el máximo macollamiento (n=192) | 54 |
| Tabla 5-8: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofilas totales. | 59 |
| Tabla 5-9: Resumen del ANOVA para el desarrollo de la panícula. | 63 |
| Tabla 5-10: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el desarrollo de la panícula. | 63 |
| Tabla 5-11: Coeficiente de correlación para el desarrollo de la panícula. (n=192). | 65 |
| Tabla 5-12: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de N. | 76 |
| Tabla 5-13: Resumen del ANOVA para la floración. | 80 |
| Tabla 5-14: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para la floración. | 80 |
| Tabla 5-15: Coeficiente de correlación para la floración. (n=192) | 82 |
| Tabla 5-16: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de N. | 91 |
| Tabla 5-17: Resumen del ANOVA para el grano lechoso. | 94 |
| Tabla 5-18: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el grano lechoso. | 95 |
| Tabla 5-19: Coeficiente de correlación para la floración. (n=96) | 97 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 5-20: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofila total..... | 104 |
| Tabla 5-21: Resumen del ANOVA para la grano maduro..... | 107 |
| Tabla 5-22: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el grano maduro. | 108 |
| Tabla 5-23: Coeficiente de correlación para el grano maduro. (n=96)..... | 109 |
| Tabla 5-24: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofila total..... | 113 |
| Tabla 5-25: Rendimiento en kg/ha de las parcelas experimentales por tratamiento..... | 118 |
| Tabla 5-26: Resumen del ANOVA para rendimiento | 119 |
| Tabla 5-27: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el rendimiento..... | 119 |
| Tabla 5-28: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el macollamiento (n=96). | 120 |
| Tabla 5-29: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el máximo macollamiento (n=192)..... | 121 |
| Tabla 5-30: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el desarrollo de la panícula. (n=192)..... | 124 |
| Tabla 5-31: Coeficiente de correlación para el rendimiento en la floración (n=192). | 127 |
| Tabla 5-32: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el grano lechoso (n=96). | 130 |
| Tabla 5-33: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el grano maduro (n=96). | 132 |

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

| Símbolo | Término | Unidad SI |
|------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|
| <i>BmND</i> | Derivados de diferencias normalizadas modificadas | |
| <i>BmSR</i> | Derivados de la relación simple modificada | |
| <i>BND</i> | Derivados de diferencia normalizada | |
| Clorofila A | Estimación de clorofila | µg mg ⁻¹ |
| Clorofila B | Estimación de clorofila | µg mg ⁻¹ |
| Clorofila total | Estimación de clorofila | µg mg ⁻¹ |
| <i>Cv</i> | Coefficiente de variación | |
| <i>ddg</i> | Días después de germinado | |
| <i>DDI</i> | Índice de diferencia doble | Ec. 2.7 |
| <i>GNDVI</i> | Índice de vegetación de diferencia normalizada verde | Ec. 2.3 |
| <i>ha</i> | Hectárea | Ha |
| <i>kg</i> | Kilogramo | 1 |
| <i>mND</i> | Diferencia modificada normalizada | |
| <i>mSR</i> | Radio simple modificado | |
| <i>N</i> | Nitrógeno | % |
| <i>NDRE</i> | Diferencia normalizada del borde rojo | |
| <i>NDVI</i> | Índice de vegetación de diferencia normalizada | Ec. 2.2 |
| <i>nm</i> | Nanómetros | Nm |
| <i>NPCI</i> | Índice de proporción de clorofila de pigmento normalizado | |
| <i>NPQI</i> | Índice de feefiotínico normalizado | |
| <i>OCAR</i> | Relación de absorción de clorofila naranja / rojo | |
| <i>PPR</i> | Relación del pigmento vegetal | Ec. 2.4 |
| <i>PRI</i> | Índice de reflectancia fisiológica | Ec. 2.5 |
| <i>PSND</i> | Pigmento diferencia normalizada específica | |
| <i>PSRI</i> | Índice de reflectancia de senescencia de plantas | |
| <i>PSSR</i> | Relación simple específica de pigmento | |
| <i>REArea</i> | Área del borde rojo | |
| <i>Red/Green</i> | Proporción de antocianina | |
| <i>RES</i> | Simetría del borde rojo | Ec. 2.1 |
| <i>SIPI</i> | Índice de pigmento independiente de la estructura | Ec. 2.6 |
| <i>SR</i> | Radio simple | |
| <i>SRPI</i> | Índice de pigmentos de radio simple | |
| <i>TCARI</i> | Índice de absorción de clorofila trasformada en reflectancia | |
| <i>YACAR</i> | Relación de absorción de clorofila amarilla / roja | |
| λ | Longitud de onda | Nm |

Introducción

En Colombia el arroz ocupa uno de los primeros lugares en la seguridad alimentaria, representa un rubro importante en la economía y es gran generador de empleo, pero en los últimos años las cosechas han presentado una disminución en la producción debido a factores de cambio climático, calidad de las semillas, degradación de los suelos (FAO, 1993) y los altos costos en la producción.

El nutriente más importante para el cultivo de arroz es el N debido que de él depende el crecimiento de las plantas, el número de macollos y el llenado del grano; forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) de los citocromos y de las coenzimas (Uhart & Echeverría, n.d., p.16). El uso de fertilizantes nitrogenados es considerado como esencial en la producción de arroz, ya que generalmente los suelos no suplen la totalidad de los requerimientos nutricionales del cultivo. La aplicación adecuada de este nutriente puede aumentar sustancialmente los rendimientos del arroz, tomando en consideración que la eficiencia del uso del N varía con las características de la planta y las condiciones ambientales (Villarreal, Name, Smyth, & Quirós, 2007, p.116). “Después de la siembra, se recomienda dividir la cantidad total de N en 3 o 4 aplicaciones aplicando el 30 % en el tiempo del macollamiento del cultivo (25-30 días después de la germinación), el 40-50% al inicio del primordio floral (45-50 días) y el restante en la etapa del embuchado (65-75 días después de la germinación)” (Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria, 2003, p.37).

El diagnóstico de los contenidos de N en los cultivos es muy importante, ya que las deficiencias generan plantas atrofiadas con un limitado macollamiento, clorosis de hojas viejas, hojas pequeñas, angostas y erectas, disminuye el número de panojas, macollas y grano, también el exceso de N incide directamente sobre el volcamiento y la enfermedad conocida como *Pyricularia* (Rodríguez, 1999, p.127).

En la actualidad existen varias técnicas para determinar el requerimiento o contenido de N en las plantas como el uso de la carta de colores para las hojas, un indicador subjetivo y visual muy utilizado por los agricultores ya que es una herramienta práctica y económica que permite observar la necesidad de N cuando las hojas son pálidas o de color verde – amarillento en lugar de verde oscuro, sin embargo, su uso se ve limitado cuando el color puede deberse a otra clase de factores (daños por insecto, condiciones climáticas, cultivar, etc.). “En general, las corrección de una deficiencia detectada por síntomas visuales se realiza demasiado tarde en el ciclo productivo como para obtener un retorno económico en respuesta a esa corrección” (Barbazán, 1998, p.23).

Otras técnicas que se utilizan para determinar los requerimientos de N son los análisis químicos en laboratorio, como la destilación por arrastre de vapor, colorimetría por nitración con ácido salicílico, colorimetría modificada y potociometría con electrodo selectivo; técnica de muestreo foliar con medidor SPAD – 502, este último es un instrumento compacto y ligero que se utiliza para estimar el contenido de clorofila. Estas técnicas pueden ser simples e imprecisas, algunas son subjetivas y otras demandan tiempo y son costosas por lo que es difícil tener resultados en la etapa de mayor tasa de crecimiento del cultivo y de absorción (Cozzolino & Sawchik, 2004, p.2).

Unas de las áreas de mayor atención para FEDEARROZ como uno de los insumos más importantes para el óptimo desarrollo de los cultivo es la producción de semilla certificada, esto asegura a los productores menores costos, buena producción, lotes más limpios, entregar al mercado un producto de mejor calidad y, sobre todo, mayores ingresos, por lo cual su práctica es considerada como uno de los pasos para mejorar la competitividad del producto. Para ello se ha desarrollado gran variedad de semillas y cada una cuenta con una guía de manejo de acuerdo con la zona, que debe ser aplicada en busca de alcanzar óptimos resultados en la siembra.

La variedad Fedearroz – 67 se caracteriza por tener un crecimiento inicial rápido ligado a pre –abonamiento adecuado y un manejo temprano de malezas, además presenta un alto macollamiento. Nutricionalmente es de ciclo intermedio a tardío, por lo que requiere varios fraccionamientos dependiendo de la zona de siembra para lograr expresar su potencial. El N el fraccionamiento depende de la zona de siembra, los rangos de aplicación se deben efectuar al momento de siembra, inicio de macollamiento hasta pleno macollamiento y final

del primordio floral hasta inicio de embuchamiento. Para zonas con altitud menores a 500 metros sobre el nivel del mar, la fenología está representada en tres fases, la primera es la vegetativa (macollamiento) que se localiza entre 0 – 45 ddg, la segunda es la reproductiva (Tamaño de la panícula) que se sitúa entre los 45 – 85 ddg, y la tercera es la maduración (peso de la panícula) comprendida entre los 85 – 130 ddg (FEDEARROZ, 2009, p.1-2).

La teledetección puede convertirse en una solución eficiente para la estimación de los contenidos de N en cultivos, como una técnica alternativa de las metodologías de laboratorio tradicionales, ya que logra ser rápida y confiable. En la vegetación la reflectancia depende de factores como: los tipos de pigmentos, estructura de las hojas y el contenido de humedad. El primero afecta en las longitudes de ondas del espectro visible (0,4-0,7 m) donde el 65% es absorbido por la clorofila, el 29% por la xantófila y el 6% por carotenos. “La estructura de las hojas (capa esponjosa del mesofilo) a su vez aumenta la reflectividad en la zona del infrarrojo cercano (0,8-1,1 m). Finalmente, entre los rangos 1,4 m-1,8 m (infrarrojo medio) la reflectividad depende del contenido de agua entre y dentro de las células, en condiciones de hidratación normales ambos valles son profundos y marcados, en condiciones de estrés hídrico estos son menos marcados aumentando su reflectividad” (Hernández, 2007, p.9)

La medición de la reflectancia del follaje permite estimar el estado nutricional de las plantas y se pueden efectuar mapas del estado del cultivo. Existen considerables esfuerzo de investigación tanto para estudiar el patrón de reflectancia de las deficiencias de los cultivos en N, como para traducir la información de sensores remotos de forma correcta en recomendaciones específicas del N (Gómez-Casero et al., 2007, p.611).

Una de las formas de mejorar la capacidad de interpretación en las respuestas espectrales es mediante el uso de índices espectrales, que son combinaciones matemáticas entre bandas o longitudes de onda seleccionadas cuando se utilizan datos multiespectrales o hiperespectrales, utilizando las bandas del visible, en especial la banda roja (R), y la banda infrarroja cercana (NIR) debido al comportamiento espectral de la vegetación. “Las hojas tienen una gran reflectividad en el visible y mucho más baja en el infrarrojo, lo cual crea una diferencia característica sólo de la vegetación” (Hernández, 2007, p.24). Los más utilizados en investigación de teledetección multiespectral para detectar y cuantificar la

vegetación son el índice normalizado de vegetación de diferencia [$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$], donde NIR es el infrarrojo cercano, y R es rojo (Chuvieco, 1995), y el índice de relación de la vegetación [RVI (NIR/R)]. Los índices NDVI y RVI son comúnmente utilizados para diferenciar la vegetación ya que este último generalmente muestra una alta reflectancia en NIR y un bajo en R, y ambos índices mejoran estas diferencias (Gómez-Casero et al., 2007, p.612). Chen et al., (2010) expone que en cultivos de maíz y trigo en diferentes etapas de crecimiento desarrollaron un nuevo índice de N, denominado índice de nitrógeno doble pico del dosel DCNI, que en asociación con los índices relativos a la biomasa, tiene un buen potencial para la evaluación a distancia del índice de nutrición de nitrógeno (NNI). La posición del borde rojo (REP), se correlaciona fuertemente con el contenido de clorofila foliar y proporciona un indicador muy sensible en el estrés de la vegetación, hay varias técnicas que han sido desarrolladas para minimizar el error de la estimación de la REP, una de ellas es la interpolación de Lagrange que se aplica a la primera derivada transformada del espectro de reflectancia (Dawson & Curran, 1998).

Las imágenes satelitales se han utilizado como fuentes de datos en diferentes proyectos agrícolas donde el arroz (*Oryza sativa* L.) es un componente importante. Imágenes satelitales multi – temporal MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) se utilizan para asignar los diferentes ecosistemas del Sudeste Asiático en arrozales. El algoritmo se basa en los perfiles temporales de la fuerza de la vegetación y/o contenido de agua, los resultados obtenidos se compararon con las estadísticas nacionales. El rendimiento del modelo fue dependiente de los ecosistemas del arroz. Se obtuvieron buenas relaciones lineales entre los resultados del modelo y las estadísticas nacionales para el arroz seco. Pobre correlación para el arroz de aguas profundas (Bridhikitti & Overcamp, 2012, p.119). Las imágenes SPOT4 se utilizaron para el modelamiento de predicción del rendimiento del cultivo de arroz en Egipto, donde el modelo aplicable 90 días después de la siembra en condiciones ambientales similares y práctica agrícolas (Noureldin, Aboelghar, Saady, & Ali, 2013, p.126). Mediante las imágenes LANDSAT7 ETM y ASTER, fueron utilizadas para desarrollo de un método de identificación de cultivo de arroz en algunas áreas de los departamentos de Cundinamarca y Tolima (Colombia), este método permitió identificar los cultivos de arroz con una exactitud global superior al 70% y valores kappa entre 0,45 y 0,74 (García & Martínez, 2010, p.287).

Actualmente se ha establecido que para una producción sostenible y buenos rendimientos netos, el sitio específico de fertilización basado en mapas de los enfoques de la percepción remota puede tener gran potencial. Un análisis de reflectancia hiperespectral del dosel es el primer paso en la evaluación de este potencial (Gómez-Casero et al., 2007, p.615), además la teledetección es una herramienta óptima para el monitoreo sobre el espacio y tiempo para la estimación del estado nutricional de los cultivos, donde proporciona productos con información frecuente (Huber, Kneubühler, Psomas, Itten, & Zimmermann, 2008, p.491).

1. Problema de investigación

Dentro del marco de la competitividad del cultivo del arroz, es de relevancia considerar el manejo de la fertilización, para lo que se requiere conocer el estado de la planta dentro del cultivo. Esta revisión generalmente se asocia a muestreos destructivos que podrían hacerse en diferentes etapas fenológicas, lo que trasciende en los costos operativos, no solo del muestreo si no en la medición del conjunto de variables edafoclimáticas y fisiológicas que presumiblemente afectan los indicadores de rendimiento, así como otras variables inherentes al cultivo.

“En los últimos años se ha venido implementando en forma rutinaria el manejo de la agricultura de precisión como un concepto agronómico que consiste en el manejo de la variabilidad espacial y temporal a nivel de sub-parcelas de campo, con el objeto de mejorar el retorno económico y reducir el impacto ambiental sobre los cultivos comerciales. Para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores planta-clima-suelo e imágenes multispectrales o hiperespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones o drones” (Díaz, 2015, p.7).

En la agricultura el manejo de estas nuevas metodologías en campo han proporcionado buenos resultados en términos de eficiencia, confiabilidad y rapidez, influyendo en la maximización de los indicadores de rendimiento, facilitado a los productores la información de manera casi instantánea para la toma de decisiones respecto al manejo tiempo-sitio específico del cultivo. Así mismo “los sensores remotos integrados a sistemas de información geográfica presentan un uso cada vez más frecuente en la producción agrícola, principalmente monitoreo y mapeo de plagas, aplicaciones de la agricultura de precisión y modelación espacial para la predicción de cosechas”. “Estas herramientas representan un soporte importante para apoyar la toma de decisiones mediante sistemas

de planeación a escala regional o sectorial” (Manjarrez, Pinedo, Vélez, & Pinedo, 2007, p.49).

En la agricultura, las respuestas espectrales en los cultivos cuando su etapa fenológica son las iniciales del crecimiento y en las etapas finales muestran una mezcla compleja entre el suelo y la vegetación que varían de acuerdo con la localización del área del cultivo, por lo que se requiere un conocimiento del comportamiento espectral in situ para caracterizar las condiciones de las parcelas de producción. En la influencia del espectro del infrarrojo cercano y medio (700 a 1300 μm), en las hojas es controlada por estructura celular y muestra los valores más altos de reflectividad, mientras que en el espectro visible (400 a 700 μm), la reflectividad está controlada por la concentración de pigmentos en las hojas, principalmente clorofilas y carotenoides (Curran, 2005, citado por Manjarrez et al., 2007, p.49-50).

El conocimiento de las respuestas espectrales es útil para caracterizar las condiciones de producción de los cultivos. “A partir de la determinación del contenido de clorofila de las plantas se obtiene la concentración de N de la hoja, ya que guardan relación, al detectar esta falta de nutrientes en los cultivos nos permitirá realizar un uso óptimo de fertilizantes, utilizando estos solo en las zonas en las que son necesarios” (Botero, 2009). El contenido de N de la planta se ha relacionado con la reflectancia en el espectro verde (0.545- μm), rojo (0.66- μm) e infrarrojo cercano (0.80- μm) (Senay, Lyon, Ward, & Nokes, 2000).

En los últimos años, se han desarrollado una serie de índices de vegetación (IV) para ayudar a la interpretación de los datos obtenidos por los sensores remotos. El IV es una combinación matemática de varias bandas, su función principal es minimizar el efecto de los factores de confusión en la relación entre la reflectancia y las características de interés del cultivo, como el tipo de cultivo, el índice de área foliar (IAF) o la biomasa del dosel, contenidos de N. Los factores de confusión pueden ser las condiciones de iluminación, la reflectancia de la superficie del suelo y otras propiedades del cultivo (Senay et al., 2000, p.320). Además estos IV “están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de la vegetación” (Aguilar, 2015, p,30).

Realizar la detección de stress nutricional en cultivos por medio de índices espectrales para posteriormente hacer un uso óptimo de fertilizantes en las zonas en las que es necesaria su aplicación, suele reducir los costos asociados, pues las pérdidas de fertilizantes se minimizan, así como los gastos operativos al manejo propio de la fertilización, lo que redundará en un daño menor al ambiente y por ende a los humanos.

Por las razones señaladas anteriormente, este estudio busca determinar la relación entre las respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), variedad Fedearroz – 67, en diferentes estados fenológicos, mediante la determinación de diversos índices espectrales, con el fin de asociarlos a los indicadores de rendimiento, evitando al máximo los muestreos destructivos y la constante intervención humana en el desarrollo del cultivo, lo que muy seguramente permitirá tomar decisiones análogas en principio a las que se aplican rutinariamente sin el uso de estas tecnologías. La investigación secuencial en estos tópicos mejorará la precisión en la toma de los datos y en el proceso de modelado de los índices lo que definitivamente tenderá a superar los esquemas del manejo de cultivo que se aplican en la actualidad.

2. Objetivos de investigación

2.1 Objetivo General

Determinar la relación entre las respuestas espectrales a la fertilización con nitrógenos en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), variedad Fedearroz – 67 en diferentes estados fenológicos.

2.2 Objetivos Específicos

Explorar las regiones del espectro donde se presente la mayor sensibilidad a los cambios por tratamiento de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en seis estados fenológicos.

Evaluar los efectos de las dosificaciones de nitrógeno en los cálculos de índices espectrales a partir de la reflectancia de las hojas, en seis estados fenológicos.

Establecer la relación entre contenido de nitrógeno foliar y los índices espectrales con el fin de definir la potencialidad de algunos índices para diagnosticar el estado nutricional del cultivo en cuanto a nitrógeno se refiere.

3.Marco teórico

3.1 Cultivo de arroz

3.1.1 Historia

El arroz se ha considerado como una de las plantas más antiguas, por la cual no se establece con exactitud la época en que el hombre inició su expansión. No se puede establecer con exactitud de donde procede el arroz en Colombia, pero el historiador Fray Pedro Simón, en 1961 afirma que en el valle del Magdalena hubo siembra en 1580, en área de Mariquita (Tolima). En el municipio de Prado se cultivó hace 300 años y en 1778 lo introdujeron a San Jerónimo los Jesuitas. Otra de las zonas arroceras importante, es la de los llanos, la cual inició su siembra a escala comercial hacia 1908, en 1914 se instaló el primero molino de arroz con capacidad para 4 mil 800 kilos en 24 horas. En 1928 en el bajo Atrato inició la siembra en la costa. Los cultivos se intensificaron en los municipios de Armero, Venadillo, Alvarado y Mariquita en el Tolima y Campoalegre en el Huila. Al igual al paso del tiempo el departamento del Meta ha ganado lugar de importancia en los cultivares (FEDEARROZ, 2015b).

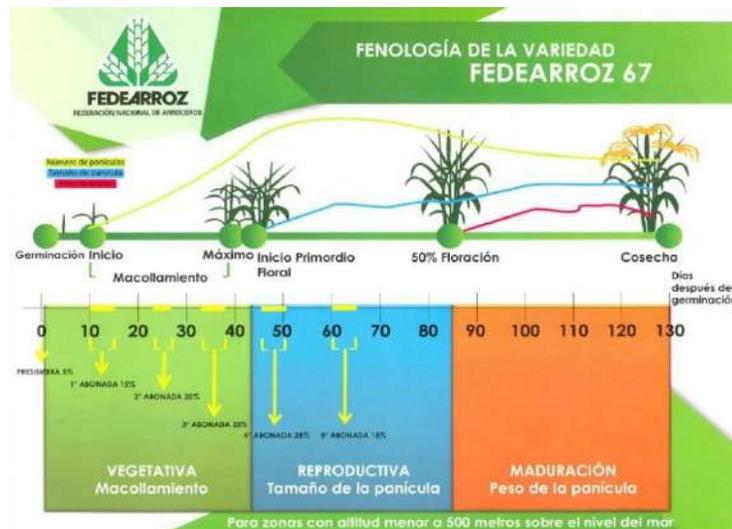
3.1.2 Etapas fenológicas del cultivo de arroz

“El rendimiento potencial del arroz se define primeramente antes de la emergencia de la panoja. El rendimiento definitivo (integrado de los tres componentes), el que está basado en la cantidad de almidón que llena los granos de la panoja, se determina en mayor medida luego de la diferenciación de panoja. Por esto es que divide agrónomicamente la historia del cultivo en términos de la fase vegetativa, reproductiva y madurez. Una variedad de 120 días pasa unos 55-60 días en la fase vegetativa, 30 días en la fase reproductiva, y 30 días en la fase de madurez. La fase vegetativa se caracteriza por un activo macollamiento, un gradual incremento de la altura de las plantas, y la emergencia de las hojas a intervalos regulares. Los macollos que no desarrollaron una panoja se llaman macollos infértiles. La fase reproductiva se caracteriza por un declinamiento del número de macollos, la

emergencia de la hoja bandera, el engrosamiento del tallo por el crecimiento interno de la panoja, la emergencia de la panoja (ocurre unos a 20-25 días luego de la diferenciación del primordio floral), y la floración (antesis). La meiosis puede estimarse que ocurre cuando la lígula de la hoja bandera y la de la hoja inmediatamente inferior están en el mismo nivel o posición 0. La antesis ocurre en general un día después de la emergencia de la panoja. Agronómicamente, se define a la emergencia cuando el 50% de las panojas han emergido al exterior de la vaina. El periodo de maduración de los granos varía entre 15-40 días dependiendo de la temperatura. Se inicia luego que el ovario ha sido fertilizado y el grano de arroz comienza a crecer. En este periodo el grano incrementa de tamaño y peso, y el almidón y azúcares se translocan desde las vainas, hoja bandera, y vástagos donde fueron acumulados en la fase vegetativa” (Olmos, 2006).

La variedad Fedearroz 67 para zonas menores a los 500 metros sobre el nivel de mar, tiene un comportamiento en su estado fenológico representado en las fase vegetativa que comprende desde que se siembras hasta inicio del primordio floral, desde allí hasta el 50% de floración se observa la fase reproductiva y desde el 50% de la floración hasta cosecha es la fase de maduración. El número de panículas está presente desde el inicio de macollamiento hasta la cosecha, aunque aproximadamente desde el inicio de floración la curva de crecimiento disminuye, el tamaño de la panícula inicia desde la etapa del inicio del primordio florar hasta la cosecha y el peso de la semilla inicia cuando se tiene el 50% de floración hasta aproximadamente los 120 ddg (Figura 3-1).

Figura 3-1: Fenología de arroz de la variedad Fedearroz 67.



3.1.3 Función del nitrógeno en las plantas de arroz

Las plantas de arroz requiere de gran cantidad de este elemento en todo ciclo; pero hay dos etapas de mayor exigencia: durante el macollamiento y al inicio de formación de la panícula (Dobermann & Fairhurst, 2006, p.1).

Entre los principales beneficios del nitrógeno se destacan los siguientes: “Aumenta el macollamiento y crecimiento general; incrementa el número y tamaño de las hojas; aumenta el número de espiguilla llenas por panícula; e incrementa el porcentaje de proteína en el grano. La deficiencia de nitrógeno causa: clorosis o amarillamiento en las hojas viejas, las hojas jóvenes se mantiene verdes; poco macollamiento y crecimiento atrofiado; hojas pequeñas, angostas y erectas; las hojas viejas adquieren un color paja claro y mueren” (Salazar, 2002, p.4).

3.1.4 Manejo agronómico por ambiente en el arroz

La agricultura de precisión es el conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de insumos agrícolas (semillas, fertilizantes, agroquímicos) en función de la cuantificación de la variación espacial y temporal de la producción agrícola. Se debe tener una guía de la variabilidad que presentan los lotes de arroz y dejar las recomendaciones y aplicaciones de los insumos, para ello se cuenta con mapas de rendimiento (mapas generados a través de monitor y sensores de la cosechadora), imágenes satelitales (índices espectrales), manejo de sitio específico del cultivo conlleva a un manejo agronómico por ambiente debido a que los suelos presentan heterogeneidad derivada de sus características físicas, químicas y biológicas, así mismo se tiene en cuenta la variabilidad espacial y temporal (FEDEARROZ, 2015a).

3.2 El espectro electromagnético

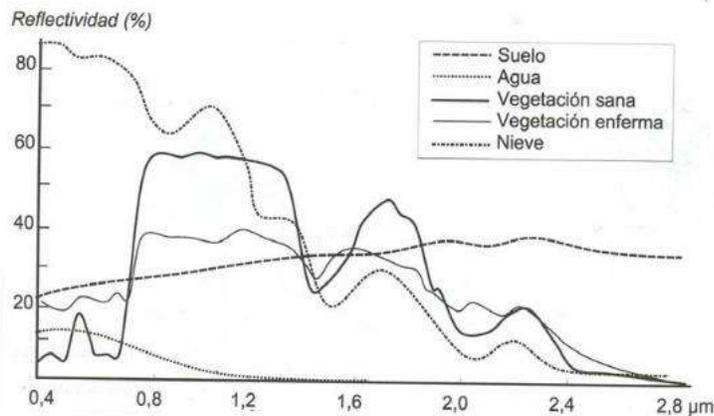
Se denomina espectros electromagnéticos a la organización de las bandas de longitudes de onda que tienen un comportamiento similar de las radiaciones electromagnéticas y cuyas definiciones y amplitudes varían según el autor. La terminología común denomina a las ondas con longitudes entre 0,4 y 0,7 μm como el espectro visible por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. En ella se distingue tres bandas

elementales, la azul (0,4 a 0,5 μm); verde (0,5 a 0,6 μm); rojo (0,6 a 0,7 μm), en razón a los colores elementales asociados a esas longitudes de onda. Otras bandas del espectro son el Infrarrojo próximo (0,7 a 1,3 μm) de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad; el Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm); Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm); micro – ondas (a partir de 1mm) (Chuvieco, 1995, p.45-54).

3.2.1 Características de la vegetación en el espectro óptico

“En primera instancia, ha de considerarse la propia reflectividad de la hoja en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad. Además es preciso tener en cuenta que las características morfológicas de la planta: su altura, perfil, grado de cobertura del suelo, etc., que provocan una notable modificación de su comportamiento reflectivo. Otro grupo de factores serían los derivados de la situación geográfica de la planta: pendiente, orientación, asociación con otras especies, geometría de la plantación, ect. El comportamiento típico de la vegetación vigorosa muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles, con un máximo relativo en la porción del verde del espectro (en torno a 0,55 μm). Por el contrario, en el infrarrojo cercano presenta una elevada reflectividad, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio (Figura 3-2). Estas características espectrales se relacionan, primordialmente, con la acción de los pigmentos fotosintéticos y del agua que almacena las hojas” (Chuvieco, 1995, p.63-66).

Figura 3-2: Respuestas espectrales típica de distintas coberturas. Fuente E. Chuvieco



Pese a la complejidad final, “resulta evidente que el contraste más nítido en la reflectividad espectral de la vegetación sana se produce entre las bandas visibles especialmente el rojo (en torno a 0,645 μm), y en el infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 μm). de ahí podemos enunciar, como principio que cuando mayor sea el contraste entre las dos bandas, mayor será el vigor de la vegetación y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubiertas” (Chuvienco, 1995). “Las características espectrales cambian a través de procesos de dispersión de la longitud de la onda, estos cambios dependen de la composición química del producto, así como en sus propiedades de dispersión de luz que están relacionadas con la microestructura. Técnicas estadísticas multivariantes avanzadas, como la regresión de mínimos cuadrados parcialmente se aplica luego de extraer la información requerida de los espectros generalmente complejos” (Nicolai et al., 2007, p.100).

La vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del espectro y alta en el infrarrojo cercano. El contraste con la vegetación enferma, es bastante evidente en estas dos bandas. En definitiva, se puede enunciar, como principio general, que cuanto mayor sea el contraste entre los ND de la banda infrarroja y roja, mayor vigor vegetal. Bajos valores de contraste indica una vegetación enferma o senescente. En este principio se apoya la mayor parte de los denominados índices de vegetación, en los que se combinan la banda roja (R) e infrarroja cercana (IR) del espectro. “Los más empleados son el simple cociente entre esas bandas, y el denominado índice de vegetación de diferencia normalizada” (Chuvienco, 1995, p.63-66).

3.2.2 Índices basados en la primera derivada

La posición del borde rojo (*red edge*) (REP) definida como la pendiente máxima en el espectro de reflectancia de la vegetación entre las regiones roja e infrarroja cercana, es menos sensible a los factores perturbadores y se ha encontrado que es uno de los mejores estimadores del contenido de clorofila. La posición del borde rojo se mueve a longitudes de onda más largas a medida que aumenta el contenido de clorofila. Existen diferentes técnicas para parametrizar este cambio espectral. Algunos métodos para obtener el REP: espectro del máximo de la primera derivada, técnica de ajuste gaussiano invertido y técnica de extrapolación lineal. Otros parámetros del borde rojo derivados de la primera derivada de la curva de reflectancia, es la amplitud (dRE, amplitud del pico principal en las primeras derivadas de los espectros de reflectancia), y el área ($\sum dR_{680-780 \text{ nm}}$, calculada como la

suma del Amplitudes entre 680 y 780 nm, en los espectros de reflectancia de la primera derivada) se encontraron altamente correlacionados con el contenido de clorofila a de plantas. Igualmente, la proporción y la diferencia normalizada de la amplitud de rojo y verde (EGFR, EGFN) también se han utilizado para estimar el contenido de clorofila. Además, los cambios en la relación de alturas relativas de máximos en las primeras derivadas del borde rojo han revelado la variación del contenido de clorofila. La relación de las alturas de dos máximos derivados en la región de borde rojo podría utilizarse para la estimación cuantitativa de la clorofila, y varios índices (Xue & Yang, 2009, p.99).

3.2.3 Características espectrales del Red Edge en la vegetación

La vegetación productora de clorofila terrestre tiene un aumento muy fuerte de la reflectividad en torno a 700 nm por un factor de 5 o más. Esta firma espectral de "Red Edge" es mucho más grande que la conocida reflexión de clorofila a 500 nm, lo que da a la vegetación su color verde. La absorción alta a las longitudes de onda ultravioleta (UV) y en las longitudes de onda visibles es por la clorofila y es utilizado por la hoja para la fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas y otros organismos utilizan la energía del sol para convertir H₂O y CO₂ en azúcares y O₂. Las moléculas primarias que absorben la energía luminosa y la convierten en una forma que puede impulsar esta reacción son clorofila A (máximos de absorción en éter dietílico a ~ 430 nm y 662 nm) y clorofila B (máximos de absorción en éter dietílico a ~ 453 nm y 642 nm).

Una hoja de planta caduca es fuertemente reflectante entre 700 nm y 1000 nm. (Si la visión humana fuese sensible un poco más hacia el rojo, el mundo natural sería muy diferente en apariencia: Las plantas serían muy rojas y extremadamente brillantes). La hoja también tiene un aspecto muy alto en la transmitancia a estas mismas longitudes de onda, de manera que la reflectividad más transparencia está cerca del 100% a longitudes de onda del infrarrojo cercano. Alrededor del 40% de la energía en la radiación solar esté a aproximadamente 600-1100 nm, la misma región de longitud de onda en la que la hoja caduca refleja o transmite casi toda la radiación solar. La longitud de onda y la fuerza exactas del Red Edge dependen de la especie y el medio ambiente de la planta. A pesar de que son insignificantes desde el punto de vista de detección de biosignatura, es interesante observar que la dependencia de la longitud de onda específica y la fuerza de la característica de Red Edge se utilizan para la detección remota de localizaciones

específicas en la tierra para identificar especies de plantas y también para supervisar un campo de vegetación (Como los cultivos) la salud y el crecimiento como el Red Edge cambia durante la temporada de crecimiento (Seager, Turner, Schafer, & Ford, 2005, p.375).

3.3 La espectrometría en el campo agrícola

La espectrometría en el infrarrojo cercano (IRN) se utilizó por primera vez en el campo agrícola por Norris (1964) para medir la humedad en el grano. Desde entonces se ha utilizado por ser una metodología de análisis rápido y preciso, de la determinación de principalmente los contenidos de humedad, proteínas y grasa de una amplia variedad de productos agrícolas y alimentarios (Botero, 2009, p.12).

“Los Estados Unidos fueron el primer país en desarrollar esta técnica, a mediados de la década de los 70 del siglo pasado. El departamento de Agricultura la utilizó para el análisis de cereales y sugirió la posibilidad de utilizar filtros discretos en el infrarrojo cercano, para el análisis de proteínas y materia seca en granos y, en el caso de la soya, para la proteína, grasa y humedad. Posteriormente, se extendió su aplicación a otros productos de la industria petroquímica, farmacéutica y textil” (Valenciaga & Simoes, 2006).

La evaluación no destructiva y rápida del estado de N en las hojas es importante para la gestión dinámica de la nutrición nitrogenada y pronóstico de la producción del cultivo. Se llevó a cabo una investigación para hacer un análisis sistemático de la relación cuantitativa de las concentraciones de nitrógenos en las hojas (LNC) a diferentes índices de vegetación hiperespectrales con múltiples experimentos de campo bajo dosis de nitrógeno variado y diversos tipos de arroz (Tian et al., 2011, p.299).

La estimación de evapotranspiración del cultivo de arroz a partir de datos de teledetección, donde el uso de la derivada del primer orden del espectro de reflectancia suavizada mejoro la sensibilidad de los datos espectrales a los valores de coeficiente del cultivo (Kc) para el caso de procesos de banda estrecha individual y ninguna mejora fue encontrada en el procesamiento de la derivada de primer orden del espectro utilizando en método de análisis de componentes principales (PCA).

Monitoreo del cultivo de arroz durante el estado de crecimiento mediante la estimación del índice de biomasa y el índice de área foliar (LAI) a partir de mediciones de reflectancia. Donde la estimación del índice de biomasa es más confiable que la del LAI. Se analizaron el comportamiento dinámico del coeficiente de extinción (K) calibrado para las diferentes etapas de desarrollo. LAI de la cosecha de arroz se estima directamente de la f_{par} calculado una vez establecida K. Este procedimiento sólo representaba el 67% de la varianza en el LAI. En biomasa utiliza el modelo de Monteith que requiere parámetro específico de un cultivo, el factor de conversión (α) para la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada en materia seca (Casanova, Epema, & Goudriaan, 1998, p.83).

Encontraron en plantas de cebada, que al incluir el análisis espectral de toda la hoja, las zonas de medición fueron localizadas en la punta, medio y base de la hoja, se incrementa de forma significativa la predicción en los modelos o la discriminación de las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Jorgensen & Christensen, 2004).

“En Colombia la investigación agrícola en este temas es incipiente, un grupo de investigación de CENICAÑA desarrolló una metodología para la determinación de nitrógeno en tejidos foliar de caña, por medio de espectroscopia de infrarrojo cercano (1.100 a 2.500 nm) por medio de calibración quimiométrica MLR y PLS, obteniendo resultados similares en ambos casos con una buenas aproximación a los obtenidos en la determinación por medio de la metodología de laboratorio Kjeldhal” (Botero Herrera, Parra Sánchez, & Cabrera Torres, 2009, p.5090).

3.4 Respuestas espectrales a la fertilización

Unos de los usos más promisorios “es el de la capacidad de estimar la concentración de nutrientes es tejido foliar, permitiendo aumentar el número de muestras no solo en investigación y trabajos académicos, sino también a nivel productivo con el fin de lograr, optimizar los procesos productivos y hacer más rentable la producción agrícola. La medición de la bioquímica foliar mediante análisis de laboratorio es costosa, demorada y limitada espacialmente, mientras que la espectroscopia brinda una herramienta importante para el monitoreo del estado ambiental, eficiente tanto en el espacio como en el tiempo” (Cohen & Goward, 2004, citado por Huber et al., 2008, p.491). Esto debido a que los

cambios en el espectro de reflectancia de las hojas sirven como indicadores de deficiencia nutricional, siendo rápido, no destructivo y relativamente económico.

La concentración de nitrógeno foliar en hierba tropical es uno de los factores que explican la distribución de la fauna silvestre. Por lo tanto, la detección remota de nitrógeno foliar contribuye a una mejor comprensión de los patrones de alimentación de la fauna. Las estimaciones de nitrógenos foliar han sido limitadas por la presencia de agua en los follajes frescos características de absorción bioquímica, especialmente en el rango del infrarrojo medio. “Además se tienen otros efectos que dificultan el análisis, tales como es la orientación de las hojas, efecto de fondo del suelo, así como la interferencia atmosférica” (Mutanga & Skidmore, 2007, p.34).

El monitoreo no destructivo y el diagnóstico del estado de N de la planta son necesarios para la administración precisa del N. El trabajo denominado Monitoreo del estado del N de la hoja en el arroz con la reflectancia espectral del dosel, se realizó para determinar si la reflectancia del dosel podría ser utilizada para evaluar el estado de la hoja N en el arroz (*Oryza sativa* L.). Se midió la reflectancia espectral del dosel en tierra y la concentración de N y acumulación en las hojas durante toda la temporada de cultivo de arroz bajo diversos tratamientos de fertilización con N, riego y población de plantas. Los resultados mostraron que en cada fecha de muestreo, la concentración de N de la hoja se relacionó negativamente con la reflectancia en la banda verde (560 nm), mientras que se relacionó positivamente con el índice de relación, con la mejor correlación en la unión. Sin embargo, las relaciones entre la acumulación de N de las hojas y la reflectancia en la banda verde y el índice de relación fueron consistentes a lo largo de todo el período de crecimiento. La relación entre el infrarrojo cercano (NIR) y el verde (R_{810}/R_{560}) se relacionó especialmente linealmente con la acumulación total de N de las hojas, independientemente del nivel N y de la etapa de crecimiento. Las pruebas del modelo de regresión lineal con diferentes conjuntos de datos del experimento de campo con diferentes densidades de plantas, fertilización con N y tratamientos de riego mostraron un buen acuerdo entre los valores predichos y observados, con una precisión de estimación de 96,69%, error cuadrático medio de 0,7072 y relativo error de -0,0052. Estos resultados indican que el índice de relación de NIR a verde (R_{810}/R_{560}) debería ser útil para el monitoreo no destructivo del estado de N en plantas de arroz. (Xue, Cao, Luo, Dai, & Zhu, 2004, p.135).

La utilización de sensores remotos está aumentando rápidamente a través de la medición de la respuesta espectral en las longitudes de ondas del visible y del infrarrojo cercano (NIR) para la detección de estrés de nitrógeno. Sin embargo, este índice tiende a saturarse rápidamente incluso a bajos contenidos de nitrógeno (índices de área foliar y biomasa). Otros índices verdes, obtenidos a partir de longitudes de onda pertenecientes a la banda del borde rojo, han mostrado ser más sensibles a detectar deficiencias de nitrógeno, por ser sensibles a un rango más amplio de concentración de clorofila del cultivo, concentración de nitrógeno, índice de área folia y biomasa (López de Sabando, 2012, p.1).

Cuando el contenido de clorofila, la fracción de vegetación o el índice de área foliar alcanzan valores moderados a altos, NDVI es menos sensible a estos parámetros biofísicos. Una cantidad considerable de investigación con teledetección de los toldos de maíz (*Zea mays* L.) ha demostrado que la banda verde (en combinación con la banda NIR) es más altamente asociado con la variabilidad en la clorofila foliar, contenido de N y rendimiento de grano que la banda roja (Chang, Shen, & Lo, 2005, p.872).

“teledetección desde plataformas remotas se ha utilizado para predecir el rendimiento del arroz y podría también utilizarse como una herramienta de ayuda a la decisión en el ajuste de la fertilización nitrogenada en cobertera. Se han llevado a cabo estudios para relacionar la información espectral con el rendimiento o el estado nutricional del cultivo del arroz. En unos casos utilizando imágenes satelitales, en otros con medidas de radiometría en campo o con imágenes procedentes de sensores hiperespectrales en aviones”. En la investigación uso de imágenes aéreas multiespectrales para estimación del rendimiento en cultivo de arroz, se evaluó “la utilidad de imágenes multiespectrales de un vuelo comercial (bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano) para estimar el rendimiento de un cultivo de arroz inundado, en el que se dispone de parcelas fertilizadas con purín porcino y nitrógeno mineral a distintas dosis, antes de la emergencia de la panícula. Los coeficientes de determinación más elevados se obtienen con la banda del verde ($R^2= 0,74$) y el índice GNDVI ($R^2= 0,79$)”. (Moreno-García, Guillén, Casterad, & Quílez, 2013, p.22).

La predicción del rendimiento del canopy de arroz usando reflectancia medida en la etapa de inicio, mostró que el uso de los índices NIR / RED y NIR / GRN, derivadas de la reflectancia espectral de la cresta, estaba altamente correlacionado con el rendimiento de grano. Las ecuaciones de regresión derivadas también tienen el potencial de predecir el

rendimiento de grano para los próximos años. Sin embargo, cabe señalar que las ecuaciones de predicción del rendimiento de los granos de arroz fueron evaluadas sólo para una variedad y bajo las condiciones ambientales únicas (Chang et al., 2005, p.877).

El mal manejo del N por los agricultores es uno de los principales limitantes para el incrementar el rendimiento de arroz, ya que el manejo del N permitió una mayor respuestas en rendimiento a las aplicaciones de este nutriente, además las respuestas en rendimiento a la fertilización con fósforo (P) y con potasio (K) a menudo solo ocurrieron después que los rendimientos incrementaron a través del mejor manejo de N con el manejo de nutrientes por sitio específico (Witt, Pasuquin, Mutters, & Buresh, 2005, p.10).

3.5 Índice para estimar contenidos de nitrógeno en hojas o dosel

3.5.1 Simetría del borde rojo

La posición dominantes o con picos débiles de la primera derivada de la reflectancia del espectro se produjo a 718 nm y se encuentra en el punto medio de la zona del borde rojo, dividiendo así la región en dos partes. La relación de la zona del borde rojo de menos de 718 nm a toda la zona de borde disminuyó con el aumento de los contenidos de clorofila de las hojas. Por lo tanto, un nuevo parámetro de borde rojo, llamado simetría de borde rojo, podría formularse en la ecuación (3.1) para indicar en contenido de clorofila en hojas, tanto del dosel y de las hojas (Xue & Yang, 2009).

$$RES = \frac{R_{718} - R_{875}}{R_{755} - R_{675}} \quad (3.1)$$

3.5.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada

“El índice de vegetación más conocido y usado, fue introducido con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo por Rouse en 1974. Este índice se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la plana”.

“Los valores de NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el infrarrojo cercano (NIR)”. Podría formularse en la ecuación (3.2) (Díaz, 2015).

$$\text{NDVI} = \frac{R_{\text{NIR}} - R_{\text{RED}}}{R_{\text{NIR}} + R_{\text{RED}}} \quad (3.2)$$

3.5.3 Índice de vegetación de diferencia normalizada verde

Este es, una variante del NDVI que utiliza la banda del verde en lugar de la del rojo por Kemerer en el 2007. Podría formularse en la ecuación (3.3). Este índice se ha mostrado muy útil para estimar el rendimiento del cultivo de arroz inundado (Díaz, 2015).

$$\text{GNDVI} = \frac{R_{750} - R_{550}}{R_{750} + R_{550}} \quad (3.3)$$

3.5.4 Relación del pigmento vegetal

Donde R_{550} es la reflectancia de la vegetación en la banda 2 del sistema video digital multiespectral (DMSV) (centrada en 550 nm) y la banda 1 (centrada en 450 nm), respectivamente, ecuación (3.4). Este índice produce una imagen de salida donde el follaje fuertemente pigmentado presenta un PPR alto, mientras que el follaje débilmente pigmentado tiene un PPR bajo. Estudios ya realizados informa que los pigmentos foliares como la clorofila y los carotenoides presentan picos de absorción alrededor de 450 nm. Por lo tanto, los toldos altamente pigmentados presentan una fuerte absorción en la banda azul, traducidas como número digitales más bajos en la banda 1 de DMSV (Metternicht, 2017).

$$\text{PPR} = \frac{R_{550} - R_{450}}{R_{550} + R_{450}} \quad (3.4)$$

3.5.5 Índice de reflectancia fisiológica

Para minimizar los efectos sobre la "señal de xantofilas" de superposición de características espectrales debido a la variación del ángulo solar, se obtuvo un índice de reflectancia fisiológica (PRI) de R_{531} y reflectancia a una longitud de onda de referencia,

R_{REF} , ecuación (3.5). Donde R_{531} es reflectancia a 531 nm. La formulación de este PRI es análoga a la del NDVI (Gamon, Peñuelas, & Field, 1992).

$$PPR = \frac{R_{REF} - R_{531}}{R_{REF} + R_{531}} \quad (3.5)$$

3.5.6 Índice de pigmento independiente de la estructura

El índice de pigmento independiente de la estructura (SIPI) se convirtió en una función de Chla y el efecto de los componentes estructurales debe ser eliminado. Sin embargo, la relación entre el SIPI y la relación carotenoides (Car)/Chla no podría derivarse analíticamente, a menos que las conclusiones de Car y Chla fueran estrechamente vinculadas, ecuación (3.6), (Gamon et al., 1992)

$$SIPI = \frac{R_{800} - R_{445}}{R_{800} - R_{680}} \quad (3.6)$$

3.5.7 Índice de diferencia doble

Este índice se elige porque representa los cambios en la primera derivada en la región de borde rojo cuando la clorofila varía, que está vinculado a la característica "salto de pico". Una integración simple da la formulación efectiva del índice de diferencia doble (DDI) ecuación (3.7). Este tipo de índice (Le Maire, Francois, & Dufrene, 2004)

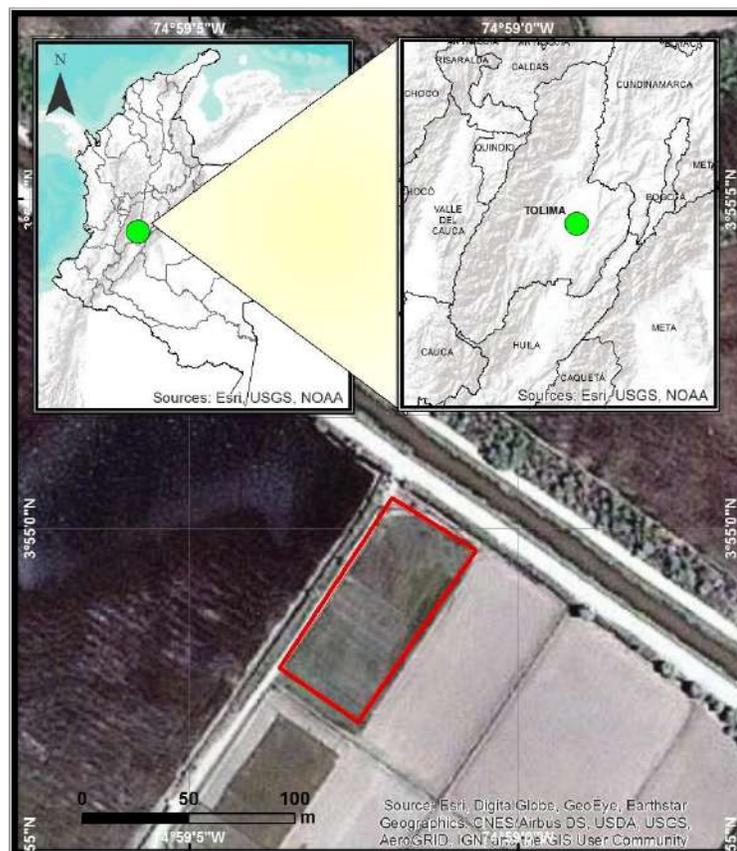
$$DDI = [(R_{749} - R_{720}) - (R_{701} - R_{672})] \quad (3.7)$$

4. Materiales y Métodos

4.1 Localización del experimento

El estudio se realizó al sur de Colombia, en el municipio de Saldaña, departamento del Tolima, en el Centro Experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ). La zona de estudio se encuentra a 305 m.s.n.m, con temperatura media anual de 28 °C y a 3°54'57.72"N, latitud Norte y 74°59'03.18"O, longitud Oeste.

Figura 4-1: área de estudio, Centro experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), municipio de Saldaña – Tolima.



4.2 Característica del área de estudio

Según la alcaldía de Saldaña (2017), el municipio se encuentra ubicado en la llanura del Tolima, al sudeste del departamento del Tolima a una distancia de 85 km de la ciudad de Ibagué, teniendo a su lado el río más importante: el Saldaña, que nace y muere en el Tolima; extensión total de 193,42 km², en donde su área urbana es de 1,756 km² y área rural de 191,66 km², altitud de la cabecera municipal entre 300 – 350 m.s.n.m, con una temperatura media entre 27 °C y 28 °C y una población de aproximadamente 19 000 habitantes, se presenta diversas unidades de suelos que van desde los suelos muy superficiales hasta moderadamente profundos a muy profundos como los suelos que se encuentra en las terrazas y valles aluviales que han formado los ríos Magdalena y Saldaña.

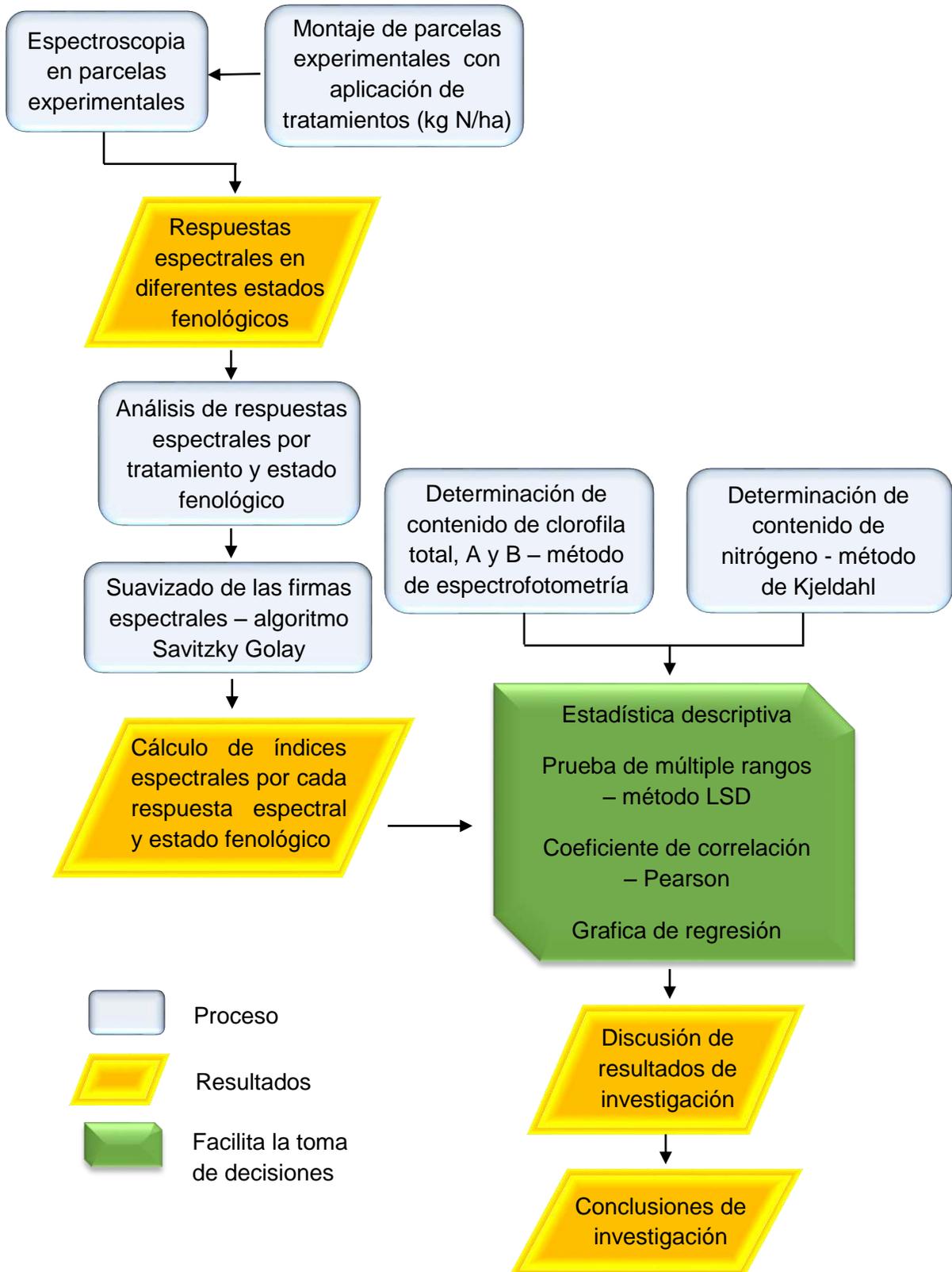
Con respecto al uso del suelo, el 55,77% del territorio está dedicado a las explotación agrícola; el 27,55% a pastos; el 6,43% son bosques, y para otros usos, se tiene el 10,25% “La principal actividad económica del municipio es la agricultura, las tierras planas e irrigadas se usan para la siembra del cultivo más importante de la zona, el arroz (se cultiva casi el 30% del arroz colombiano); en las que no posee riego se siembra cultivos secanos como maíz, sorgo, ajonjolí, algodón y cobertura de pastos manejados. En la zona también existen pequeñas parcelas con algunos cultivos de pan coger (yuca, plátano, etc.) y cítricos”.

“A nivel Tecnológico, en el municipio existe el “Distrito de riego del Río Saldaña”, la obra fue financiada por el INAT y es administrada por USOSALDAÑA tiene la bocatoma en el sitio denominado Puerto de Santa Marta, de allí nace el canal mayor, este tiene una extensión de 13 kilómetros contados hasta el sitio denominado bifurcación. Antes del sitio bifurcación se deriva dos canales que se dirigen a diferentes zonas de los municipios de Saldaña y Purificación. La cantidad de agua que entra al canal principal es de 25 a 30 m³/s”.

“El “Distrito de riego del Río Saldaña” beneficia al municipio de Saldaña en un 40% y al municipio de Purificación en un 60%, dentro de los aspectos físicos se puede destacar que el área de influencia del distrito en el Municipio es de 37.000 ha de las cuales son beneficiadas únicamente 14.000 ha”.

4.3 Esquema metodológico de la investigación

Figura 4-2: Diagrama de flujo del proceso metodológico de la investigación.



4.4 Diseño del experimento

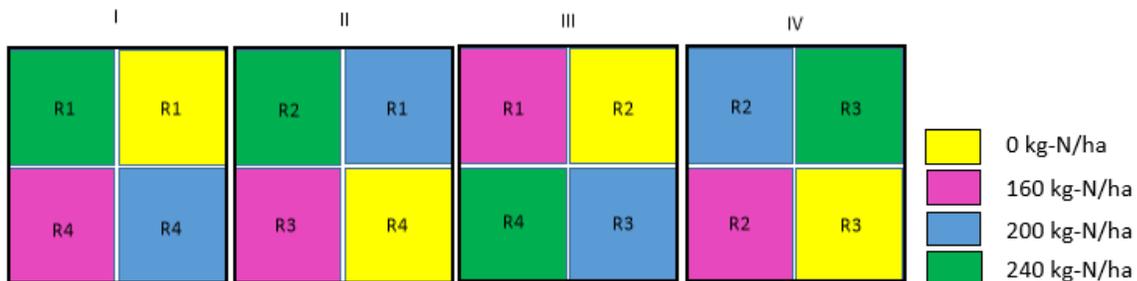
Se estableció el diseño factorial simple en arreglo en bloques completos y generalizados al azar, donde el factor entre-sujetos fue las distintas dosis de N y el factor intra-sujetos se asoció con las etapas fenológicas desigualmente espaciadas (Tabla 4-1, Figura 4-3 y Figura 4-4). La variedad de arroz que se utilizó fue Fedearroz – 67 en 16 parcelas implementadas por FEDEARROZ, en donde se aplicaron cuatro tratamientos de N donde la fuente utilizada fue urea (0 kg/ha, 160 kg/ha, 200 kg/ha y 240 kg/ha), con cuatro repeticiones distribuidos aleatoriamente. El tamaño de cada parcelas dividida fue de 5 x 5 m y densidad de siembra en surcos de 120 kg/ha y el muestreo se llevó en seis etapas fenológicas (Figura 4-3 y Figura 4-4).

Tabla 4-1: Etapas fenológicas del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) donde se realizaron las mediciones de Respuestas espectrales y clorofila.

| Estado fenológico | ddg* | Medición |
|---------------------------|------|----------|
| Macollamiento | 19 | 1 |
| Máximo macollamiento | 41 | 2 |
| Desarrollo de la panícula | 58 | 3 |
| Floración | 70 | 4 |
| Grano lechoso | 96 | 5 |
| Grano maduro | 115 | 6 |

* ddg – días después de germinado

Figura 4-3: Diseño de las parcelas experimentales en el Centro Experimental Las Lagunas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ)



El manejo agronómico se realizó de la misma manera que se realiza en los cultivos comerciales (control de plagas y enfermedades), excepto la fertilización ya que hizo parte

del diseño experimental y base fundamental del presente estudio (Tabla 4-2, Tabla 4-3 y Tabla 4-4).

Figura 4-4: Etapas fenológicas del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) donde se realizaron las mediciones de respuestas espectrales y clorofila.



Tabla 4-2: fertilización de mantenimiento

| Kg-N/ha | Fuentes-(kg/ha) | | | |
|---------|-----------------|----------|-----------|--------------------------------|
| | TSP | Korncali | Sulfazinc | K ₂ SO ₄ |
| 12* | 120 | 50 | 50 | 0 |
| 24* | 0 | 25 | 0 | 50 |
| 35* | 0 | 25 | 0 | 50 |
| 47* | 0 | 25 | 0 | 25 |
| 62* | 0 | 25 | 0 | 0 |

* ddg – días después de germinado

Tabla 4-3: aplicación del N según los tratamientos de fertilización, como fuente urea

| Kg-N/ha | ABONADA (%)* | | | | |
|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | 12* | 24* | 35* | 47* | 62* |
| 0 | 17 | 20 | 23 | 20 | 20 |
| 160 | 17 | 20 | 23 | 20 | 20 |
| 200 | 17 | 20 | 23 | 20 | 20 |
| 240 | 17 | 20 | 23 | 20 | 20 |

* ddg – días después de germinado

Tabla 4-4: Agroquímicos aplicados en las parcelas experimentales.

| Preemergente | | Control de malezas | | Control de Hydrellia | | Espiga | |
|--------------|--------|--------------------|-----------|----------------------|-----------|------------|-----------|
| Insumos | Dosis | Insumos | Dosis | Insumos | Dosis | Insumos | Dosis |
| Oxafed | 3 l/ha | Byspirifed 400 | 200 cc/ha | Voliam - flexi | 200 cc/ha | Duofed | 300 cc/ha |
| Trifosol | 1 l/ha | Fedeamina | 250 cc/ha | | | Mancoze | 3 l/ha |
| | | Butaclor | 4 l/ha | | | Agridor | 100 cc/ha |
| | | Siliconado | 100 cc/ha | | | siliconado | 100 cc/ha |
| | | trifosol | 1 l/ha | | | | |

4.5 Recolección de datos

El muestreo se realizó en cada parcela de forma aleatoria en los seis estados fenológicos, despreciando los bordes de cada parcela. Se seleccionaron entre 6 a 12 plantas de arroz (dependiendo el estado fenológico) en cada parcela para el muestreo, donde fue recolectada la segunda o tercera hoja superior del macollo central por planta. Estas muestras fueron transportadas en una nevera de icopor de 10 l. con hielo líquido y conservadas cubriéndolas con papel absorbente húmedo e introducida de forma individual en un bolsa ziploc para luego ser llevadas al laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (UN), sede Bogotá, donde se midió las respuestas espectrales con el espectroradiómetro FieldSpec 4 Hi – Res Spectroradiometer (ASD inc.) con un rango de longitud de onda de 350 a 2.500 nm, posteriormente se determinó el contenido de clorofila utilizando el método de espectrofotometría, en las etapas fenológicas del desarrollo de la panícula y floración se tomó como referencia para conocer el contenido de N ya que en estas etapas presenta la mayor necesidad de nutrientes (Dobermann & Fairhurst, 2006) y así aplicar correctivos posteriores, para lo anterior fue utilizado el método Kjeldahl.

4.6 Análisis de datos

Con los datos obtenidos de las respuestas espectrales se procedió a aplicar un suavizado de las curvas de reflectancia con el algoritmo de savitzky golay (Savitzky & Golay, 1964) para obtener la primera derivada manejando un polinomio de tercer orden y una ventana móvil de 7 puntos, utilizando el software R. Como la absorción de clorofila se produce principalmente en la región del visible, se utilizó la región entre 400 – 1000 nm para el

análisis (Xue & Yang, 2009). Todos los índices de vegetación (IV) validados en este documento se enumeran en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5: Índices espectrales calculados.

| Índice | Referencia | Índice | Referencia |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| $RES = \frac{R_{718}-R_{675}}{R_{755}-R_{675}}$ | Chang-Hua <i>et al.</i> (2010) | $SR_{680} = \frac{R_{800}}{R_{680}}$ | Sims & Gamon (2002) |
| $NDVI1 = \frac{R_{800}-R_{680}}{R_{800}+R_{680}}$ | Blackburn (1998) | $SR_{705} = \frac{R_{750}}{R_{705}}$ | |
| $NDVI2 = \frac{R_{750}-R_{705}}{R_{750}+R_{705}}$ | Gitelson & Merzlyak (1994) | $mND = \frac{R_{750}-R_{705}}{R_{750}+R_{705}-2R_{445}}$ | Merzlyak <i>et al.</i> (1999) |
| $GNDVI = \frac{R_{750}-R_{550}}{R_{750}+R_{550}}$ | Gitelson <i>et al.</i> (1996) | $PSRI = \frac{R_{680}-R_{500}}{R_{750}}$ | |
| $PPR = \frac{R_{550}-R_{450}}{R_{550}+R_{450}}$ | Metternicht (2003) | $\frac{Red}{Green} = \frac{\sum_{i=600}^{699} R_i}{\sum_{i=500}^{599} R_i}$ | Gamon & Surfus (1999) |
| $PRI = \frac{R_{570}-R_{531}}{R_{570}+R_{531}}$ | Gamon <i>et al.</i> (1992) | R_{550}/R_{800} | Aoki <i>et al.</i> (1981) |
| $SIPI = \frac{R_{800}-R_{445}}{R_{800}-R_{680}}$ | Peñuelas <i>et al.</i> (1995) | $PSSR_a = R_{800}/R_{680}$ | Blackburn (1998) |
| $REArea = \int_{675}^{755} \frac{dR_{\lambda}}{d_{\lambda}} d_{\lambda}$ | Wang <i>et al.</i> (2003) | $PSSR_b = R_{800}/R_{650}$ | |
| $DDI = \int_{720}^{749} \frac{dR_{\lambda}}{d_{\lambda}} d_{\lambda} - \int_{672}^{701} \frac{dR_{\lambda}}{d_{\lambda}} d_{\lambda}$ | Le Maire <i>et al.</i> (2004) | $PSND_a = \frac{R_{800}-R_{680}}{R_{800}+R_{680}}$ | Panuelas <i>et al.</i> (1994) |
| $TCARI = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700} - R_{670})]$ | Daughtry <i>et al.</i> (192) | $PSND_b = \frac{R_{800}-R_{635}}{R_{800}+R_{635}}$ | |
| R_{675}/R_{700} | Chappelle <i>et al.</i> (1992) | $NPCI = \frac{R_{680}-R_{430}}{R_{680}+R_{430}}$ | Buschman & Nagel (1993) |
| R_{740}/R_{720} | Vogelman <i>et al.</i> (1993) | $SRPI = R_{430}/R_{680}$ | |
| R_{710}/R_{760} | Carter (1994) | $R_{800} - R_{550}$ | Barnes <i>et al.</i> (1992) |
| R_{695}/R_{760} | | R_{800}/R_{550} | |
| R_{695}/R_{670} | Gitelson & Merzlyak (1994) | $NPQI = \frac{R_{415}-R_{435}}{R_{415}+R_{435}}$ | Schlemmer <i>et al.</i> (2005) |
| R_{750}/R_{705} | | $OCAR = R_{630}/R_{680}$ | |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | Datt (1998) | $YCAR = R_{600}/R_{680}$ | Zarco-Tejada <i>et al.</i> (2002) |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | | D_{705}/D_{722} | |
| $\frac{R_{850}-R_{710}}{R_{850}-R_{680}}$ | Barnes <i>et al.</i> (2000) | D_{725}/D_{702} | Kochubey & Kazantsev (2007) |
| $NDRE1 = \frac{R_{790}-R_{720}}{R_{790}+R_{720}}$ | | $BND = \frac{D_{722}-D_{700}}{D_{722}+D_{700}}$ | |
| $NDRE2 = \frac{R_{780}-R_{710}}{R_{780}-R_{680}}$ | Maccioni <i>et al.</i> (2001) | $BmSR = \frac{D_{722}-D_{502}}{D_{700}-D_{502}}$ | Maire <i>et al.</i> (2004) |
| $(R_{790}/R_{695-740}) - 1$ | Gitelson <i>et al.</i> (2003) | $BmND = \frac{D_{722}-D_{700}}{D_{722}+D_{700}-2D_{502}}$ | |
| $(R_{790}/R_{690-725}) - 1$ | Gitelson <i>et al.</i> (2006) | D_{754}/D_{704} | Datt (1999) |
| $mSR = \frac{R_{750}-R_{445}}{R_{705}-R_{445}}$ | Sims & Gamon (2002) | D_{715}/D_{705} | Vogelman <i>et al.</i> (1993) |

Se realizó estadística descriptiva para cada variable en cada etapa fenológica, se aplicó ANOVA multifactorial para evaluar la diferencia significativa entre los tratamientos y los valores de los índices de vegetación, al igual se realizó la prueba de múltiples rangos por medio del método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, es un procedimiento comparativo para determinar cuáles medias son significativamente diferente entre otras, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente tienen un nivel de confianza del 95 %.

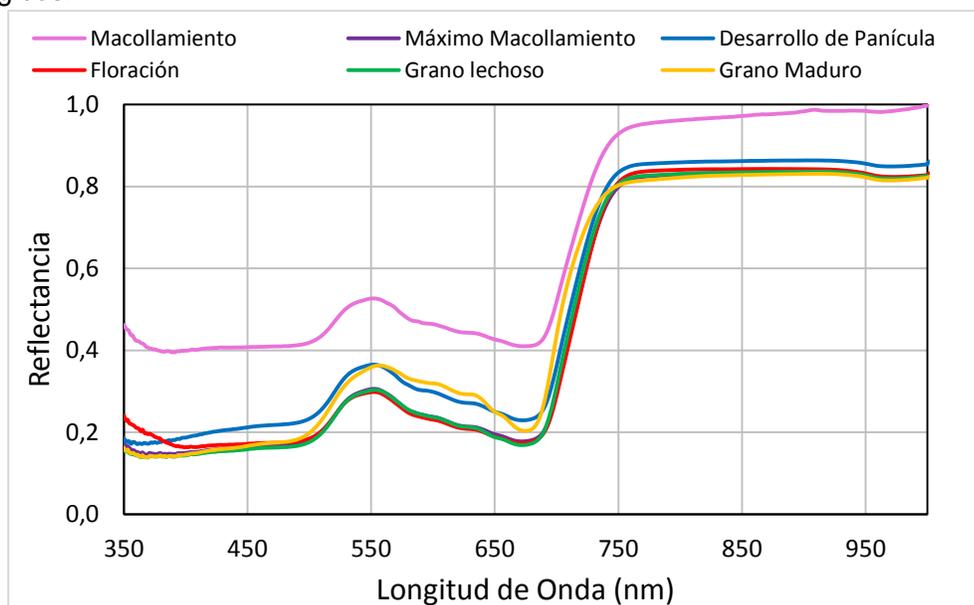
El análisis de correlación se realizó para todo el conjunto de datos que tuvieron diferencia significativa en el ANOVA en cada etapa fenológica para evaluar el rendimiento de los índices de vegetación. Se utilizó un análisis de regresión simple para evaluar la relación de clorofila (A, B y totales), nitrógeno y los IV. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software RStudio y Statgraphics. “En la evaluación de los diferentes modelos de regresión lineal y no lineal se seleccionó los que obtuvieron R^2 más alto como los posibles estimadores de cada variable agronómica. Adicionalmente se realizó una regresión lineal múltiple, donde se utiliza más de una variable explicativa para utilizar más información en la construcción del modelo y consecuentemente, realizar estimaciones más precisas, como se usa más de una variable explicativa no se debe emplear términos independientes, para ello se calculó la multicolinealidad y se determinó por medio del factor de inflación de la varianza (FIV), número de condición y el índice de condición” (Aparicio, Asunci, & Morales, n.d.).

5. Resultados y Discusión

5.1 Respuestas espectrales de las hojas de arroz en seis estados fenológicos.

En la Figura 5-1 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales del cultivo de arroz en seis etapas fenológicas (macollamiento, máximo macollamiento, desarrollo de panícula, floración, grano lechoso y grano maduro) sin tener en cuenta la dosis de N. El macollamiento presentó la más alta reflectancia en el rango del visible, mientras que en la floración y en grano lechoso la reflectancia fue la menor.

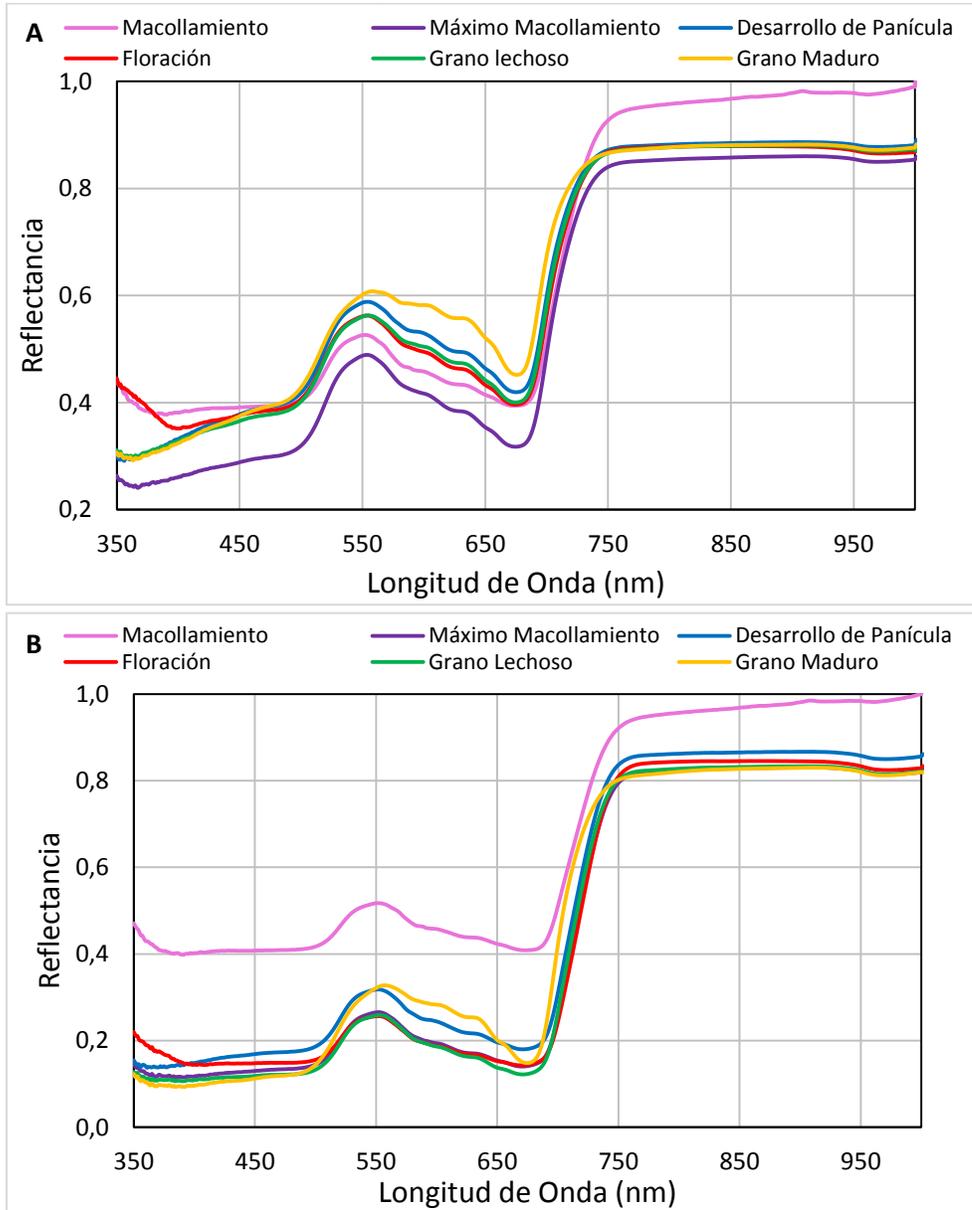
Figura 5-1: Respuestas espectrales entre los 350 – 1000 nm en diferentes estados fenológicos.

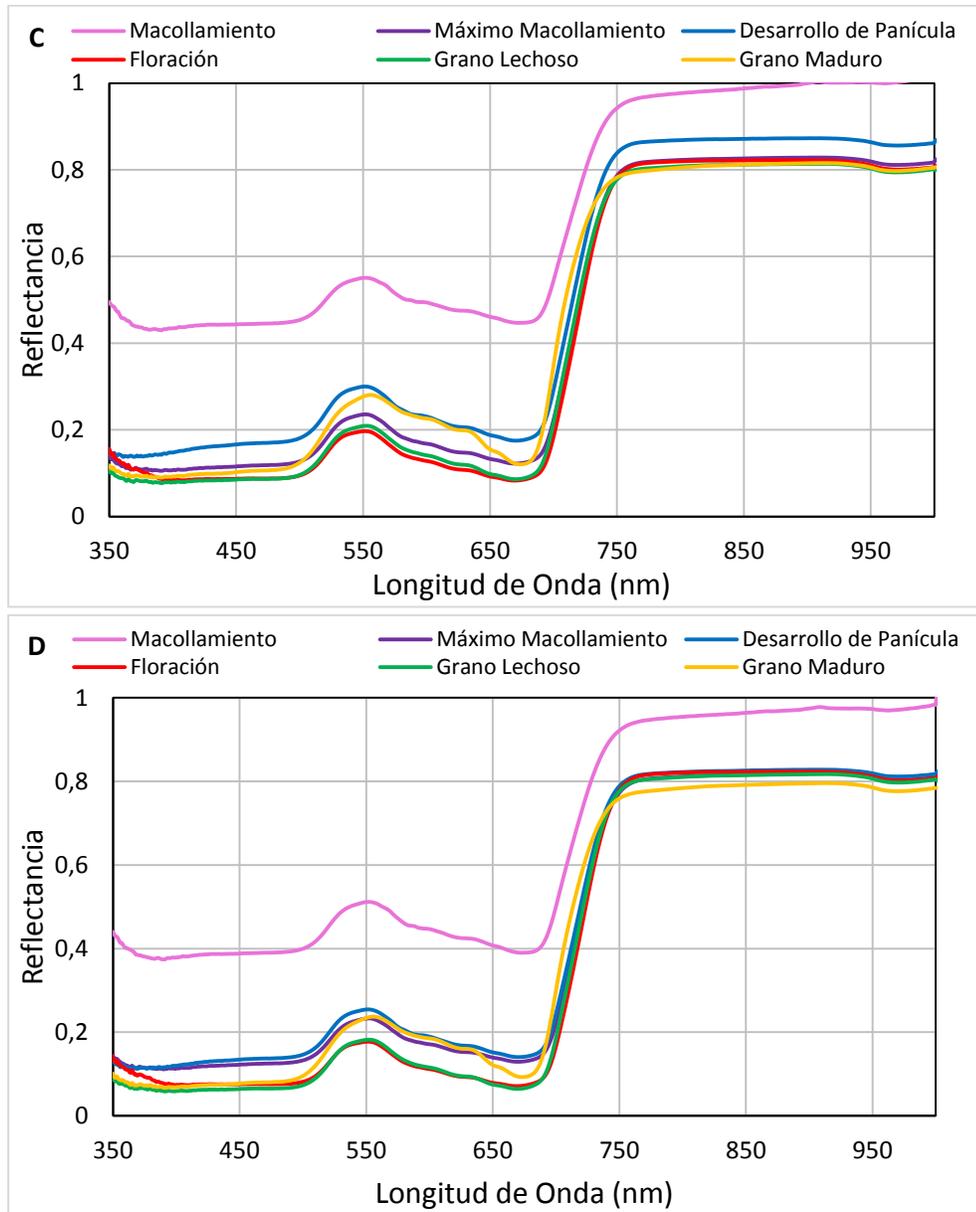


La Figura 5-2 se observa el comportamiento de las respuestas espectrales del cultivo de arroz para cada dosis de N en seis etapas fenológicas. El macollamiento presentó las más altas reflectancia en el rango del visible, mientras que en la floración y el grano lechoso los

valores más bajos, excepto en el tratamiento 0 kg-N/ha. En el máximo macollamiento también se obtuvo valores bajos pero a medida que aumentaba la dosis de N también los hizo la reflectancia

Figura 5-2: Respuestas espectrales entre los 350 – 1000 nm en diferentes estados fenológicos. (A) Dosis de N de 0 kg/ha; (B) Dosis de N de 160 kg/ha; (C) Dosis de N de 200 kg/ha; (D) Dosis de N de 240 kg/ha.





Los valores bajos de reflectancia para la etapa de máximo macollamiento se deben a que el arroz absorbe activamente N en esta etapa para aprovecharlo en la síntesis de proteínas y producción de macollas (Quirós & Ramirez, 2006, p.181). En las etapas del desarrollo de la panícula y floración, la reflectancia posee valores bajos debido a la alta cantidad de N que requieren para el desarrollo del crecimiento (Dobermann & Fairhurst, 2006, p.5). Los altos valores de reflectancia en la etapa de macollamiento con la dosis de 0 kg-N/ha se relacionan por la deficiencia de N, debido que los pigmentos en las hojas absorben débilmente la luz en la región de la radiación fotosintéticamente activa y por ello la reflexión

es mayor entre los 400 – 700 nm (Reynolds, Pask, Mullan, & Chávez, 2013, p.82). La reflectancia alta también puede ser ocasionada por otros tipos de estrés, disminuyendo la producción de clorofila, lo que provoca menor absorción en las regiones típicas y aumenta la reflexión en la región del rojo. La reflectancia de las hojas depende de factores morfológicos, concentración de pigmentos, estructura celular y contenido de agua. La deficiencia de uno o algunos nutrimentos disminuye la formación de pigmentos y como consecuencia, el color de las hojas es menos intenso, de tal manera que esto incrementa la reflectancia y transmitancia (De La Cruz, 2008, p.11).

5.2 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de macollamiento

En la Figura 5-3 y Figura 5-4 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales con respecto a la fertilización nitrogenada. A medida que aumenta la dosificación de N es menor la reflectancia debido a la cantidad de clorofila que tiene la hoja. Los valores de máxima reflectancia variaron entre 0,5 y 0,52, para las dosis de 0 kg-N/ha, 160 kg-N/ha, 240 kg-N/ha y un valor máximo de 0,55 para el tratamiento de 200 kg-N/ha. Lo anterior se debe que las hojas con menor contenido de N producen trastornos en el follaje indicando menos formación de clorofila, por lo tanto tienen mayor reflectancia en la longitud de onda del espectro visible. Además los principales esfuerzos en el modelado de la reflectancia de la vegetación utilizando la teoría de la transferencia radiativa han sido a nivel del dosel, y hay menos modelos a nivel de hoja, que depende de la microestructura y la propiedad material de las hojas. La reflectancia de la hoja ilustra algunas características únicas. En general, los pigmentos foliares tienen un gran impacto en la reflectancia visible, la absorción se debe a pigmentos como clorofilas a + b, carotenoides y pigmentos marrones que aparecen durante la senescencia, además la estructura celular de las hojas se expresa en el rango del infrarrojo cercano y el vapor de agua, las proteínas, la química foliar afecta la reflectancia desde el infrarrojo cercano al espectro del infrarrojo medio (Liang, 2003, p.275).

Al igual la absorbancia de la luz por las hojas en el espectro visible depende principalmente de la concentración de clorofila y carotenoides. Las hojas verdes absorben entre el 75 y 90 % de la luz en la parte azul (cerca de 450 nm) o roja (cerca de 675 nm) del espectro electromagnético. La absorbancia es menor en la región de longitud de onda alrededor de

550 nm, además las medidas de reflectancia pueden usarse como indicador del cambio en la concentración de clorofila (De La Cruz, 2008, p.10-68).

Figura 5-3: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 850 nm en la etapa fenológica de macollamiento.

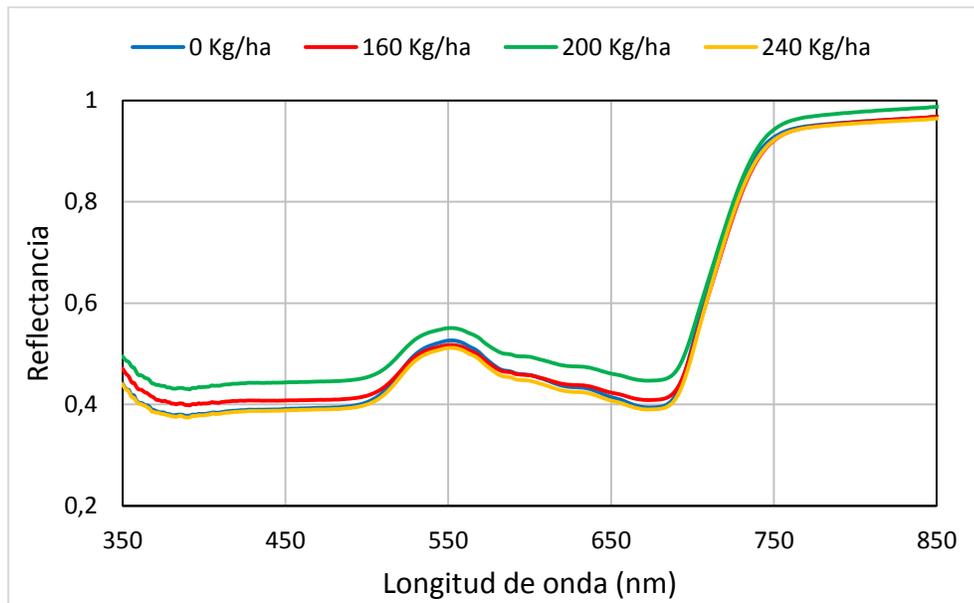
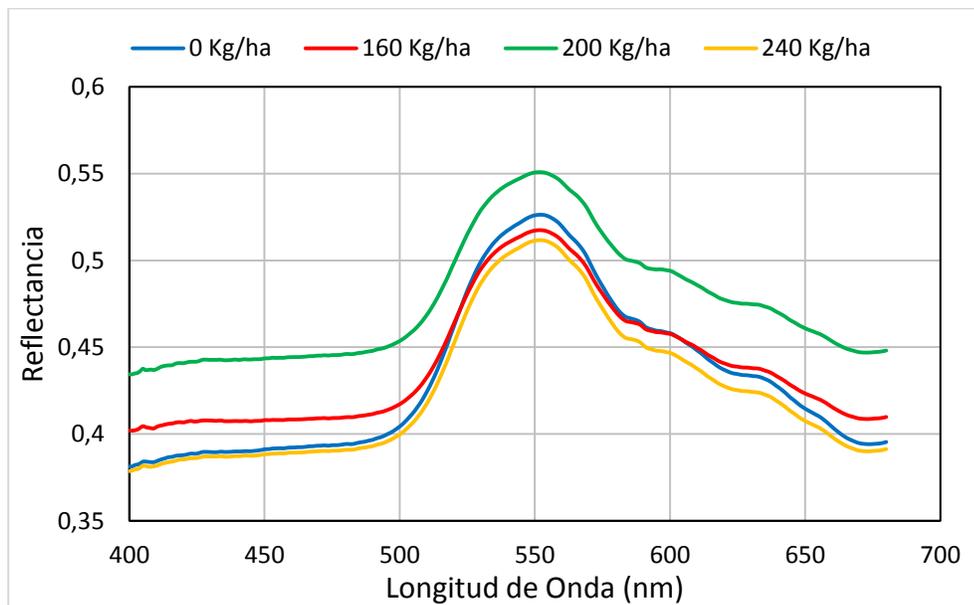
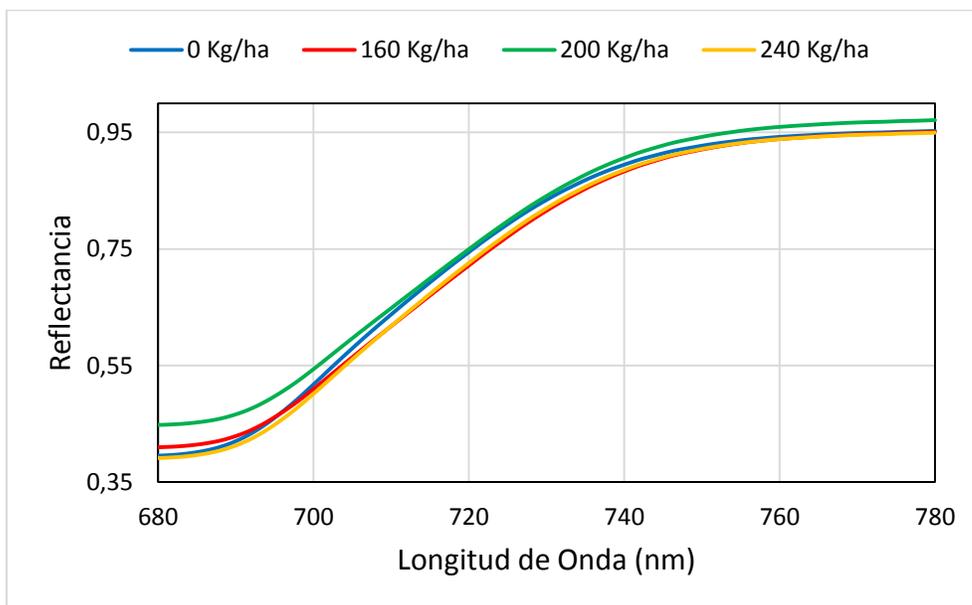


Figura 5-4: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento.



La Figura 5-5 muestra el comportamiento de la reflectancia con respecto a los tratamientos de N entre los 680 – 780 nm, La mayor diferencia se visualiza entre los 710 y 730 nm. Se observa que a mayor cantidad de N es menor la reflectancia, aunque en esta etapa fenológica es mínimo ese efecto, debido principalmente que las parcelas aun no presentan contraste con respecto a la incorporación de las cantidades de N por tratamiento, ya que la toma de datos se realizó sobre los 19 ddg, entre la siembra y la primera abonada, con la finalidad de conocer el comportamiento de cada tratamiento desde el inicio del cultivo. La fertilización nitrogenada promueve una disminución en la reflectancia en el rojo, lo contrario sucede cuando no se aplica N. “Además la franja de transición entre el rango visible (rojo) y el rango del infrarrojo cercano (NIR) de las respuestas espectrales es conocida con el nombre de la región del *red edge*, en esta zona es donde se presenta las características de absorción más importante de las curvas de reflectancia para la vegetación, debido a que se encuentra un fuerte cambio entre los rangos, caracterizado por un valor de absorbancia extremadamente alto en el visible (rojo), seguido por una baja absorbancia en el rango del infrarrojo cercano. Lo anterior se asocia con la poca reflectancia de luz roja de la clorofila, la estructura interna y contenido de agua foliar, mostrando que esta región del espectro es una de las más importantes para la clasificación de especies vegetales según sus estado fenológico” (Clevers et al., 2002, p.3174).

Figura 5-5: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento.



La Figura 5-6 y Figura 5-7 muestran la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 - 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,0035 – 0,0045 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, los valores máximos de los picos se encuentran entre 0,010 – 0,013 ubicados en 700 nm. La primera derivada es una operación matemática donde la pendiente de una curva es determinada en cualquier punto, de modo, que cuando no hay cambio en una curva la derivada es constante y cuando la curva es plana la derivada es pequeña o cero, por el contrario cuando se produce un cambio brusco creciente, la derivada es grande pero positiva y cuando el cambio es decreciente, la derivada es grande pero negativa. Además permite calcular el cambio que sufre una variable cuando se somete a sucesivos incrementos relacionada por una función matemática de cualquier tipo. La función derivada puede ser usada para resaltar pequeñas variaciones en esa curvas (Castaño Vidriales, 1991, p.350). Asimismo bajo el nombre del espectro derivado se entiende la representación gráfica, en un intervalo determinado de longitudes de ondas, del cociente diferencial $dA/d\lambda$ para la primera derivada. “Una banda de absorción simple posee dos puntos de inflexión y un máximo de adsorción a longitudes de onda características que son independientes de la concentración. Por consiguiente la función $dA/d\lambda$ pasa un máximo y un mínimo en los puntos de inflexión y vale cero en el máximo. La distancia vertical entre el máximo y el mínimo de la derivada se denomina “amplitud” y constituye el parámetro analítico que suele utilizarse para relacionarlo de forma lineal con la concentración. La primera derivada se utiliza para la determinación exacta del máximo de absorción, especialmente cuando se trata de picos anchos”. “En una curva de absorción compleja los puntos de inflexión negativos de los picos de absorción coinciden a menudo con los máximos de las bandas individuales de los componentes” (López de Alba & López Martínez, 1992, p.161). Además es muy útil para determinar la velocidad del cambio de la absorbancia a los largo de la respuesta espectral y en que longitud de onda se produce esos cambios, ya que estos cambios no son visibles fácilmente en las respuestas espectrales de los datos puros o de la reflectancia simple. “Al mismo tiempo los picos identifican la ubicación de los puntos de inflexión de la curva de la reflectancia e indica la magnitud y dirección de la velocidad de cambio en los puntos de inflexión” (Xue & Yang, 2009, p.101). Por otro lado se debe señalar, que la primera derivada ha generado importantes resultados en el desarrollo de nuevos índices proporcionando avances en las estimaciones de los contenidos de clorofila y N.

Figura 5-6: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de macollamiento.

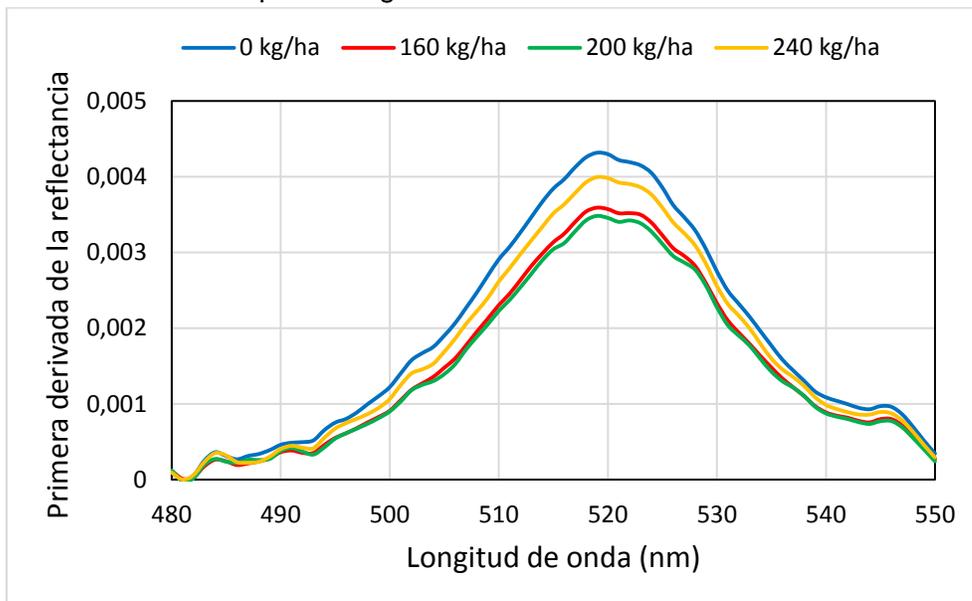
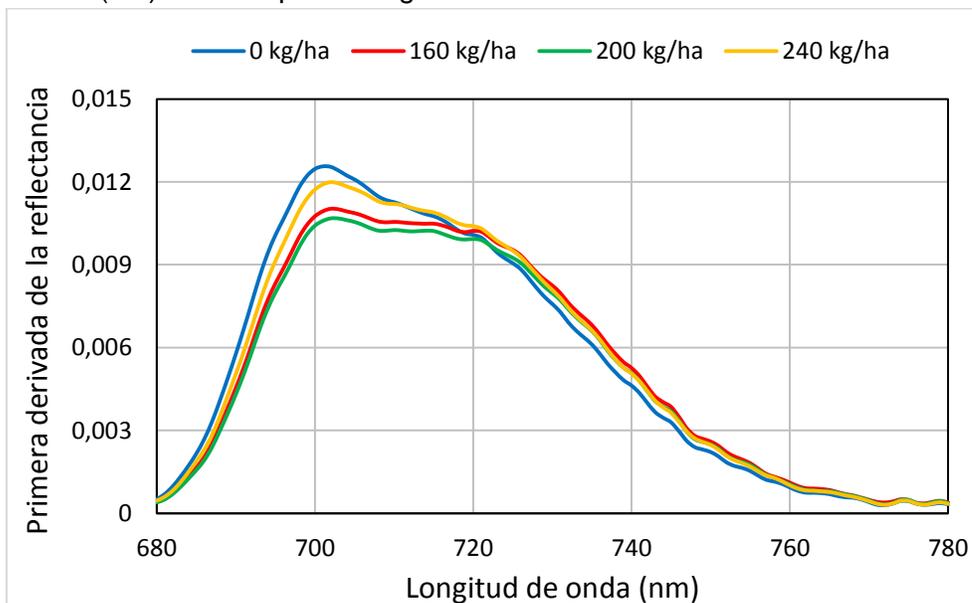


Figura 5-7: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 (nm) en la etapa fenológica de macollamiento.



Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de las variable se observa que hay diferencia para DDI, TCARI, BND, BmND y D_{754}/D_{704} entre tratamiento. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los datos en relación entre el

tamaño de la media y la variabilidad de la variable, con el fin de evaluar la calidad estadística de las estimaciones, donde a mayor valor, mayor heterogeneidad de los datos; y a menor valor, mayor homogeneidad. Los índices que obtuvieron valores > 100 , no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables DDI, YCAR y D_{754}/D_{704} .

En la Tabla 5-1 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que para las variables índices RES, PPR, DDI, TCARI, R_{675}/R_{700} , R_{695}/R_{670} , $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$, $(R_{850} - R_{710})/(R_{850} - R_{680})$, mSR, Red/Green, NPQI, OCAR, YCAR, D_{705}/D_{722} , D_{725}/D_{702} , BND, BmSR, BmND, D_{754}/D_{704} , D_{715}/D_{705} y los contenidos de clorofila A, B y total, presentaron diferencia significativa entre tratamiento con un 95 % de nivel de confianza.

Tabla 5-1: Resumen del ANOVA para el macollamiento

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,3930 |
| NDVI1 | 0,2835 | PSRI | 0,5286 |
| NDVI2 | 0,6179 | Red/Green | 0,0825 |
| GNDVI | 0,5610 | R_{550}/R_{800} | 0,2883 |
| PPR | 0,0179 | PSSR _a | 0,2532 |
| PRI | 0,6862 | PSSR _b | 0,3459 |
| SIPI | 0,7847 | PSND _a | 0,2835 |
| REArea | 0,3578 | PSND _b | 0,4124 |
| DDI | 0,0007 | NPCI | 0,7465 |
| TACRI | 0,0062 | SRPI | 0,7623 |
| R_{675}/R_{700} | 0,0314 | $R_{800} - R_{550}$ | 0,7698 |
| R_{740}/R_{720} | 0,4888 | R_{800}/R_{550} | 0,6292 |
| R_{710}/R_{760} | 0,5581 | NPQI | 0,0159 |
| R_{695}/R_{760} | 0,4462 | OCAR | 0,0170 |
| R_{695}/R_{670} | 0,0274 | YCAR | 0,0234 |
| R_{750}/R_{705} | 0,6611 | D_{705}/D_{722} | 0,0000 |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,6071 | D_{725}/D_{702} | 0,0001 |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,0018 | BND | 0,0001 |
| $(R_{850} - R_{710})/(R_{850} - R_{680})$ | 0,0000 | BmSR | 0,0001 |
| NDRE1 | 0,3210 | BmND | 0,0001 |
| NDRE2 | 0,6074 | D_{754}/D_{704} | 0,0000 |
| $(R_{790}/R_{695-740}) - 1$ | 0,5786 | D_{715}/D_{705} | 0,0000 |
| $(R_{790}/R_{690-725}) - 1$ | 0,6469 | Clorofila A $\mu\text{g}/\text{mg}$ | 0,0005 |
| mSR | 0,0012 | Clorofila B $\mu\text{g}/\text{mg}$ | 0,0055 |
| SR ₆₈₀ | 0,2532 | Clorofila Total $\mu\text{g}/\text{mg}$ | 0,0008 |
| SR ₇₀₅ | 0,6611 | | |

En la Tabla 5-2 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-2: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el macollamiento.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,04895* | 0,04923* | 0,03025* | 0,00028 | -0,01869 | 0,01898 |
| PPR | 0,03338* | 0,04377* | 0,00677 | 0,01039 | -0,02660 | -0,03700* |
| DDI | -0,04007* | -0,03820* | -0,02541* | 0,00186 | 0,01466 | 0,01279 |
| TACRI | 0,12462* | 0,14959* | 0,04243 | 0,02497 | -0,08218 | -0,10716* |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,04465 | -0,06351* | -0,01142 | -0,01886 | 0,03322 | 0,05208* |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,04983 | 0,06609* | 0,00832 | 0,01626 | -0,04150 | -0,05777* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,11646* | -0,08178* | -0,05006 | 0,03467 | 0,06639* | 0,03172 |
| R ₈₅₀ -R ₇₁₀ /R ₈₅₀ -R ₆₈₀ | -0,05070* | -0,05143* | -0,03104* | -0,00072 | 0,01965 | 0,02038 |
| mSR | -0,45243* | -0,41125* | -0,27782* | 0,04117 | 0,17460 | 0,13343 |
| NPQI | -0,00246* | -0,00098 | -0,00017 | 0,00148 | 0,00229* | 0,00081 |
| OCAR | 0,03572* | 0,04456* | 0,00501 | 0,00883 | -0,03071 | -0,03955* |
| YCAR | 0,05525* | 0,06834* | 0,00607 | 0,01308 | -0,04917 | -0,06226* |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,15491* | 0,15672* | 0,08654* | 0,00181 | -0,06837 | -0,07018* |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,14352* | -0,14462* | -0,08370* | -0,00110 | 0,05981 | 0,06092 |
| BND | -0,08672* | -0,08824* | -0,05531* | -0,00151 | 0,03140 | 0,03292 |
| BmSR | -0,06648* | -0,06100* | -0,03791* | 0,00548 | 0,02857 | 0,02309 |
| BmND | -0,10252* | -0,10405* | -0,06537* | -0,00152 | 0,03715 | 0,03868 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,04329* | -0,04175* | -0,02274* | 0,00154 | 0,02055* | 0,01901 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,07460* | -0,07823* | -0,04436* | -0,00363 | 0,03024 | 0,03387 |
| Clorofila A | -405,742* | -365,018* | -379,815* | 40,7243 | 25,9269 | -14,7975 |
| Clorofila B | -115,957* | -99,4837* | -121,885* | 16,4733 | -5,92847 | -22,4017 |
| Clorofila Total | -521,699* | -464,502* | -501,701* | 57,1976 | 19,9984 | -37,1992 |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-3 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Aunque en esta etapa fenológica se obtuvieron valores medios, para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices mayores a 0,40 con respecto a la clorofila total. Por lo anterior para el contenido de clorofila A, B y totales de las hojas los resultados mostraron una correlación positiva y altamente significativa con los índices DDI, mSR y BmSR.

Tabla 5-3: Coeficiente de correlación para el macollamiento (n=96).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|-----|----------------|----------------|-----------------|
| RES | -0,371** | -0,322** | -0,368** |
| PPR | 0,140 | 0,115 | 0,137 |
| DDI | 0,452** | 0,400** | 0,449** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-3: (Continuación).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| TACRI | 0,013 | -0,005 | 0,009 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,149 | -0,127 | -0,147 |
| R ₆₇₅ /R ₆₇₀ | 0,110 | 0,079 | 0,105 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,351** | 0,325** | 0,353** |
| R ₈₅₀ -R ₇₁₀ /R ₈₅₀ -R ₆₈₀ | 0,360** | 0,314** | 0,357** |
| mSR | 0,419** | 0,377** | 0,418** |
| Red/Green | -0,194 | -0,171 | -0,193 |
| NPQI | 0,042 | 0,039 | 0,042 |
| OCAR | 0,080 | 0,051 | 0,074 |
| YCAR | 0,101 | 0,071 | 0,096 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,382** | -0,334** | -0,379** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,376** | 0,326** | 0,372** |
| BND | 0,377** | 0,328** | 0,373** |
| BmSR | 0,405** | 0,345** | 0,399** |
| BmND | 0,379** | 0,329** | 0,375** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,314** | 0,281** | 0,313** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,387** | 0,332** | 0,383** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-8 y Figura 5-9 se observan las regresiones para las variable que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativas (Tabla 5-3). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R², dando como resultado que DDI y BmSR la regresión exponencial obtuvo el mayor ajuste frente a la variable de clorofila total, A y B, en mSR la regresión que mayor tuvo ajuste frente a la clorofila total, A y B fue la potencial.

Los índices evaluados en las regresiones con respecto a la clorofila total y A presentaron un R² que fluctuó entre 0,17 y 0,22, para la clorofila B un R² que osciló entre 0,13 y 0,16, indicando la baja representatividad del modelo, lo que supone que no se explica muy bien la variación total de las variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de macollamiento, ninguno de los índices es muy confiable para estimar los contenidos de clorofila, aunque el DDI fue el índice que mayor R² obtuvo, puede ser el más útil para dicha estimación.

Figura 5-8: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice DDI. (D, E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice de mSR.

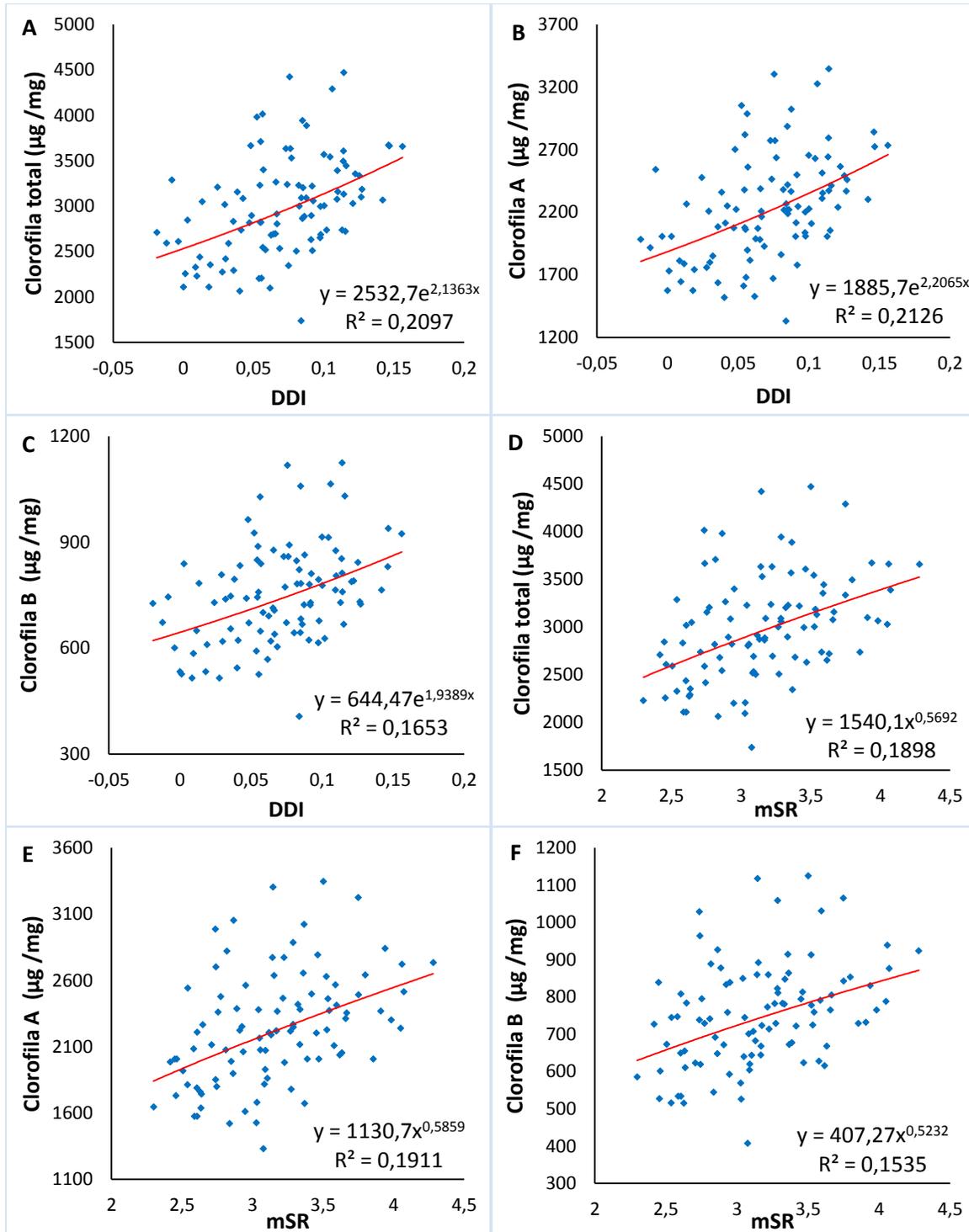
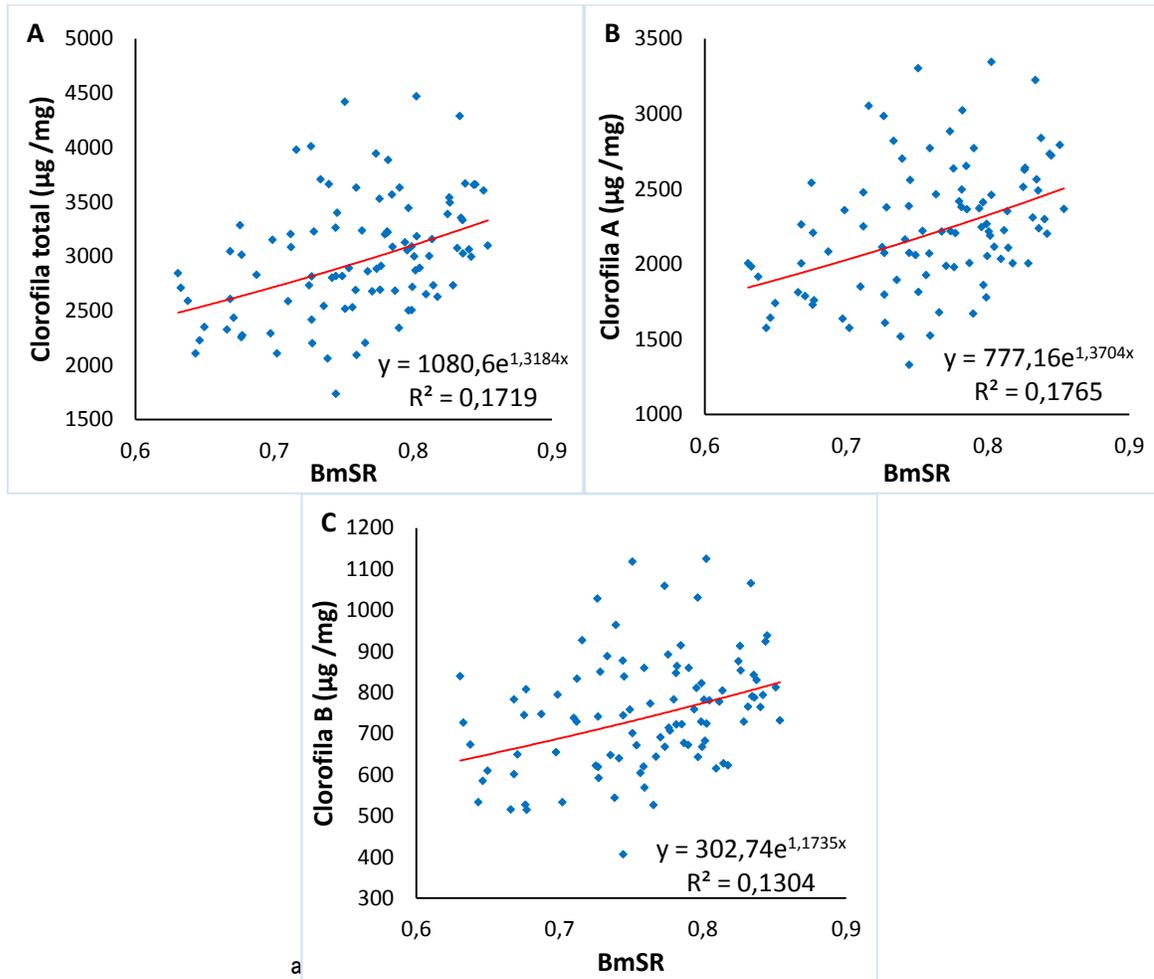


Figura 5-9: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice BmSR.



Las variables seleccionadas de acuerdo a las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Las variables que se utilizaron fueron DDI, mSR y BmSR en relación a los contenidos de clorofila total. Como se usa más de una variable explicativa no se debe emplear términos independientes, para ello se determinó por medio del factor de inflación de la varianza (FIV), número de condición y el índice de condición el diagnóstico para detectar problemas de multicolinealidad (Aparicio, Asunci, & Morales, n.d., p.128).

Según la Tabla 5-4 para el contenido de clorofila total el valor de FIV en todas las variables es mayor a 10 que pone de manifiesto la existencia de multicolinealidad. Adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparándolo con el valor del modelo ajustado, en

el que el FIV de todas las variables resultaron mayores al modelo ajustado, además el número e índice de condición presentaron valores superiores a 1000 revelando una relación de dependencia entre los regresores, indicando igualmente presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variable presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficiente resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-4: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofilas totales.

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|------|---------|------------------|---------------------|---------------------|
| DDI | 16,4173 | 1,2652 | 154497,8 | 574,9356 |
| mSR | 11,6256 | | | 24690,0194 |
| BmSR | 10,8469 | | | 154497,8050 |

5.3 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de máximo macollamiento

La Figura 5-10 y Figura 5-11 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales frente a diferentes dosis de N. Los valores de máxima reflectancia variaron entre 0,23 y 0,26, excepto en el tratamiento de 0 kg-N/ha con 0,49, los tratamientos de 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha tendieron a comportarse de manera similar. A medida que aumentó la dosificación de N fue menor la reflectancia. Lo anterior se debe, que las hojas que tienen menor contenido de N poseen menos formación de clorofila, y se ve reflejado en el espectro visible alrededor de los 550 nm con una mayor reflectancia y menor absorvancia en las longitudes de onda de los 450 y 675 nm.

La Figura 5-12 muestra el efecto que causa la fertilización en la reflectancia entre los 680 – 780 nm. La mayor diferencia se visualiza entre los 680 y 760 nm. Se observa que a mayor cantidad de N la reflectancia es menor, este comportamiento se debe que las parcelas ya presentan diferencia con respecto a la incorporación de los tratamientos de N.

Figura 5-10: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 (nm) en la etapa fenológica de máximo macollamiento.

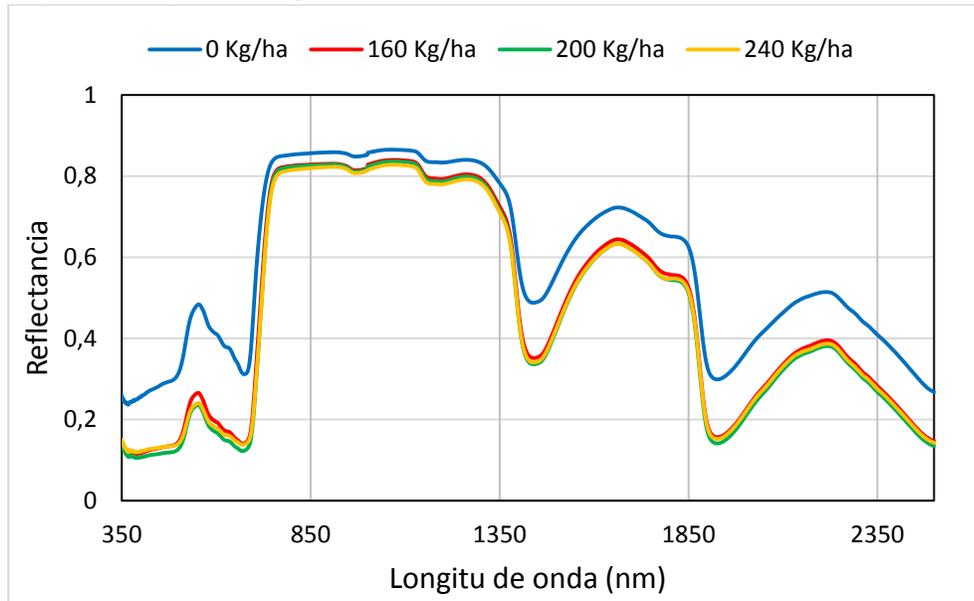


Figura 5-11: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento.

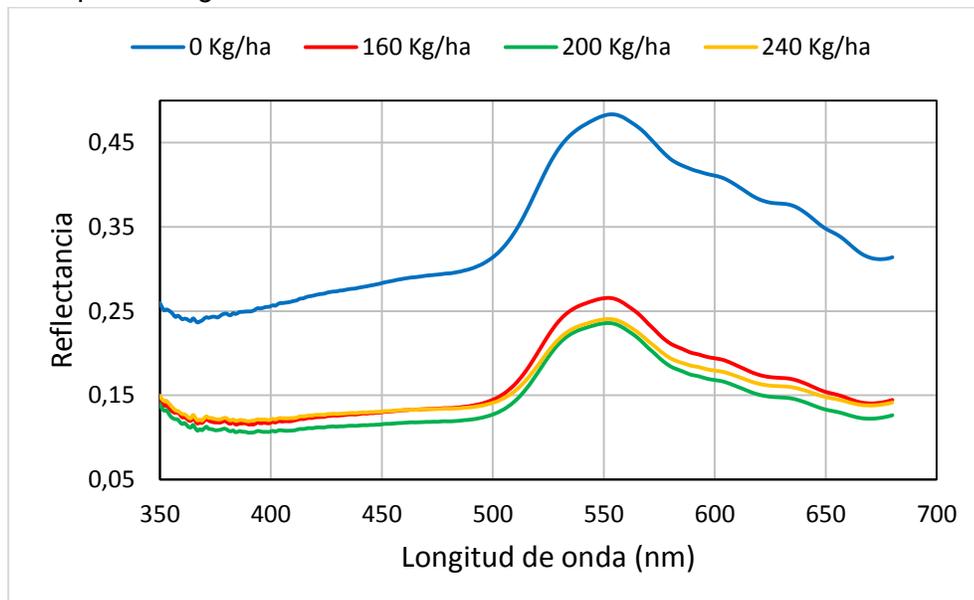
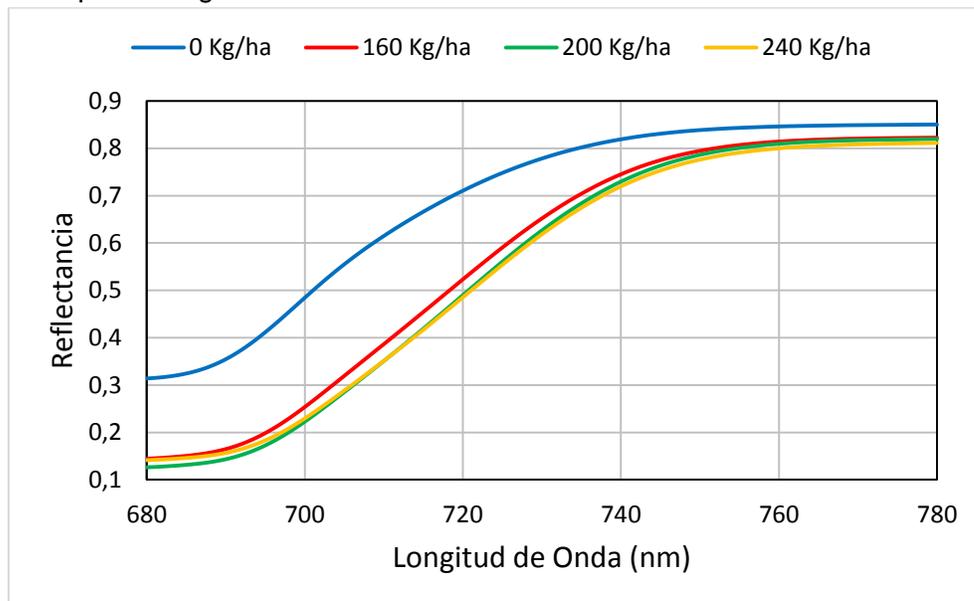


Figura 5-12: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento.



La Figura 5-13 y Figura 5-14 muestra la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 – 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,0035 – 0,0056 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, los valores máximos de los picos se encuentran entre 0,013 – 0,015 ubicados en 720 nm para los tratamientos 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha, y 700 nm para el tratamiento 0 kg-N/ha.

Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de cada variable se observa que hay diferencia para R_{695}/R_{670} , $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$, mSR, PSRI, PSSRa, PSSRb, BmND entre tratamiento. Los demás índices solo tienen diferencia con respecto al tratamiento de 0 kg/ha, excepto $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$, $R_{800}-R_{550}$, R_{800}/R_{550} , NPQI, OCAR, YCAR. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, los índices que obtuvieron valores > 100 , no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables PSRI, BND, y BmND.

Figura 5-13: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento.

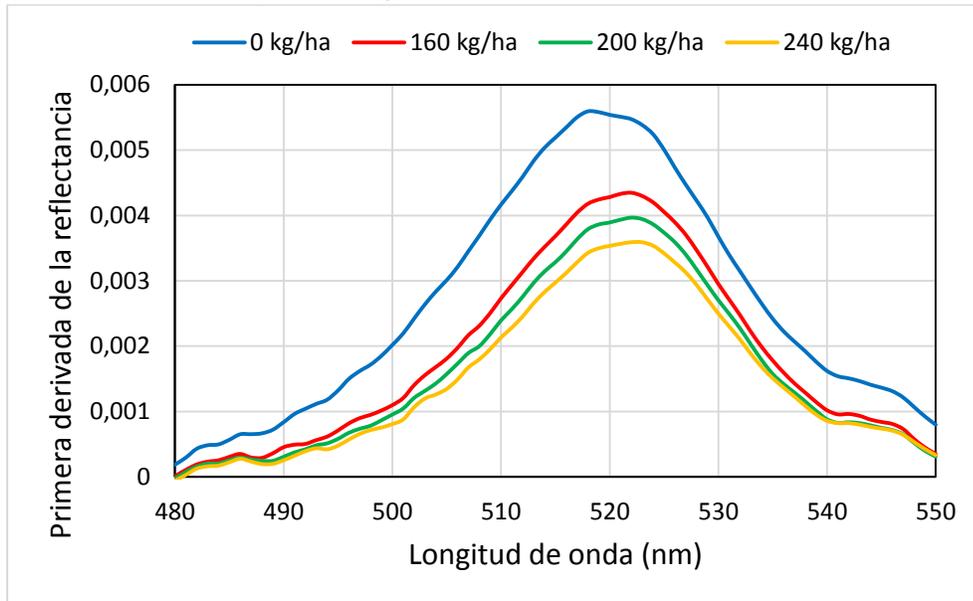
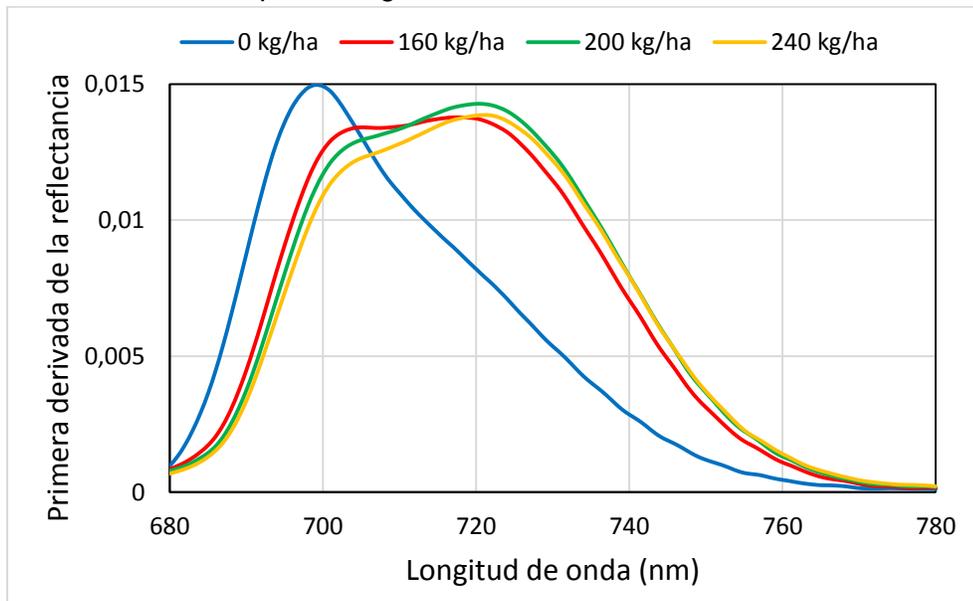


Figura 5-14: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de máximo macollamiento.



En la Tabla 5-5 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que las

variables PSRI y YCAR fueron los únicos índices que no obtuvieron diferencia significativa entre tratamiento con $P > 0,05$.

Tabla 5-5: Análisis de varianza (ANOVA) para el máximo macollamiento.

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,0000 |
| NDVI1 | 0,0000 | PSRI | 0,9244 |
| NDVI2 | 0,0000 | Red/Green | 0,0000 |
| GNDVI | 0,0000 | R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,0000 |
| PPR | 0,0000 | PSSR _a | 0,0000 |
| PRI | 0,0000 | PSSR _b | 0,0000 |
| SIPI | 0,0000 | PSND _a | 0,0000 |
| REArea | 0,0000 | PSND _b | 0,0000 |
| DDI | 0,0000 | NPCI | 0,0184 |
| TACRI | 0,0000 | SRPI | 0,0118 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,0000 | NPQI | 0,0009 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,0000 | OCAR | 0,0060 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,0107 | YCAR | 0,2854 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,0000 | D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,0000 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,0000 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | BND | 0,0000 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,0000 | BmSR | 0,0000 |
| NDRE1 | 0,0000 | BmND | 0,0000 |
| NDRE2 | 0,0000 | D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,0000 | D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,0000 | Clorofila A µg /mg | 0,0000 |
| mSR | 0,0000 | Clorofila B µg /mg | 0,0000 |
| SR ₆₈₀ | 0,0000 | Clorofila Total µg /mg | 0,0000 |
| SR ₇₀₅ | 0,0000 | | |

En la Tabla 5-6 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-6: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el máximo macollamiento.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,18828* | 0,22019* | 0,23070* | 0,03190* | 0,04241* | 0,01050 |
| NDVI1 | -0,23243* | -0,26309* | -0,23659* | -0,03066 | -0,00415 | 0,02650 |
| NDVI2 | -0,22120* | -0,26190* | -0,25403* | -0,04070* | -0,03283* | 0,00786 |
| GNDVI | -0,22689* | -0,26589* | -0,25626* | -0,03899* | -0,02936* | 0,00963 |
| PPR | -0,07652* | -0,07510* | -0,03786* | 0,00141 | 0,03865* | 0,03724* |
| PRI | -0,02490* | -0,03044* | -0,02471* | -0,00553* | 0,00019 | 0,00573* |
| SIPI | 0,04258* | 0,04873* | 0,04853* | 0,00614 | 0,00595 | -0,00019 |
| REArea | -0,13401* | -0,14583* | -0,12047* | -0,01181 | 0,01354 | 0,02536* |

*Diferencia significativa

Tabla 5-6: (Continuación)

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| DDI | -0,20250* | -0,24053* | -0,24451* | -0,03802* | -0,04201* | -0,00398 |
| TACRI | 0,18057* | 0,25282* | 0,34185* | 0,07225 | 0,16127* | 0,08902 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,08009* | 0,08686* | 0,04317* | 0,00677 | -0,03692 | -0,04369* |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,27237* | -0,33826* | -0,33428* | -0,06588* | -0,06190* | 0,00397 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,25087* | 0,29109* | 0,28670* | 0,04022* | 0,03583* | -0,00438 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,24032* | 0,27006* | 0,25541* | 0,02973* | 0,01509 | -0,01464 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,09932* | -0,09876* | -0,02956 | 0,00056 | 0,06976 | 0,06920 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | -0,98447* | -1,26936* | -1,22393* | -0,28488* | -0,23945* | 0,04542 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -5,89136* | -8,23151* | -8,23858* | -2,34015* | -2,34723* | -0,00707 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,39494* | -0,50518* | -0,64378* | -0,11023* | -0,24883* | -0,13860* |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | -0,20350* | -0,23523* | -0,24731* | -0,03172* | -0,04380* | -0,01207 |
| NDRE1 | -0,13278* | -0,16193* | -0,16252* | -0,02915* | -0,02974* | -0,00059 |
| NDRE2 | -0,24522* | -0,28933* | -0,27914* | -0,04410* | -0,03392* | 0,01018 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | -0,00967* | -0,01211* | -0,01198* | -0,00244* | -0,00231* | 0,00013 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | -0,02366* | -0,03022* | -0,02926* | -0,00655* | -0,00560* | 0,00095 |
| mSR | -1,49957* | -1,94663* | -2,07999* | -0,44706* | -0,58042* | -0,13336 |
| SR ₆₈₀ | -3,14212* | -4,12208* | -3,57519* | -0,97995* | -0,43307 | 0,54688 |
| SR ₇₀₅ | -0,98447* | -1,26936* | -1,22393* | -0,28488* | -0,23945* | 0,04542 |
| mND | -0,30193* | -0,33662* | -0,30848* | -0,03469 | -0,00654 | 0,02814 |
| Red/Green | 0,09014* | 0,10477* | 0,07210* | 0,01462 | -0,01803 | -0,03266* |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,19054* | 0,21034* | 0,19300* | 0,01980 | 0,00245 | -0,01734 |
| PSSR _a | -3,14212* | -4,12208* | -3,57519* | -0,97995* | -0,43307 | 0,54688 |
| PSSR _b | -3,04431* | -4,05311* | -3,55654* | -1,00881* | -0,51223 | 0,49657 |
| PSND _a | -0,23243* | -0,26309* | -0,23659* | -0,03066 | -0,00415 | 0,02650 |
| PSND _b | -0,26525* | -0,30291* | -0,27996* | -0,03766* | -0,01471 | 0,02295 |
| NPCI | 0,00151 | 0,01874* | 0,01990* | 0,01722* | 0,01838* | 0,00115 |
| SRPI | -0,00395 | -0,03449* | -0,03701* | -0,03054* | -0,03306* | -0,00252 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | -0,18958* | -0,21687* | -0,20426* | -0,02729* | -0,01468 | 0,01261 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | -1,35574* | -1,76346* | -1,70560* | -0,40772* | -0,34986* | 0,05785 |
| NPQI | 0,00241 | -0,00369* | -0,00398* | -0,00611* | -0,00639* | -0,00028 |
| OCAR | 0,02966 | 0,04579* | 0,07160* | 0,01613 | 0,04194* | 0,02580 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,75948* | 0,83789* | 0,86445* | 0,07841* | 0,10497* | 0,02656 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,53490* | -0,65155* | -0,69265* | -0,11665* | -0,15774* | -0,04109 |
| BND | -0,36542* | -0,42281* | -0,44407* | -0,05739* | -0,07865* | -0,02126 |
| BmSR | -0,30273* | -0,33287* | -0,34749* | -0,03014 | -0,04476* | -0,01462 |
| BmND | -0,46660* | -0,52972* | -0,55272* | -0,06311* | -0,08611* | -0,02299 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,10045* | -0,13622* | -0,15361* | -0,03577* | -0,05316* | -0,01738* |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,30223* | -0,35442* | -0,37341* | -0,05218* | -0,07117* | -0,01898 |
| Clorofila A | -906,021* | -1368,79* | -1699,66* | -462,770* | -793,640* | -330,870* |
| Clorofila B | -276,937* | -324,579* | -361,209* | -47,641 | -84,271 | -36,629 |
| Clorofila Total | -1182,96* | -1693,37* | -2060,87* | -510,412* | -877,911* | -367,499* |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-7 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que el contenido de clorofila A, B y totales de las hojas presentan una correlación positiva, altamente significativa y valores altos (> 0.75) con los índices NDVI1, NDVI2, GNDVI, DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₅₀/R₇₀₅, R₈₆₀/(R₅₅₀*R₇₀₈), NDRE1, NDRE2, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1 mSR, SR₆₈₀, SR₇₀₅, mND, PSSRa, PSSRb, PSNDa, PSNDb, R₈₀₀/R₅₅₀,

$R_{800}-R_{550}$, D_{725}/D_{702} , BND, BmND, D_{715}/D_{705} y correlación negativa, altamente significativa y valores altos (> 0.75) con los índices RES, R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , R_{550}/R_{800} . Para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices que obtuvieron valores superiores a 0,85 en clorofila totales, como R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$ y SR_{705} .

Tabla 5-7: Coeficiente de correlación para el máximo macollamiento (n=192)

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|---------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| RES | -0,792** | -0,525** | -0,771** |
| NDVI1 | 0,788** | 0,618** | 0,795** |
| NDVI2 | 0,854** | 0,614** | 0,845** |
| GNDVI | 0,848** | 0,618** | 0,842** |
| PPR | 0,421** | 0,442** | 0,456** |
| PRI | 0,733** | 0,609** | 0,749** |
| SIPI | -0,607** | -0,452** | -0,605** |
| REArea | 0,701** | 0,556** | 0,708** |
| DDI | 0,799** | 0,529** | 0,778** |
| TACRI | -0,303** | -0,106 | -0,268** |
| R_{675}/R_{700} | -0,426** | -0,419** | -0,453** |
| R_{740}/R_{720} | 0,858** | 0,599** | 0,845** |
| R_{710}/R_{760} | -0,841** | -0,602** | -0,832** |
| R_{695}/R_{760} | -0,816** | -0,620** | -0,817** |
| R_{695}/R_{670} | 0,313** | 0,328** | 0,339** |
| R_{750}/R_{705} | 0,871** | 0,618** | 0,860** |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,870** | 0,620** | 0,859** |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,592** | 0,347** | 0,564** |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | 0,782** | 0,518** | 0,761** |
| NDRE1 | 0,855** | 0,589** | 0,839** |
| NDRE2 | 0,853** | 0,614** | 0,844** |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 0,868** | 0,605** | 0,854** |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 0,871** | 0,616** | 0,859** |
| mSR | 0,828** | 0,533** | 0,802** |
| SR_{680} | 0,757** | 0,569** | 0,756** |
| SR_{705} | 0,871** | 0,618** | 0,860** |
| mND | 0,810** | 0,628** | 0,815** |
| Red/Green | -0,581** | -0,513** | -0,602** |
| R_{550}/R_{800} | -0,783** | -0,619** | -0,791** |
| $PSSR_a$ | 0,757** | 0,569** | 0,756** |
| $PSSR_b$ | 0,793** | 0,595** | 0,792** |
| $PSND_a$ | 0,788** | 0,618** | 0,795** |
| $PSND_b$ | 0,823** | 0,628** | 0,825** |
| NPCI | -0,193** | -0,037 | -0,162* |
| SRPI | 0,205** | 0,045 | 0,174* |
| $R_{800}-R_{550}$ | 0,808** | 0,572** | 0,798** |
| R_{800}/R_{550} | 0,868** | 0,619** | 0,858** |
| NPQI | 0,062 | -0,013 | 0,045 |
| OCAR | -0,050 | 0,031 | -0,031 |
| D_{705}/D_{722} | -0,749** | -0,524** | -0,738** |
| D_{725}/D_{702} | 0,802** | 0,526** | 0,779** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-7: (Continuación).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|------------------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| BND | 0,788** | 0,529** | 0,770** |
| BmSR | 0,726** | 0,488** | 0,709** |
| BmND | 0,772** | 0,523** | 0,755** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,784** | 0,460** | 0,747** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,797** | 0,533** | 0,777** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-15, Figura 5-16 y Figura 5-17 se observan las regresiones para las variable que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativa (Tabla 5-7). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para las variables R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$ y SR_{705} la regresión utilizada frente a la variable de clorofila total y B fue la potencial, las variables $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$ frente a la clorofila total y B la regresión que mayor se ajusto fue la exponencial, las variables R_{750}/R_{705} , $(R_{790}/R_{690-725})-1$ y SR_{705} con respecto a la clorofila A se utilizó la regresión lineal y en $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$, $(R_{790}/R_{695-740})-1$ se ajustaron las regresiones polinómica – 3° y polinómica – 2 ° respectivamente para la clorofila A.

Los índices evaluados en las regresiones con respectos a la clorofila total, A y B, obtuvieron una relación muy similar, donde el coeficiente tiende a ser alto para la estimación de clorofila total y A, con un valor de R^2 de 0,81 y R^2 de 0,77 respectivamente, indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables, para la clorofila B se obtuvo un valor de R^2 de 0,46, demostrando la baja representatividad del modelo, lo que supone que no se explica muy bien la variación total de las variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de máximo macollamiento el índice que mejor estima el contenido de clorofila total y A es el $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$, ya que obtuvo el mayor coeficiente R^2 , pero para clorofila B ningún índice evaluado tiene la bondad de lograr representar la estimación ya que su R^2 es bajo.

Las variables con las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Para el estado fenológico de máximo macollamiento se utilizaron $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, $(R_{790}/R_{690-725})-1$ y SR_{705} , con respecto a los contenidos de clorofila total.

Figura 5-15: (A y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice R_{750}/R_{705} . (B) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice R_{750}/R_{705} . (D y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$. (E) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A y el índice de $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$.

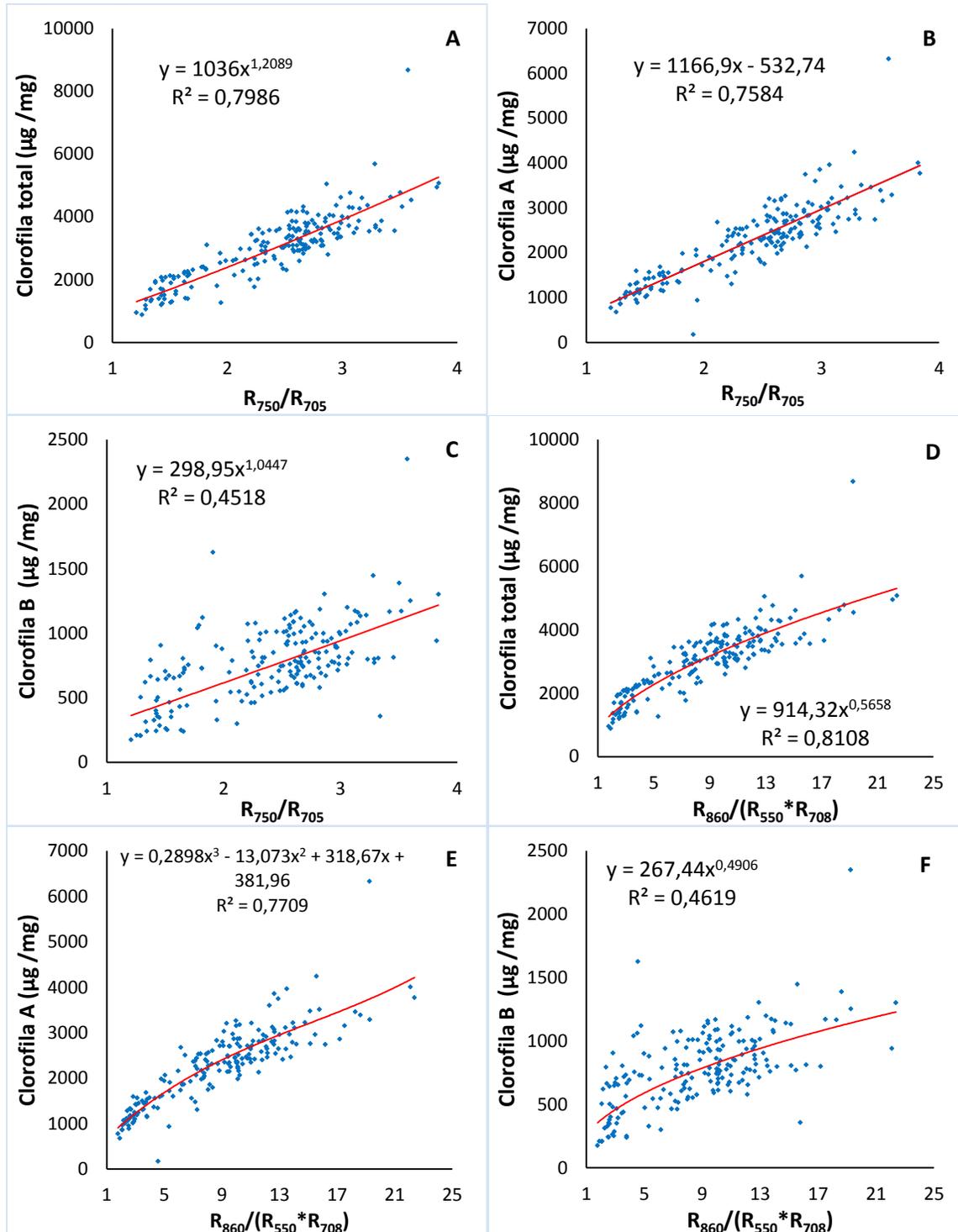


Figura 5-16: (A y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (B) Regresión polinómica – 2° entre el contenido de clorofila A y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (D y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$. (E) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice de $(R_{790}/R_{690-725})-1$.

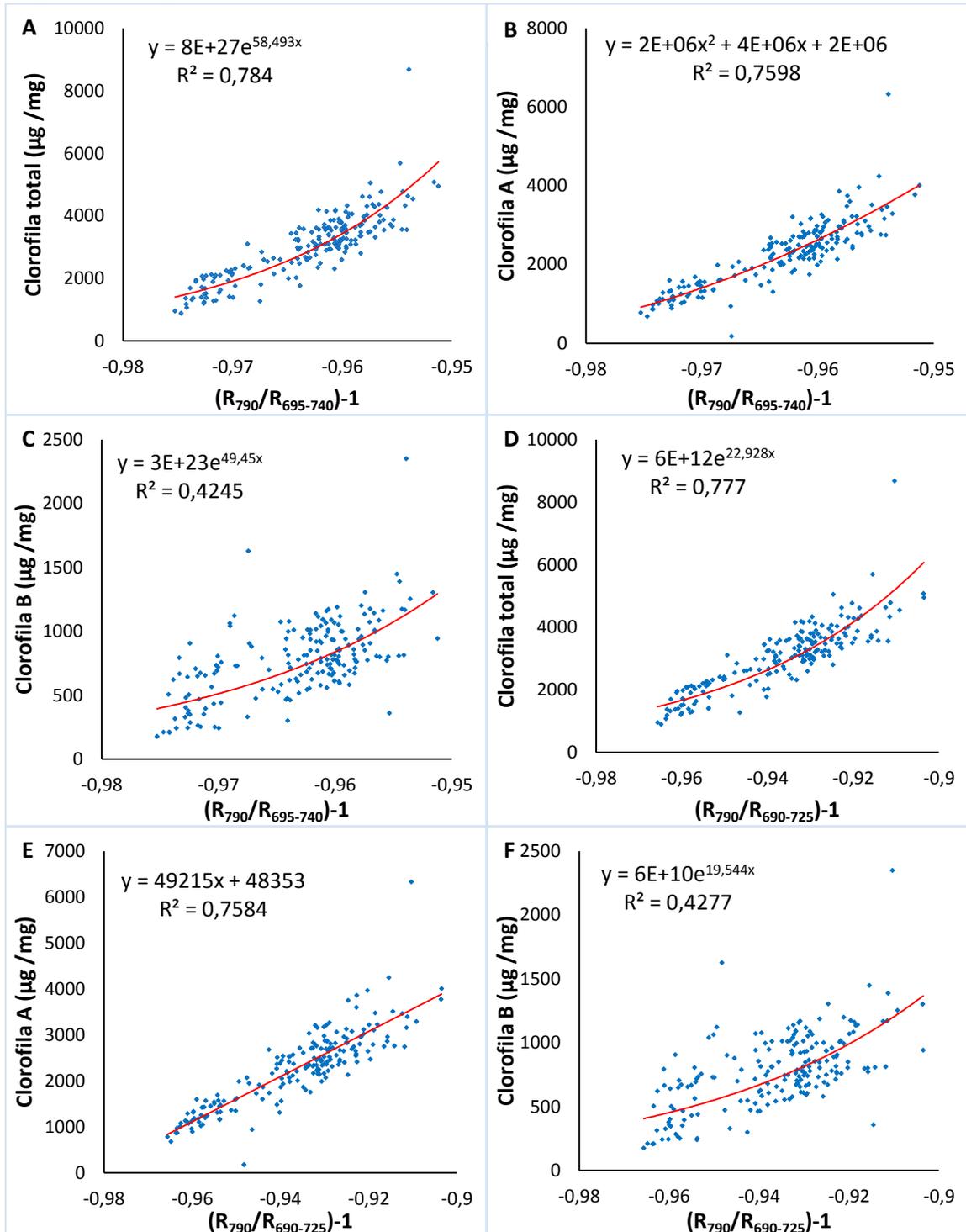
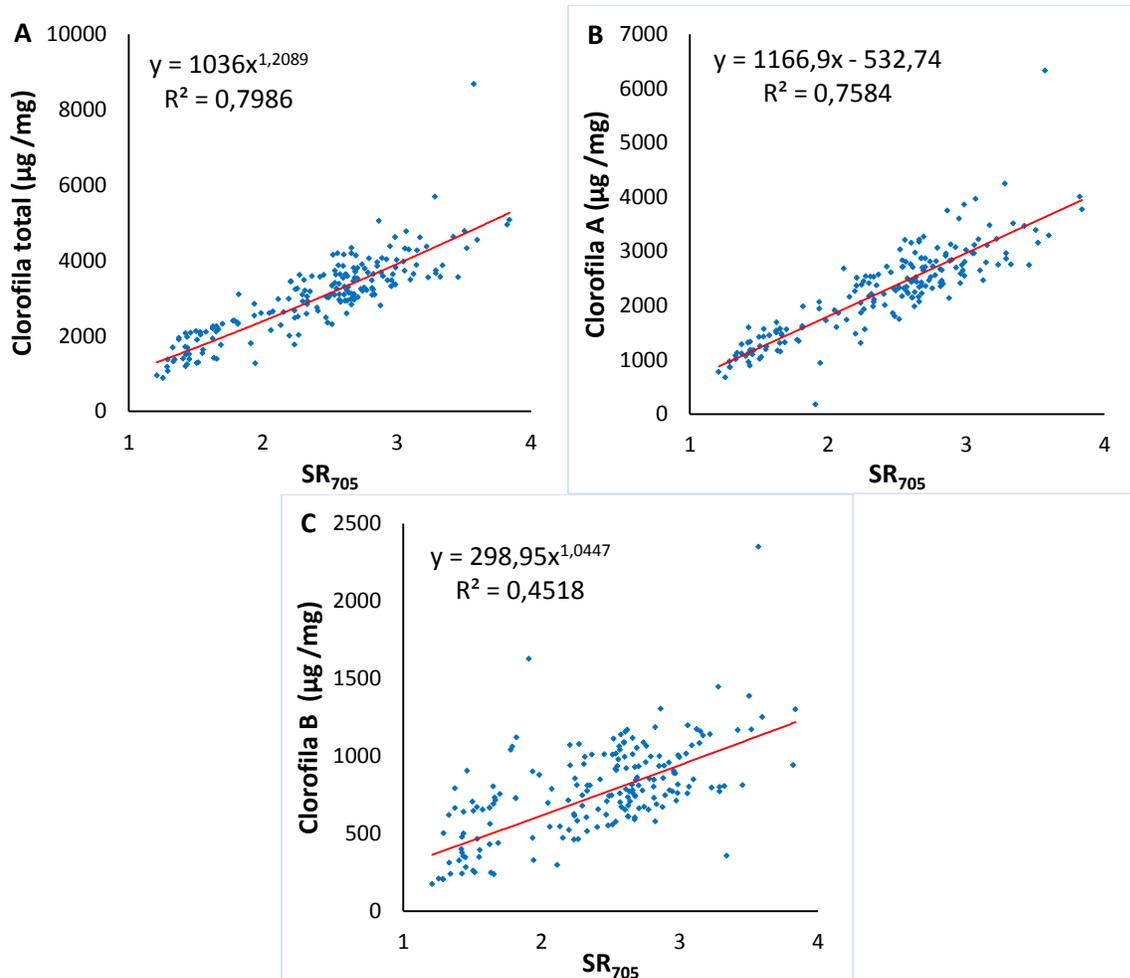


Figura 5-17: (A y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice SR₇₀₅. (B) Regresión lineal entre el contenido de clorofila A y el índice SR₇₀₅.



Según la Tabla 5-8 para el contenido de clorofila total el valor de FIV en todas las variables es mayor que 10 que visualiza la existencia de multicolinealidad. Adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparándolo con el valor del modelo ajustado, donde el FIV de las variables resultaron mayores al modelo ajustado, además el número e índice de condición presentaron valores superiores a 1000 dejando ver una relación de dependencia entre los regresores, indicando igualmente presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variables presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficientes resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-8: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofilas totales.

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|-------------------------------|-----------|------------------|---------------------|---------------------|
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 43,8824 | 3,9684 | 1488709635 | 130,65 |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 176,8796 | | | 12566,89 |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 1993,7342 | | | 6,1477e+08 |
| SR ₇₀₅ | 1545,1021 | | | 1,4887e+09 |

5.4 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa del desarrollo de la panícula

La Figura 5-18 y Figura 5-19 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales frente a diferentes dosis de N. Los valores de máxima reflectancia variaron entre 0,26 y 0,32, excepto en el tratamiento de 0 kg-N/ha, con un valor de 0,59. A medida que aumentó la dosificación de N fue menor la reflectancia. Lo anterior se debe, que las hojas que tienen menor contenido de N poseen menos formación de clorofila, y se ve reflejado en el espectro visible alrededor de los 550 nm con una mayor reflectancia y menor absorvancia en las longitudes de onda de los 450 y 675 nm.

La Figura 5-20 muestra el efecto que causa la fertilización en la reflectancia entre los 680 – 780 nm. La mayor diferencia se representa entre los 680 y 760 nm y los tratamientos de 160 kg-N/ha y 200 kg-N/ha se comportan de manera muy similar. Se observa que a mayor cantidad de N la reflectancia es menor, este comportamiento se debe que las parcelas ya presentan diferencia con respecto a la incorporación de la dosis de N.

La Figura 5-21 y Figura 5-22 muestra la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 - 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,004 – 0,0054 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, valores máximos de los picos se encuentran en 0,014 ubicados en un mesta entre 700 y 720 nm para los tratamientos 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha, y 700 nm para los tratamiento 0 kg-N/ha y 160 kg-N/ha.

Figura 5-18: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula.

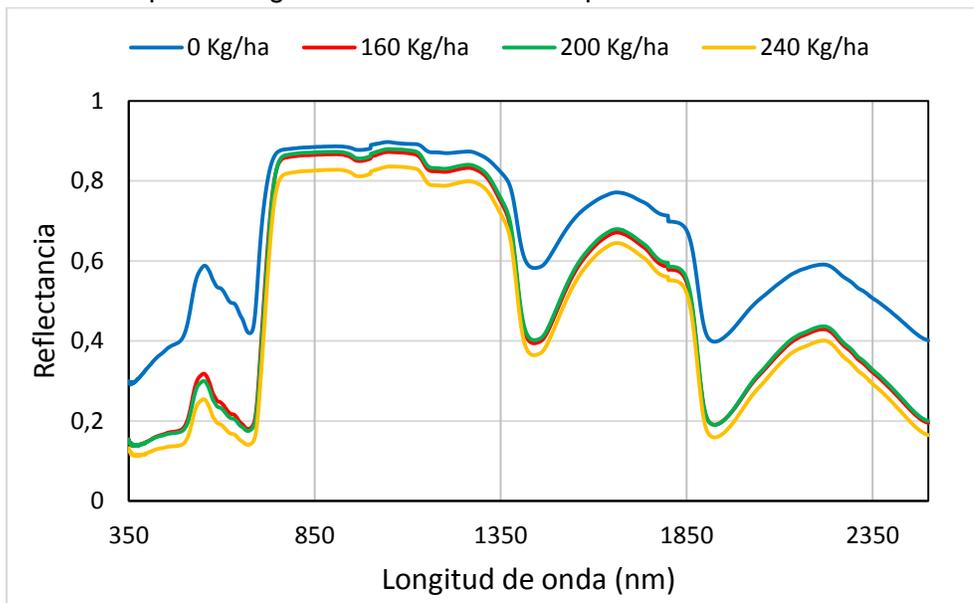


Figura 5-19: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula.

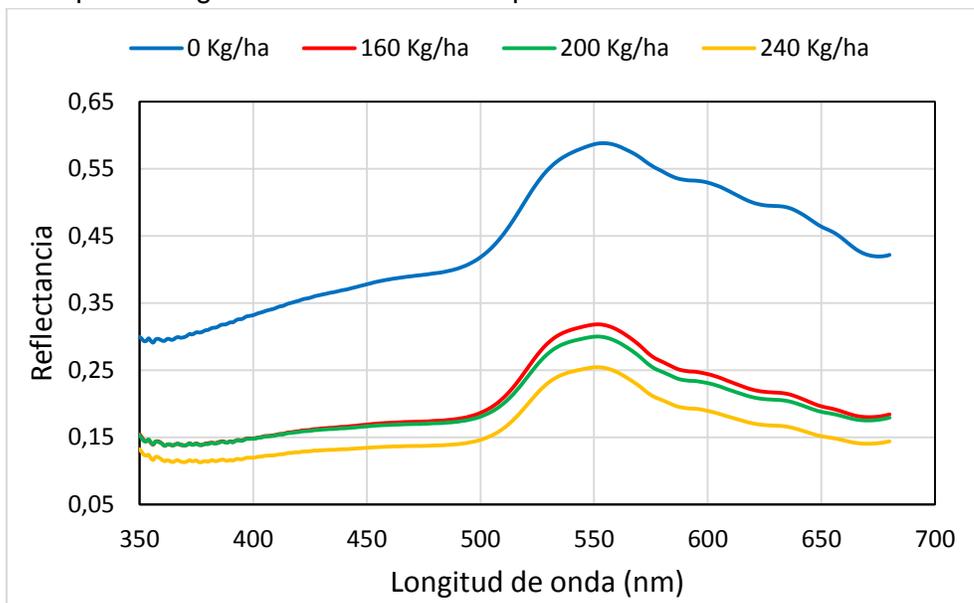


Figura 5-20: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula.

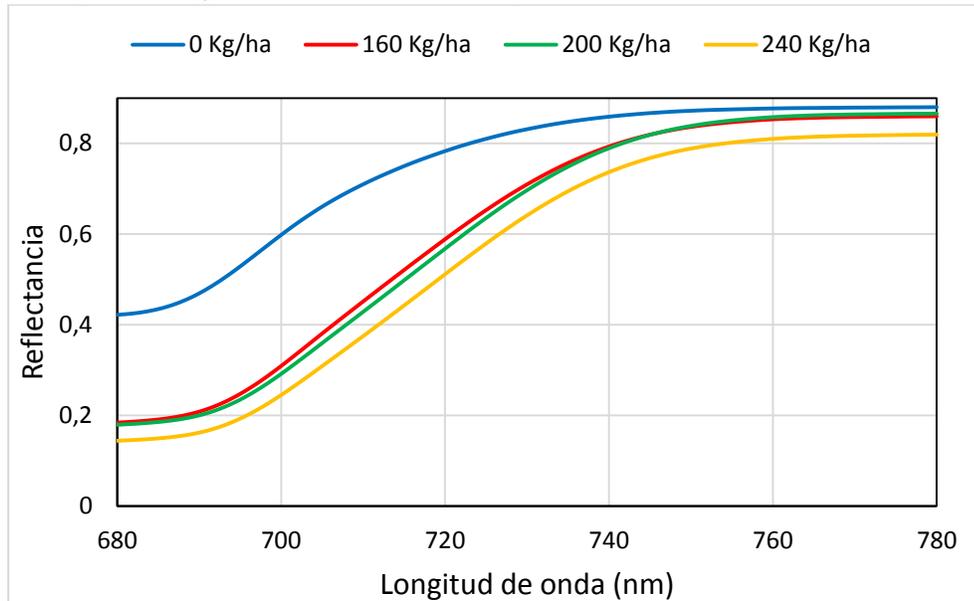


Figura 5-21: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula.

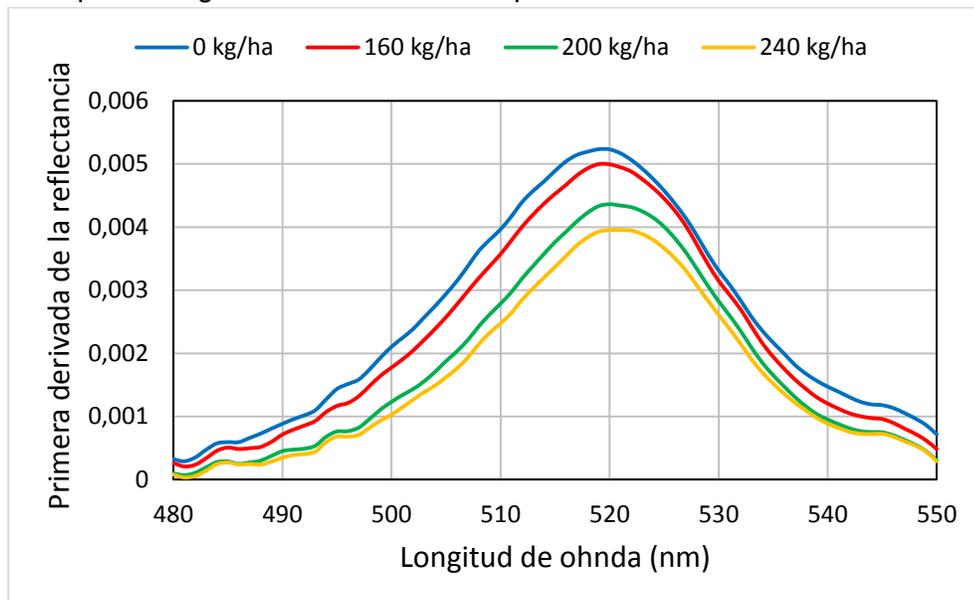
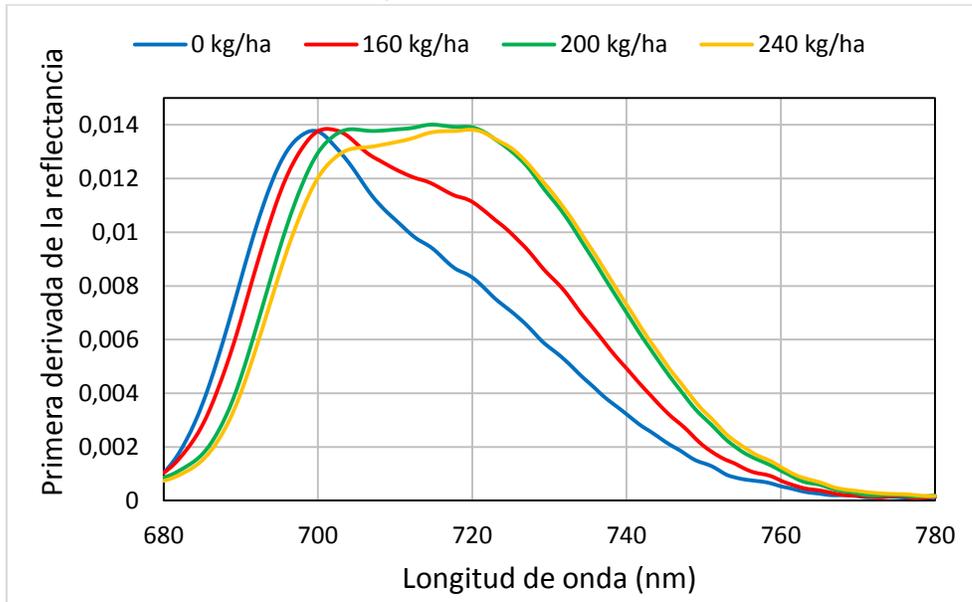


Figura 5-22: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica del desarrollo de la panícula.



Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de cada variable se observa que hay diferencia para $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$, PSSRb, BmSR, clorofila A,B y total, N entre tratamiento. Los demás índices solo tienen diferencia con respecto al tratamiento de 0 kg-N/ha. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, los índices que obtuvieron valores > 100 , no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables PSRI, BND y BmND.

En la Tabla 5-9 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que la variable OCAR fue el único índices que no obtuvo diferencia significativa entre tratamiento con $P > 0,05$.

En la Tabla 5-10 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-9: Resumen del ANOVA para el desarrollo de la panícula.

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,0000 |
| NDVI1 | 0,0000 | PSRI | 0,0000 |
| NDVI2 | 0,0000 | Red/Green | 0,0000 |
| GNDVI | 0,0000 | R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,0000 |
| PPR | 0,0000 | PSSR _a | 0,0000 |
| PRI | 0,0000 | PSSR _b | 0,0000 |
| SIPI | 0,0000 | PSND _a | 0,0000 |
| REArea | 0,0000 | PSND _b | 0,0000 |
| DDI | 0,0000 | NPCI | 0,0000 |
| TACRI | 0,0010 | SRPI | 0,0000 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,0000 | NPQI | 0,0011 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,0000 | OCAR | 0,7264 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,0000 | YCAR | 0,0095 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,0000 | D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,0000 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,0000 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | BND | 0,0000 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,0000 | BmSR | 0,0000 |
| NDRE1 | 0,0000 | BmND | 0,0000 |
| NDRE2 | 0,0000 | D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,0000 | D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,0000 | Clorofila A µg /mg | 0,0000 |
| mSR | 0,0000 | Clorofila B µg /mg | 0,0000 |
| SR ₆₈₀ | 0,0000 | Clorofila Total µg /mg | 0,0000 |
| SR ₇₀₅ | 0,0000 | Nitrógeno (%) | 0,0000 |

Tabla 5-10: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el desarrollo de la panícula.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,20094* | 0,23477* | 0,25457* | 0,03383* | 0,05362* | 0,01979* |
| NDVI1 | -0,29539* | -0,30668* | -0,34856* | -0,01129 | -0,05317* | -0,04187* |
| NDVI2 | -0,23783* | -0,26377* | -0,30043* | -0,02593* | -0,06260* | -0,03666* |
| GNDVI | -0,25488* | -0,27961* | -0,31766* | -0,02473 | -0,06277* | -0,03804* |
| PPR | -0,10036* | -0,08658* | -0,10438* | 0,01378 | -0,00401 | -0,01779 |
| PRI | -0,02634* | -0,02845* | -0,03157* | -0,00211 | -0,00523* | -0,00312 |
| SIPI | 0,08285* | 0,08699* | 0,09222* | 0,00413 | 0,00936* | 0,00523 |
| REArea | -0,21044* | -0,21895* | -0,20502* | -0,00851 | 0,00541 | 0,01393 |
| DDI | -0,20498* | -0,24105* | -0,26012* | -0,03606* | -0,05514* | -0,01907 |
| TACRI | 0,04062 | 0,10687* | 0,16391* | 0,06624 | 0,12329* | 0,05704 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,12577* | 0,11136* | 0,13622* | -0,01440 | 0,01044 | 0,02485 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | -0,25479* | -0,29888* | -0,34829* | -0,04408* | -0,09349* | -0,04941* |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,28001* | 0,31028* | 0,34624* | 0,03027* | 0,06623* | 0,03596* |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,31211* | 0,32908* | 0,36382* | 0,01697 | 0,05171* | 0,03473* |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,15938* | -0,14585* | -0,16213* | 0,01353 | -0,00275 | -0,01628 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | -0,91980* | -1,06486* | -1,28644* | -0,14505* | -0,36663* | -0,22158* |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -4,75189* | -5,74474* | -7,87762* | -0,99284 | -3,12573* | -2,13288* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,27235* | -0,37892* | -0,51009* | -0,10656* | -0,23774* | -0,13117* |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | -0,23285* | -0,26634* | -0,28692* | -0,03349* | -0,05406* | -0,02057 |
| NDRE1 | -0,12969* | -0,15084* | -0,17415* | -0,02114* | -0,04445* | -0,02331* |
| NDRE2 | -0,26188* | -0,29016* | -0,33188* | -0,02827* | -0,06999* | -0,04171* |

*Diferencia significativa

Tabla 5-10: (Continuación)

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | -0,00935* | -0,01082* | -0,01280* | -0,00147* | -0,00345* | -0,00197* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | -0,02249* | -0,02594* | -0,03124* | -0,00344* | -0,00875* | -0,00530* |
| mSR | -1,42360* | -1,76303* | -2,01641* | -0,33942* | -0,59281* | -0,25338* |
| SR ₆₈₀ | -3,12899* | -3,48436* | -4,31096* | -0,35537* | -1,18198* | -0,82660 |
| SR ₇₀₅ | -0,91980* | -1,06486* | -1,28644* | -0,14505* | -0,36663* | -0,22158* |
| mND | -0,35835* | -0,37708* | -0,42353* | -0,01873 | -0,06518* | -0,04644* |
| PSRI | 0,00666* | 0,00569* | 0,00676* | -0,00097 | 0,00010 | 0,00107 |
| Red/Green | 0,12090* | 0,11602* | 0,13587* | -0,00487 | 0,01496 | 0,01984 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,25721* | 0,26575* | 0,29536* | 0,00853 | 0,03814* | 0,02960* |
| PSSR _a | -3,12899* | -3,48436* | -4,31096* | -0,35537 | -1,18198* | -0,82660 |
| PSSR _b | -2,98023* | -3,35233* | -4,13145* | -0,37210 | -1,15123* | -0,77912* |
| PSND _a | -0,29539* | -0,30668* | -0,34856* | -0,01129 | -0,05317* | -0,04187* |
| PSND _b | -0,31904* | -0,33831* | -0,38145* | -0,01927 | -0,06241* | -0,04314* |
| NPCI | 0,01428* | 0,02049* | 0,02663* | 0,00620 | 0,01234* | 0,00614 |
| SRPI | -0,02514* | -0,03613* | -0,04708* | -0,01099 | -0,02194* | -0,01095 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | -0,24899* | -0,27328* | -0,27281* | -0,02429* | -0,02381* | 0,00047 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | -1,29038* | -1,49513* | -1,83083* | -0,20475 | -0,54045* | -0,33570* |
| NPQI | -0,00079 | -0,00343* | -0,00429* | -0,00263* | -0,00349* | -0,00085 |
| YCAR | -0,09488* | -0,07145* | -0,08809* | 0,02343 | 0,00679 | -0,01663 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,40301* | 0,80360* | 0,85267* | 0,40058* | 0,44965* | 0,04907 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,19982* | -0,45583* | -0,52299* | -0,25600* | -0,32316* | -0,06715 |
| BND | -0,16058* | -0,34192* | -0,37612* | -0,18133* | -0,21554* | -0,03420 |
| BmSR | -0,16659* | -0,35354* | -0,37282* | -0,18694* | -0,20623* | -0,01928 |
| BmND | -0,22648* | -0,47987* | -0,51824* | -0,25338* | -0,29176* | -0,03837 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,03595* | -0,08503* | -0,10795* | -0,04907* | -0,07200* | -0,02292* |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,12564* | -0,27234* | -0,30219* | -0,14670* | -0,17654* | -0,02984 |
| Clorofila A | -1245,950* | -1557,450* | -2745,220* | -311,503 | -1499,270* | -1187,770* |
| Clorofila B | -58,820 | -180,260 | -651,236* | -121,439 | -592,415* | -470,976* |
| Clorofila Total | -2446,680* | -2879,620* | -4538,370* | -432,941 | -2091,690* | -1658,750* |
| Nitrógeno (%) | -0,77370* | -0,88208* | -1,49881* | -0,10838* | -0,72511* | -0,61672* |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-11 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que el contenido de clorofila A, B y totales de las hojas presentan una correlación positiva, altamente significativa y valores altos (> 0.75) con los índices NDVI1, NDVI2, GNDVI, PRI, DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₅₀/R₇₀₅, R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀, NDRE1, NDRE2, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1, mSR, SR₇₀₅, mND, PSND_a, PSND_b, R₈₀₀-R₅₅₀, R₈₀₀/R₅₅₀, y una correlación negativa, altamente significativa y valores altos (> 0.75) con los índices RES, SIPI, R₇₁₀/R₇₆₀ y R₆₉₅/R₇₆₀, R₅₅₀/R₈₀₀. Para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices que obtuvieron valores superiores a 0,80 en N, como RES, NDVI2, GNDVI, DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₁₀/R₇₆₀, R₆₉₅/R₇₆₀, R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀, NDRE1, NDRE2, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, mSR y PSND_b.

Tabla 5-11: Coeficiente de correlación para el desarrollo de la panícula. (n=192).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total | Nitrógeno |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| RES | -0,643** | -0,413** | -0,711** | -0,822** |
| NDVI1 | 0,722** | 0,493** | 0,789** | 0,774** |
| NDVI2 | 0,728** | 0,490** | 0,801** | 0,827** |
| GNDVI | 0,732** | 0,492** | 0,806** | 0,816** |
| PPR | 0,567** | 0,436** | 0,594** | 0,426** |
| PRI | 0,689** | 0,453** | 0,764** | 0,778** |
| SIPI | -0,631** | -0,418** | -0,693** | -0,789** |
| REArea | 0,641** | 0,454** | 0,691** | 0,729** |
| DDI | 0,652** | 0,418** | 0,728** | 0,816** |
| TACRI | 0,035 | 0,093 | -0,008 | -0,227** |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,592** | -0,441** | -0,630** | -0,466** |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,732** | 0,497** | 0,806** | 0,818** |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,711** | -0,470** | -0,785** | -0,837** |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | -0,709** | -0,473** | -0,779** | -0,817** |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,537** | 0,414** | 0,553** | 0,326** |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,746** | 0,529** | 0,817** | 0,785** |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,754** | 0,555** | 0,817** | 0,724** |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,389** | 0,191** | 0,467** | 0,625** |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,635** | 0,410** | 0,700** | 0,821** |
| NDRE1 | 0,722** | 0,484** | 0,797** | 0,831** |
| NDRE2 | 0,732** | 0,495** | 0,805** | 0,824** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,739** | 0,509** | 0,812** | 0,817** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,748** | 0,526** | 0,819** | 0,794** |
| mSR | 0,670** | 0,443** | 0,746** | 0,818** |
| SR ₆₈₀ | 0,709** | 0,534** | 0,755** | 0,600** |
| SR ₇₀₅ | 0,746** | 0,529** | 0,817** | 0,785** |
| mND | 0,725** | 0,494** | 0,791** | 0,789** |
| PSRI | -0,396** | -0,292** | -0,442** | -0,455** |
| Red/Green | -0,669** | -0,490** | -0,717** | -0,608** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,709** | -0,475** | -0,777** | -0,786** |
| PSSR _a | 0,709** | 0,534** | 0,755** | 0,600** |
| PSSR _b | 0,720** | 0,539** | 0,770** | 0,624** |
| PSND _a | 0,722** | 0,493** | 0,789** | 0,774** |
| PSND _b | 0,727** | 0,491** | 0,797** | 0,801** |
| NPCI | -0,218** | -0,103 | -0,278** | -0,474** |
| SRPI | 0,221** | 0,106 | 0,281** | 0,479** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,674** | 0,457** | 0,738** | 0,798** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,752** | 0,540** | 0,820** | 0,758** |
| NPQI | -0,008 | -0,069 | 0,022 | 0,274** |
| YCAR | 0,433** | 0,355** | 0,439** | 0,227** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,463** | -0,285** | -0,526** | -0,636** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,514** | 0,307** | 0,598** | 0,665** |
| BND | 0,490** | 0,291** | 0,569** | 0,663** |
| BmSR | 0,445** | 0,272** | 0,510** | 0,618** |
| BmND | 0,469** | 0,287** | 0,538** | 0,639** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,533** | 0,326** | 0,619** | 0,651** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,497** | 0,297** | 0,577** | 0,664** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-23, Figura 5-24, Figura 5-25, Figura 5-26, Figura 5-27, Figura 5-28, Figura 5-29, Figura 5-30 y Figura 5-31 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativas (Tabla 5-11). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para las variables RES, R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} y mSR la regresión de mayor ajuste fue la potencial para los contenidos de clorofila total, las variables RES, NDVI2, GNDVI, DDI, NDRE1, NDRE2, $(R_{790}/R_{695-740})^{-1}$ y PSNDb la regresión exponencial fue la de mayor ajuste para los contenidos de clorofila total, A y B, las variables R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} y mSR la regresión potencial para los contenidos de clorofila A, las variables R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$ y mSR la regresión potencial para los contenidos de clorofila B, las variables R_{695}/R_{760} , $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$ la regresión utilizada fue la exponencial para los contenidos de clorofila total, A y contenidos de N, la variable R_{740}/R_{720} la regresión exponencial para el contenido de clorofila B, las variables RES, DDI y R_{710}/R_{760} la regresión exponencial para los contenidos de N, las variables NDVI2, GNDVI, R_{740}/R_{720} , NDRE1, NDRE2, mSR y PSNDb la regresión potencial fue la de mayor ajuste para el contenido de N y $(R_{790}/R_{695-740})^{-1}$ para el contenido de N polinomio – 3° fue la regresión de más alto ajuste.

Los índices evaluados en las regresiones con respecto a la clorofila total y A obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,50 y 0,75, en el N se obtuvo un R^2 que varía entre 0,70 y 0,76 indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables, para la clorofila B obtuvieron un R^2 que fluctuó entre 0,30 y 0,40, demostrando la baja representatividad del modelo, lo que supone que no se explica muy bien la variación total de las variables. Lo anterior señala que para el estado fenológico del desarrollo de la panícula, el índice GNDVI puede ser útil para estimar el contenido de clorofila total y A, el índice NDRE1 puede ser útil para estimar el contenido de N, pero para clorofila B ningún índice evaluado tiene la bondad de lograr representar la estimación ya que su R^2 es bajo, aunque el R_{695}/R_{760} puede ser el que más se ajusta para esta investigación

Figura 5-23: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total y el índice RES. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila A, B, contenido de N y el índice RES. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice NDVI2.

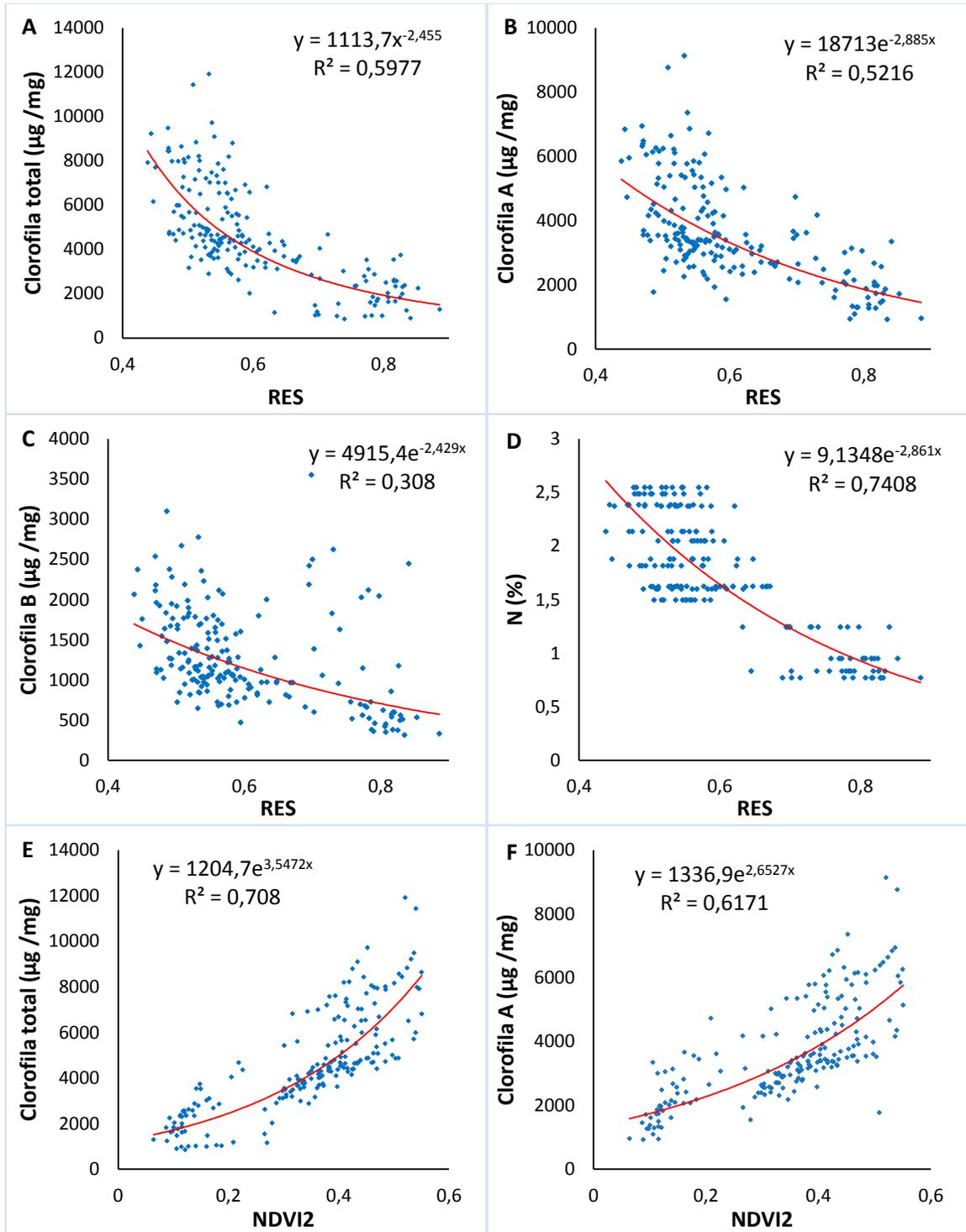


Figura 5-24: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice NDVI2. (B) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDVI2. (C, D y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice GNDVI. (F) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice GNDVI

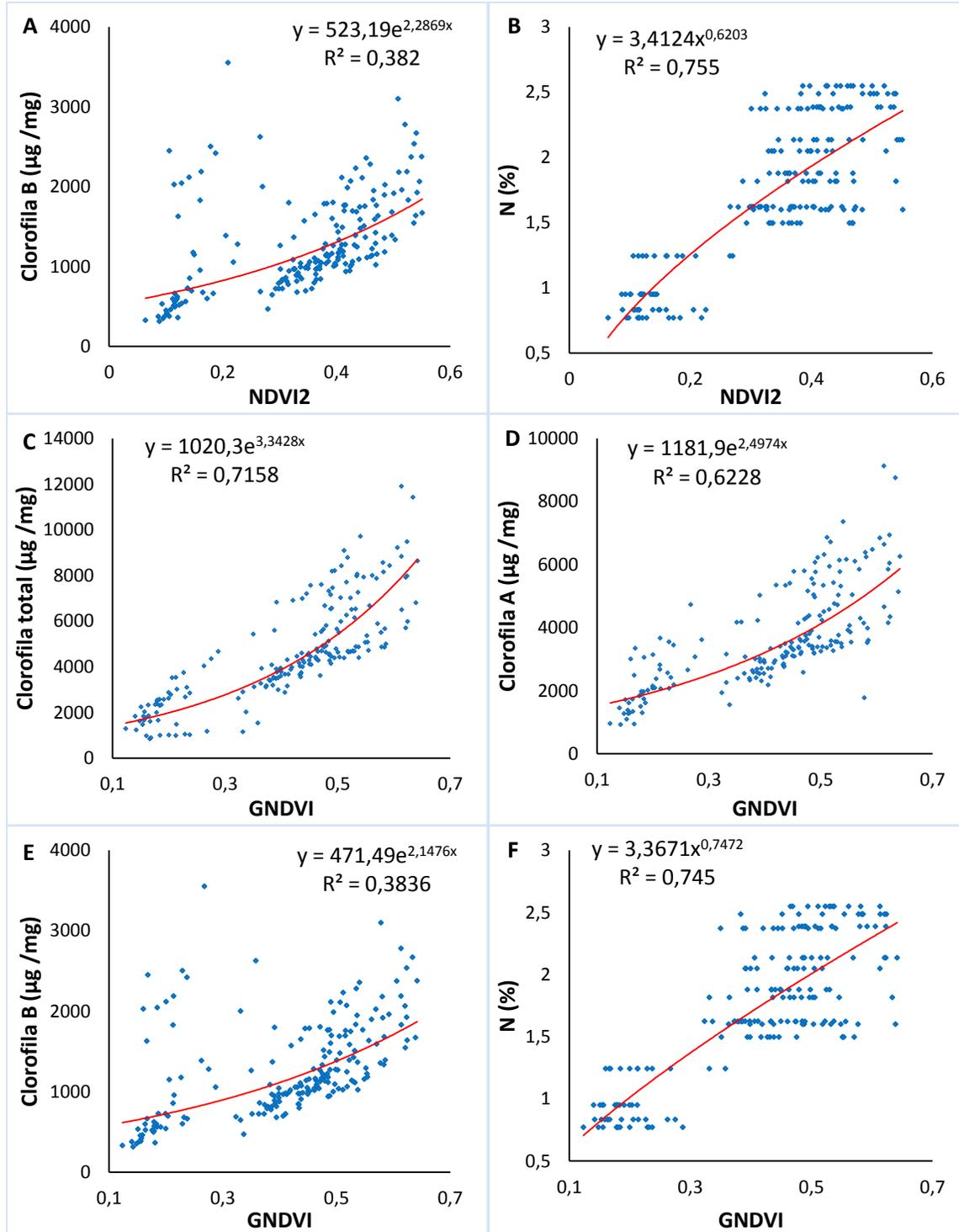


Figura 5-25: (A, B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice DDI. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} .

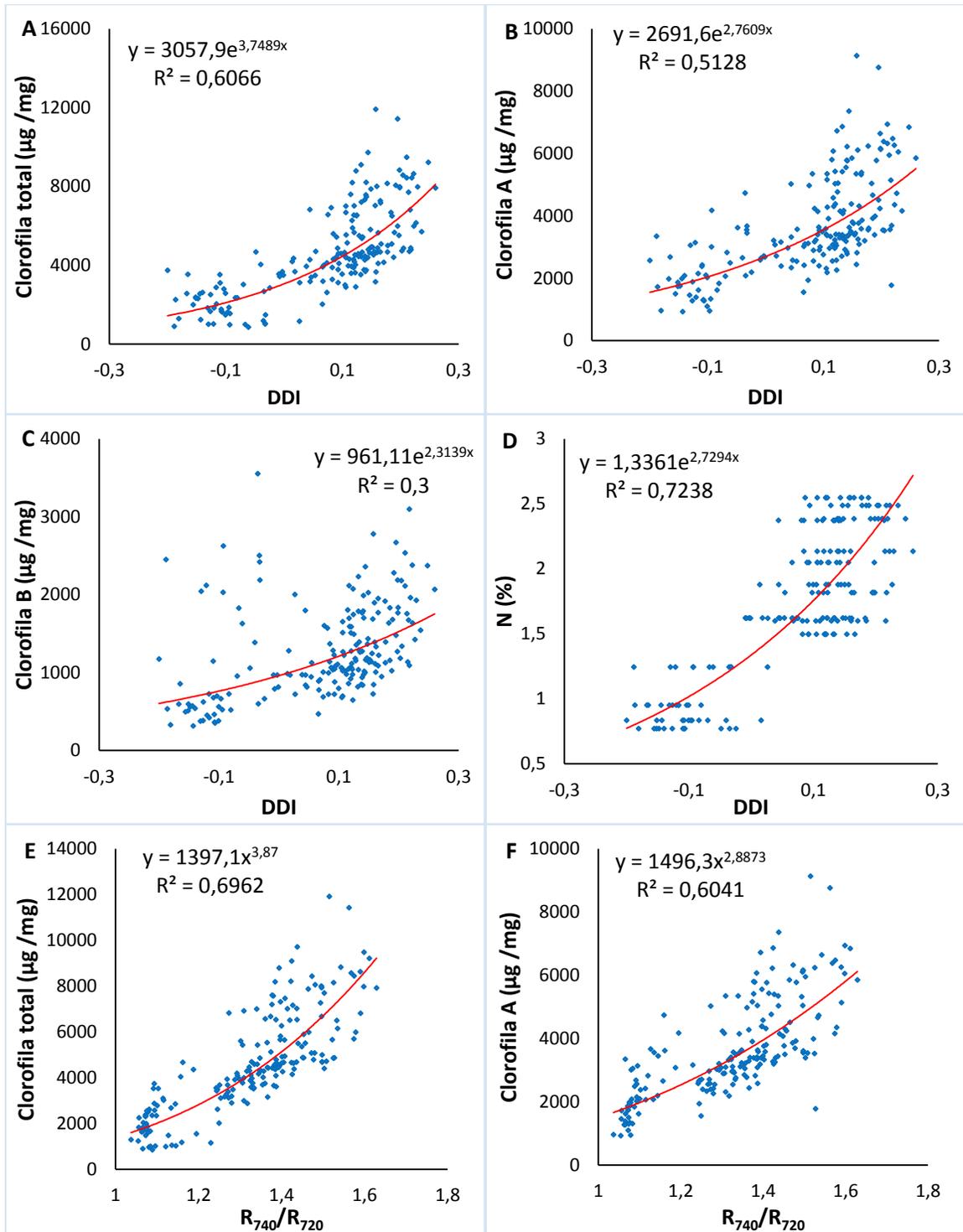


Figura 5-26: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (B) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice R_{740}/R_{720} . (C, D y E) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{710}/R_{760} . (F) Regresión exponencial entre el contenido de N y el índice R_{710}/R_{760}

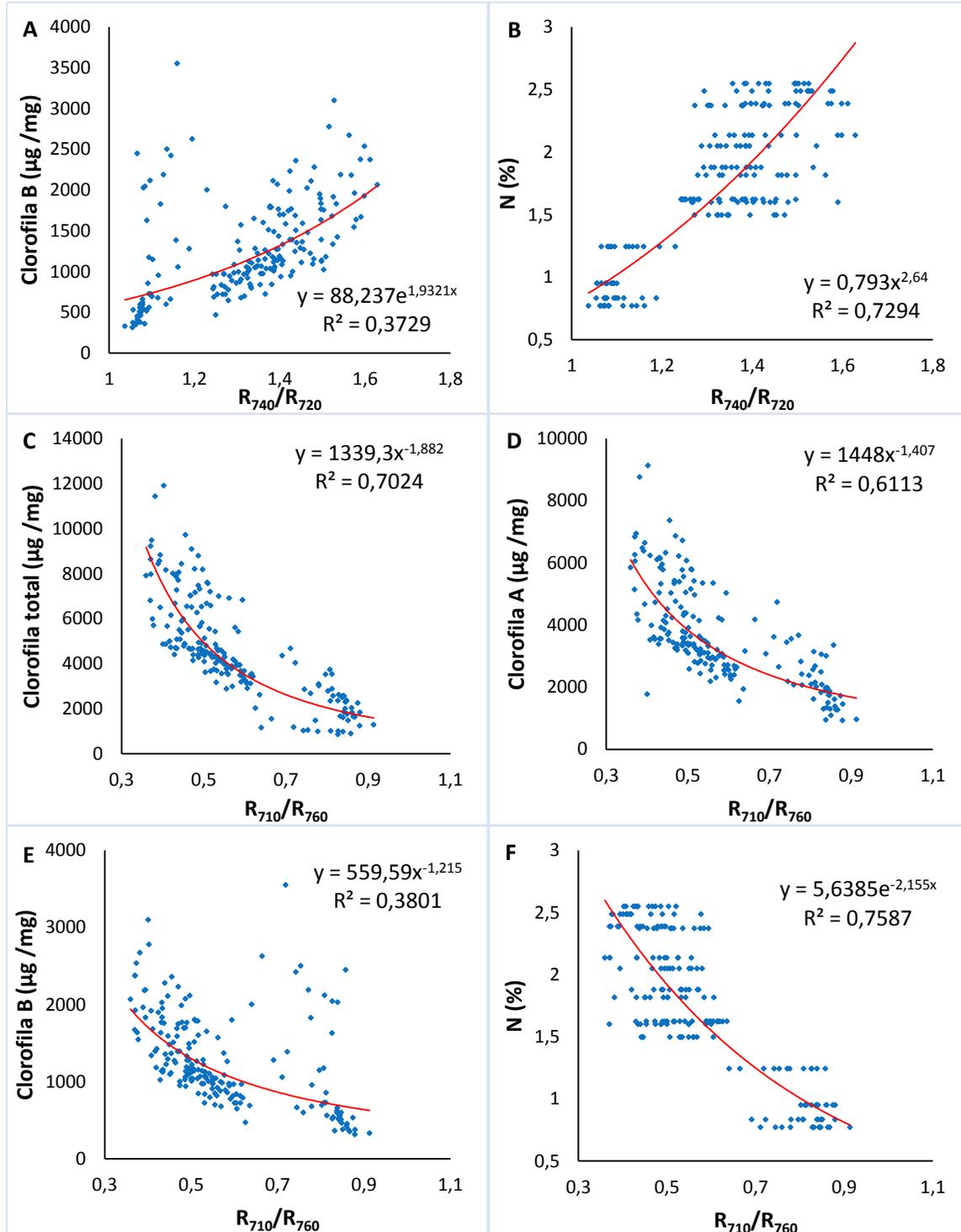


Figura 5-27: (A, B y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, N y el índice R_{695}/R_{760} . (C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{695}/R_{760} . (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$.

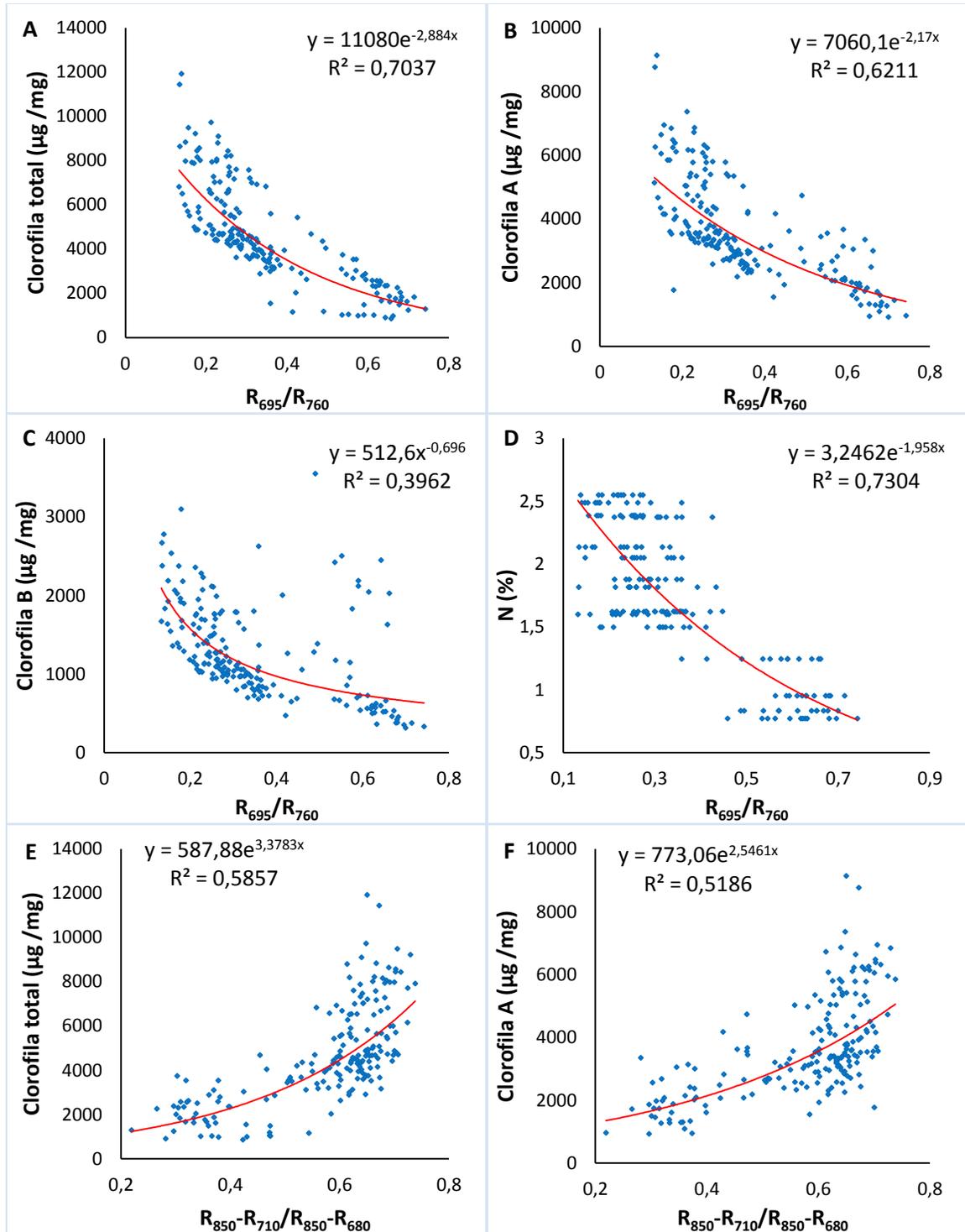


Figura 5-28: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$. (B) Regresión exponencial entre el contenido de N y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$. (C, D y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (E) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDRE1.

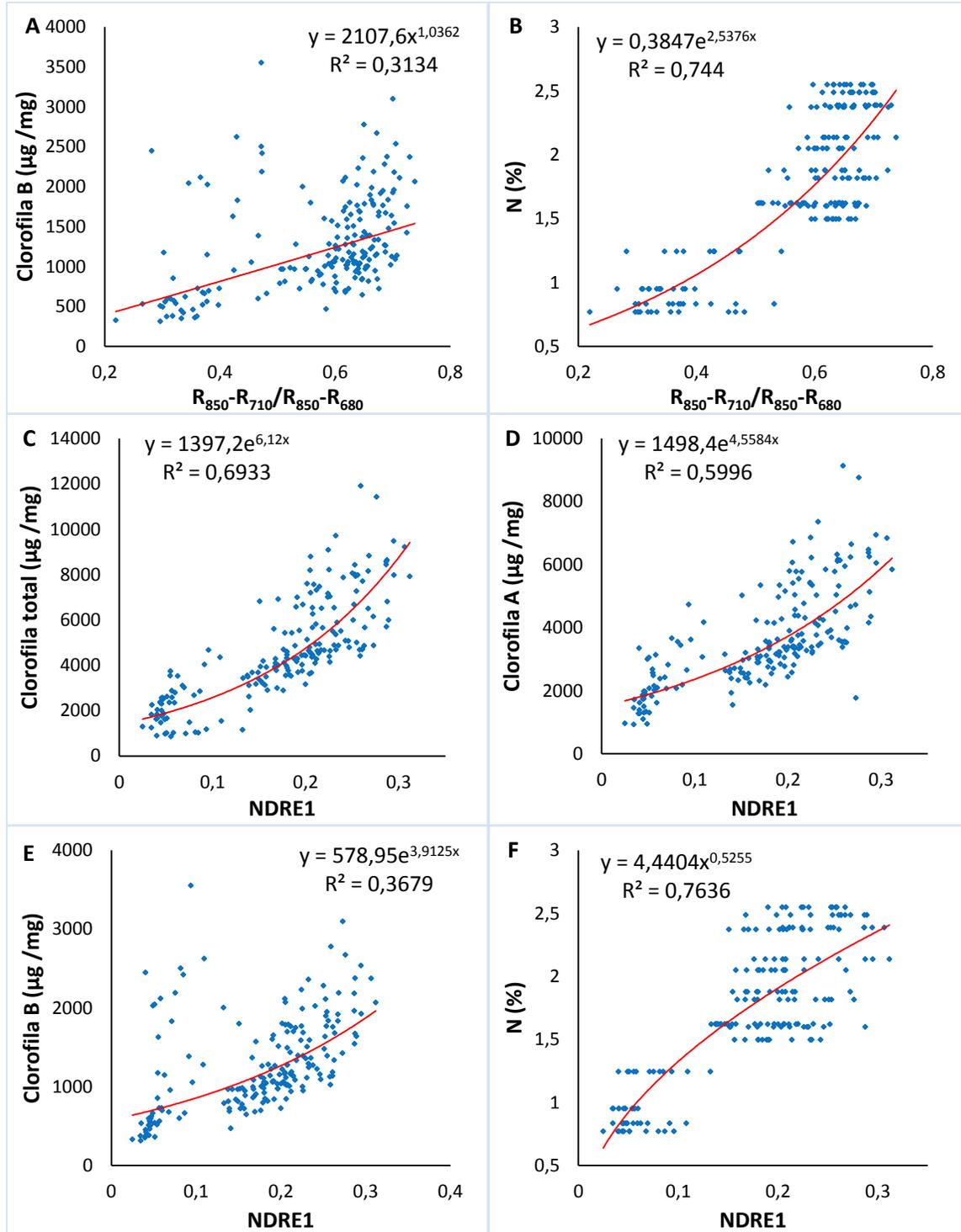


Figura 5-29: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE2. (D) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice NDRE2. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$.

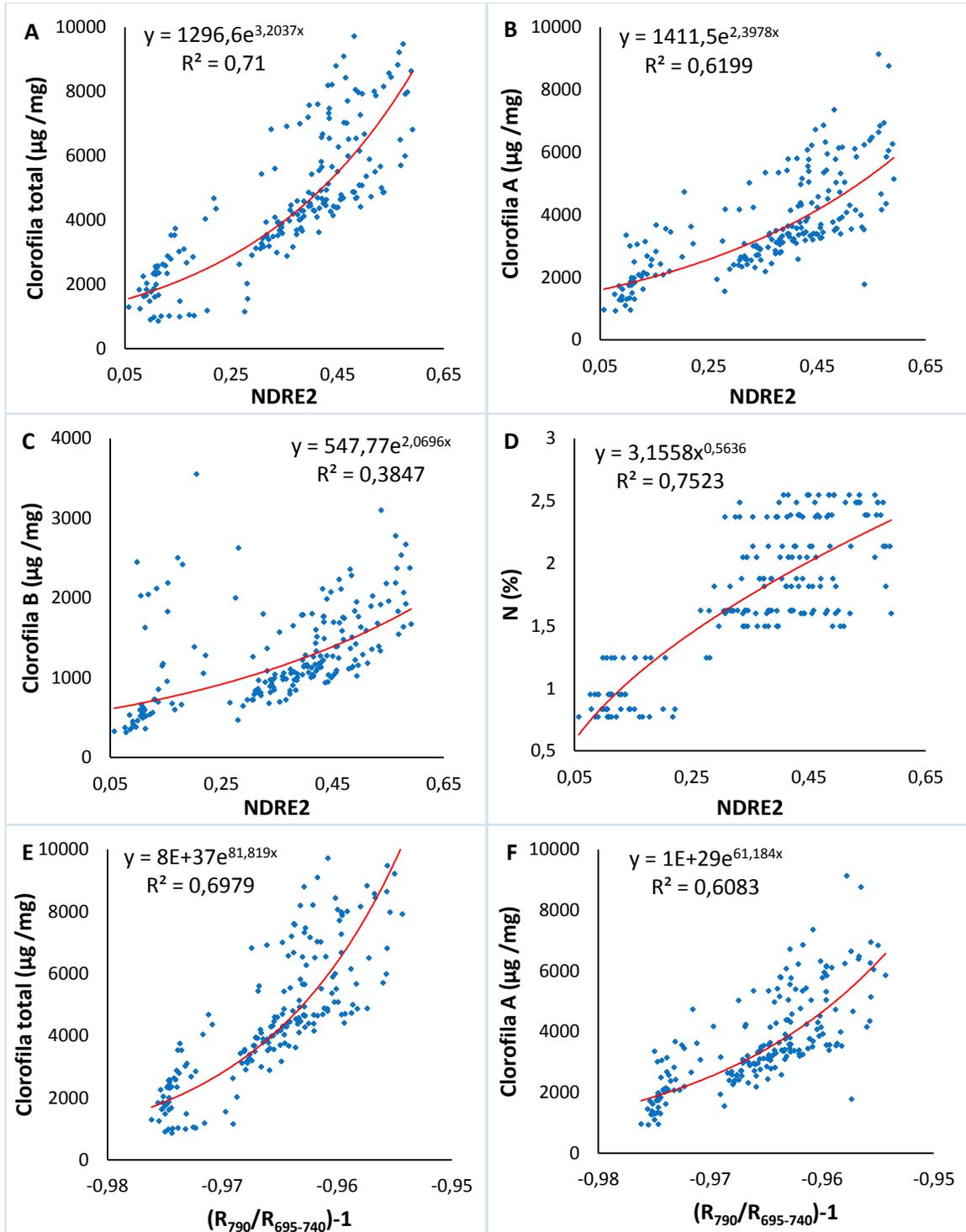


Figura 5-30: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $(R_{790}/R_{695-740})-1$. (C, D, E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B, contenido de N y el índice mSR.

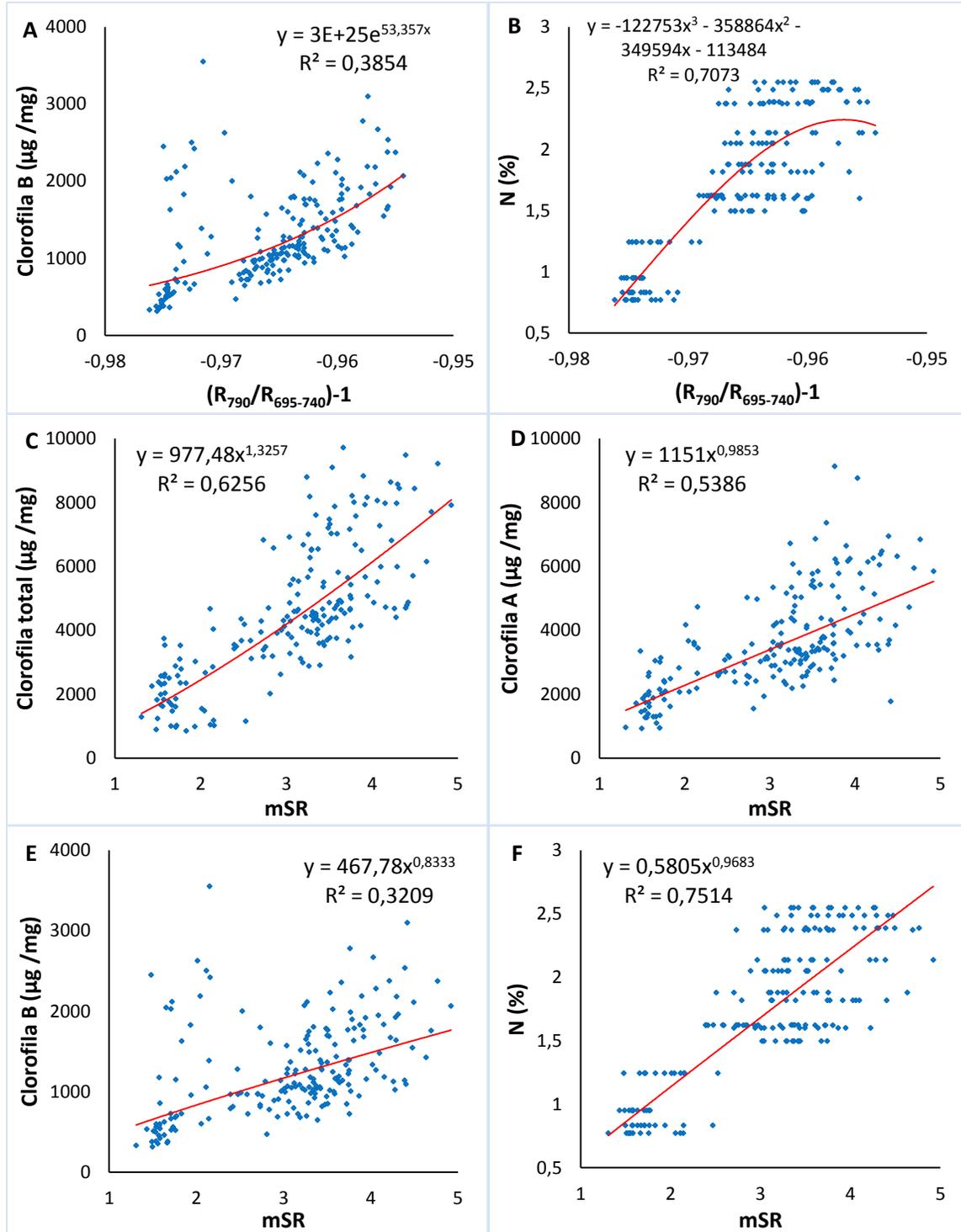
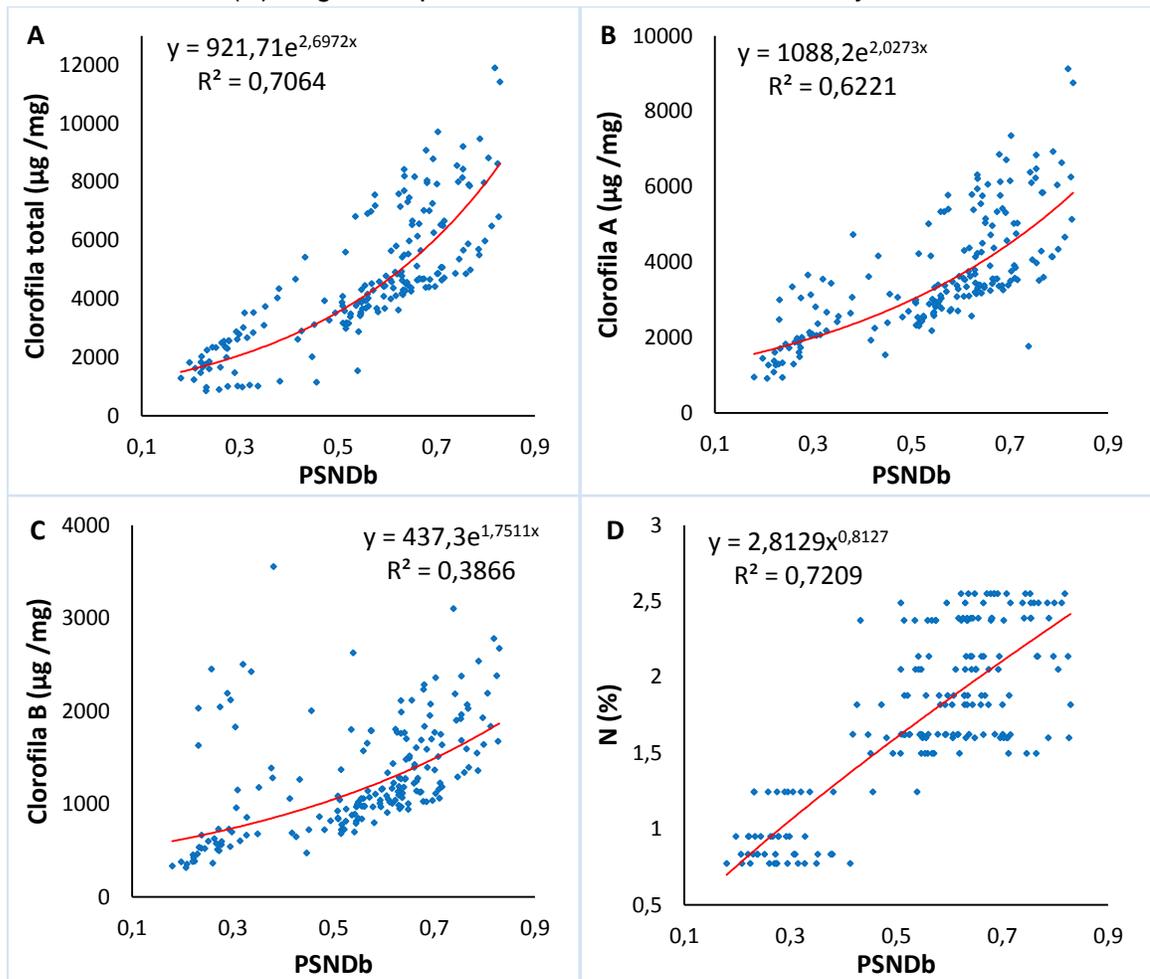


Figura 5-31: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice PSNDb. (D) Regresión potencial entre el contenido de N y el índice PSNDb.



Las variables con las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Para el estado fenológico del desarrollo de la panícula se utilizaron RES, NDVI2, GNDVI, DDI, R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, mSR y PSNDb con respecto los contenidos de N.

Según la Tabla 5-12 para el contenido de N el valor de FIV en todas las variables es mayor que 10 que manifiesta la existencia de multicolinealidad, adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparándolo con el valor del modelo ajustado, donde el FIV de todas las variables resultaron mayores al modelo ajustado, además el número e índice de condición presenta valores superiores a 1000 evidenciando una relación de dependencia entre los regresores, indicando igualmente presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos

indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variables presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficientes resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-12: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de N

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|-----------------------------------|-----------|------------------|---------------------|---------------------|
| RES | 16876,62 | 4,2305 | 15395863136 | 45,15 |
| NDVI2 | 60851,19 | | | 825,74 |
| GNDVI | 1165,79 | | | 9827,76 |
| DDI | 312,69,30 | | | 39094,31 |
| R_{740}/R_{720} | 3022,62 | | | 241390,4 |
| R_{710}/R_{760} | 62039,02 | | | 682976,1 |
| R_{695}/R_{760} | 16048,06 | | | 917114,4 |
| $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$ | 13372,81 | | | 1,3648e+06 |
| NDRE1 | 26693,97 | | | 2,9997e+06 |
| NDRE2 | 42198,53 | | | 6,5936e+06 |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 14884,76 | | | 5,3723e+07 |
| mSR | 351,27 | | | 7,5165e+07 |
| PSNDb | 8557,03 | | | 1,5395e+10 |

5.5 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de floración

La Figura 5-32 y Figura 5-33 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales frente a diferentes dosis de N. los valores de máxima reflectancia variaron 0,17 y 0,23, excepto en el tratamiento de 0 kg-N/ha con 0,56, los tratamientos de 200 N-kg/ha y 240 N-kg/ha tienden a tener un comportamiento muy similar. A medida que aumentó la dosificación de N fue menor la reflectancia. Lo anterior se debe, que las hojas que tienen menor contenido de N poseen menos formación de clorofila, y se ve reflejado en el espectro visible alrededor de los 550 nm con una mayor reflectancia y menor absorvancia en las longitudes de onda de los 450 y 675 nm.

La Figura 5-34 muestra el efecto que causa la fertilización en la reflectancia entre los 680 – 780 nm. La mayor diferencia se presenta en las longitudes de onda entre 680 y 760 nm, los tratamientos de 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha no presentan mucha diferencia entre ellas. Se observa que a mayor cantidad de N la reflectancia es menor, este comportamiento se

debe que las parcelas tienen una diferencia entre el comportamiento con respecto a la incorporación de las dosis de N.

Figura 5-32: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de floración.

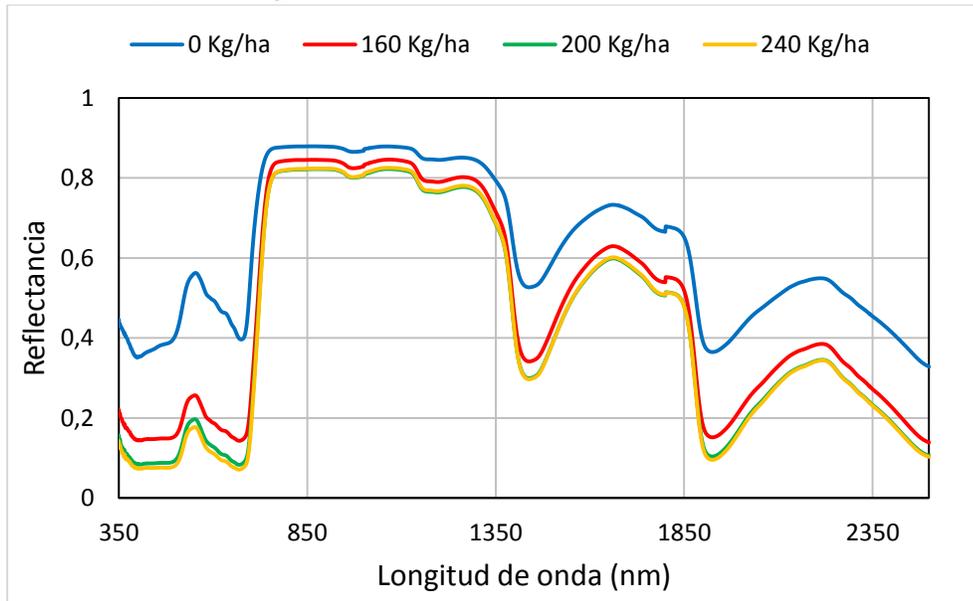


Figura 5-33: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de floración.

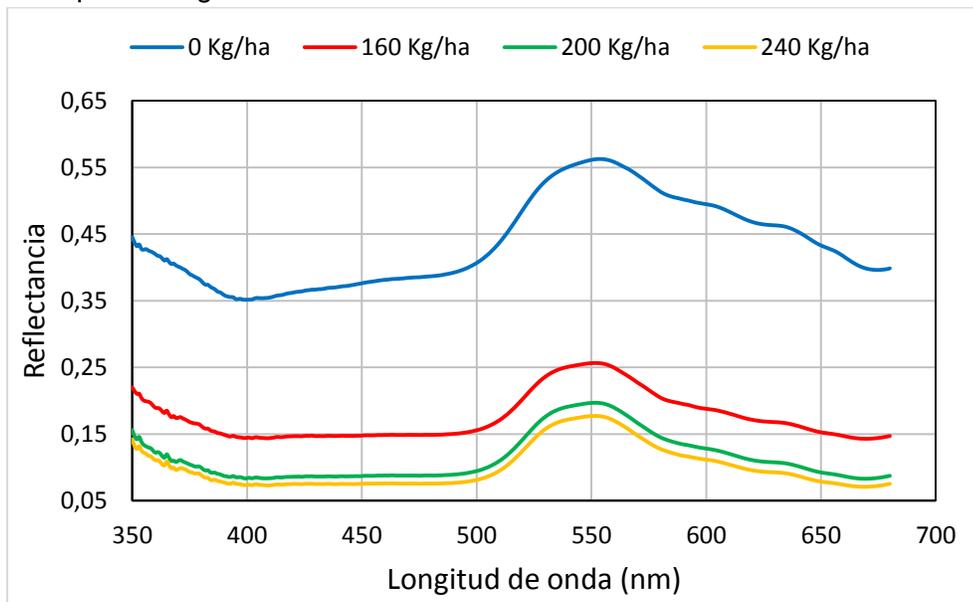
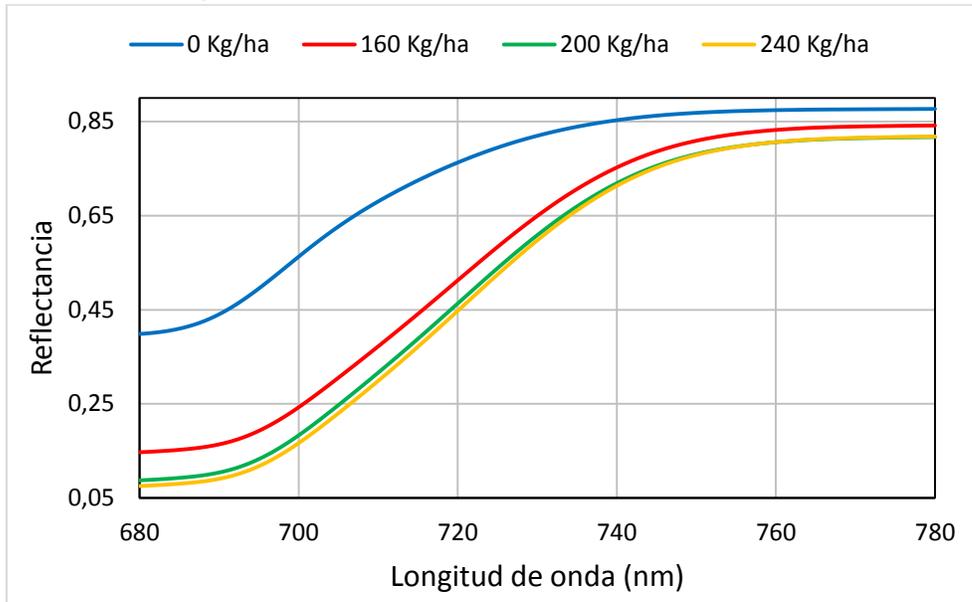


Figura 5-34: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de floración.



La Figura 5-35 y Figura 5-36 muestra la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 - 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,0036 – 0,0052 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, los valores máximos de los picos se encuentran entre 0,014 – 0,016 ubicados a los 700 para el tratamiento 0 kg-N/ha y 720 nm para los tratamientos 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha. Adicionalmente se observa una diferencia fuertemente entre los tratamientos 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha con respecto al 0 kg-N/ha.

Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de cada variable se observa que hay diferencia para TACRI, SR_{680} , PSSRa, PSSRb, NPCI, NPQI, N entre tratamiento. Los demás índices solo tienen diferencia con respecto al tratamiento de 0 N-kg/ha. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, los índices que obtuvieron valores > 100, no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables PRI, PSRI, NPCI y NPQI.

Figura 5-35: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de floración.

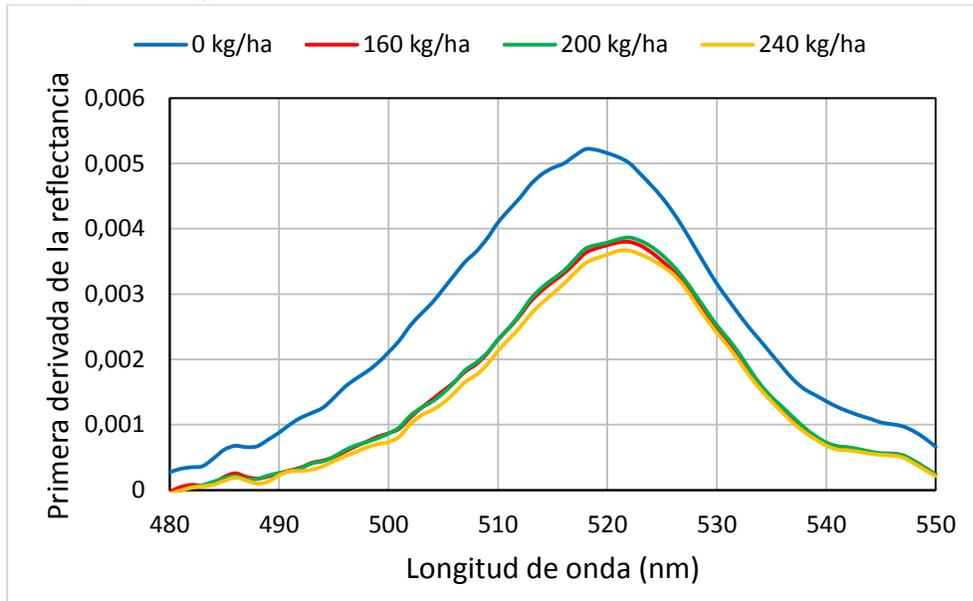
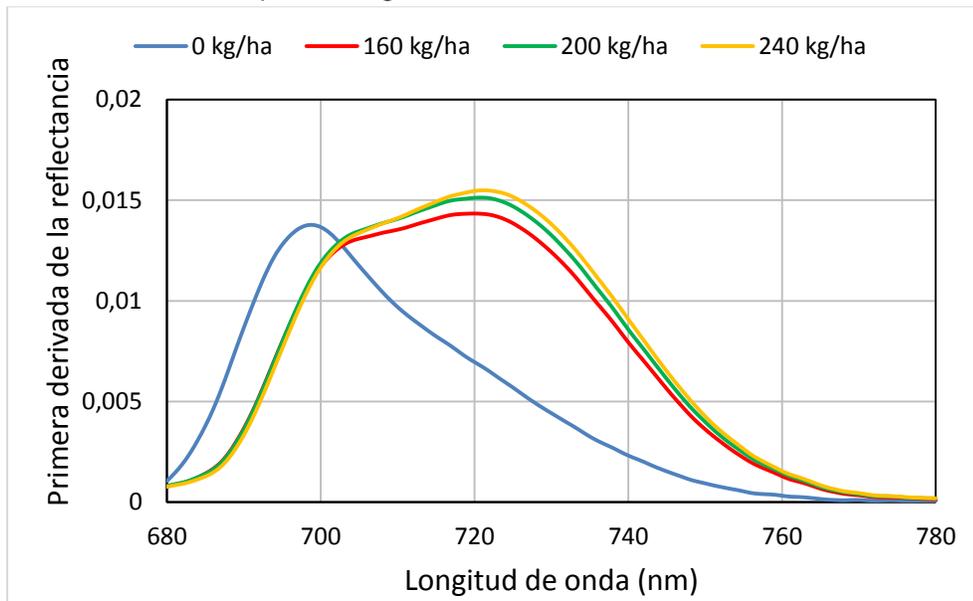


Figura 5-36: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de floración.



En la **Tabla 5-13** se muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA multifactorial por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que la variable PSRI fue el único índices que no obtuvo diferencia significativa entre tratamiento con $P > 0,05$.

Tabla 5-13: Resumen del ANOVA para la floración.

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,0000 |
| NDVI1 | 0,0000 | PSRI | 0,1956 |
| NDVI2 | 0,0000 | Red/Green | 0,0000 |
| GNDVI | 0,0000 | R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,0000 |
| PPR | 0,0000 | PSSR _a | 0,0000 |
| PRI | 0,0000 | PSSR _b | 0,0000 |
| SIPI | 0,0000 | PSND _a | 0,0000 |
| REArea | 0,0000 | PSND _b | 0,0000 |
| DDI | 0,0000 | NPCI | 0,0000 |
| TACRI | 0,0032 | SRPI | 0,0000 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,0000 | NPQI | 0,0035 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,0000 | OCAR | 0,0000 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,0000 | YCAR | 0,0000 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,0000 | D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,0000 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,0000 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | BND | 0,0000 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,0000 | BmSR | 0,0000 |
| NDRE1 | 0,0000 | BmND | 0,0000 |
| NDRE2 | 0,0000 | D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,0000 | D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,0000 | Clorofila A µg /mg | 0,0000 |
| mSR | 0,0000 | Clorofila B µg /mg | 0,0000 |
| SR ₆₈₀ | 0,0000 | Clorofila Total µg /mg | 0,0000 |
| SR ₇₀₅ | 0,0000 | Nitrógeno (%) | 0,0000 |

En la Tabla 5-14 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-14: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para la floración.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,24088* | 0,25271* | 0,26620* | 0,01183 | 0,02532* | 0,01349 |
| NDVI1 | -0,32633* | -0,42161* | -0,44477* | -0,09528* | -0,11843* | -0,02315 |
| NDVI2 | -0,29331* | -0,35563* | -0,38072* | -0,06232* | -0,08741* | -0,02509 |
| GNDVI | -0,30754* | -0,38038* | -0,41170* | -0,07285* | -0,10417* | -0,03132* |
| PPR | -0,09589* | -0,19487* | -0,20428* | -0,09898* | -0,10838* | -0,00940 |
| PRI | -0,03241* | -0,04105* | -0,04558* | -0,00864* | -0,01317* | -0,00453* |
| SIPI | 0,05925* | 0,05825* | 0,05880* | -0,00101 | -0,00045 | 0,00055 |
| REArea | -0,20340* | -0,23631* | -0,24777* | -0,03290* | -0,04437* | -0,01146 |
| DDI | -0,25625* | -0,27610* | -0,29448* | -0,01986* | -0,03823* | -0,01838 |
| TACRI | 0,14342* | 0,01109 | 0,02294 | -0,13233* | -0,12048* | 0,01185 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,13283* | 0,24497* | 0,26543* | 0,11214* | 0,13260* | 0,02045 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | -0,36103* | -0,43801* | -0,48130* | -0,07697* | -0,12027* | -0,04330* |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,33076* | 0,38460* | 0,40616* | 0,05384* | 0,07540* | 0,02156 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,33374* | 0,39918* | 0,41770* | 0,06544* | 0,08396* | 0,01852 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,18940* | -0,40244* | -0,43667* | -0,21304* | -0,24727* | -0,03423 |

*Diferencia significativa

Tabla 5-14: (Continuación).

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | -1,37209* | -1,82165* | -2,05647* | -0,44956* | -0,68439* | -0,23482* |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -8,75521* | -13,22690* | -15,92580* | -4,47170* | -7,17057* | -2,69888* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,46437* | -0,37113* | -0,40992* | 0,09324* | 0,05445 | -0,03879 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | -0,26523* | -0,27752* | -0,29009* | -0,01229 | -0,02486* | -0,01257 |
| NDRE1 | -0,17555* | -0,20744* | -0,22406* | -0,03189* | -0,04851* | -0,01662* |
| NDRE2 | -0,32356* | -0,39614* | -0,42284* | -0,07258* | -0,09928* | -0,02669 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | -0,01312* | -0,01633* | -0,01796* | -0,00321* | -0,00483* | -0,00163* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | -0,03272* | -0,04285* | -0,04792* | -0,01013* | -0,01519* | -0,00506* |
| mSR | -2,26979* | -2,38659* | -2,63604* | -0,11680 | -0,36625* | -0,24945* |
| SR ₆₈₀ | -4,95972* | -8,19841* | -9,54461* | -3,23870* | -4,58489* | -1,34620* |
| SR ₇₀₅ | -1,37209* | -1,82165* | -2,05647* | -0,44956* | -0,68439* | -0,23482* |
| mND | -0,38898* | -0,50011* | -0,52754* | -0,11113* | -0,13856* | -0,02743 |
| Red/Green | 0,13545* | 0,21300* | 0,22695* | 0,07755* | 0,09150* | 0,01396 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,27709* | 0,34464* | 0,36076* | 0,06756* | 0,08367* | 0,01612 |
| PSSR _a | -4,95972* | -8,19841* | -9,54461* | -3,23870* | -4,58489* | -1,34620* |
| PSSR _b | -4,83457* | -7,79652* | -9,24461* | -2,96195* | -4,41005* | -1,44809* |
| PSND _a | -0,32633* | -0,42161* | -0,44477* | -0,09528* | -0,11843* | -0,02315 |
| PSND _b | -0,36041* | -0,45244* | -0,48035* | -0,09202* | -0,11993* | -0,02791 |
| NPCI | 0,03804* | 0,03081* | 0,03736* | -0,00723 | -0,00069 | 0,00655 |
| SRPI | -0,07345* | -0,05967* | -0,07266* | 0,01378 | 0,00078 | -0,01299 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | -0,27074* | -0,30619* | -0,32720* | -0,03545* | -0,05646* | -0,02101 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | -1,94750* | -2,71708* | -3,17540* | -0,76958* | -1,22790* | -0,45832* |
| NPQI | -0,00607* | -0,00357* | -0,00542* | 0,00250 | 0,00066 | -0,00185 |
| OCAR | 0,00558 | -0,07008* | -0,05983* | -0,07567* | -0,06541* | 0,01025 |
| YCAR | -0,08299* | -0,24718* | -0,24590* | -0,16419* | -0,16291* | 0,00128 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,95684* | 0,98910* | 1,01462* | 0,03226 | 0,05779 | 0,02553 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,68502* | -0,72508* | -0,78397* | -0,04006 | -0,09895* | -0,05889 |
| BND | -0,46135* | -0,48229* | -0,50465* | -0,02095 | -0,04330* | -0,02235 |
| BmSR | -0,43341* | -0,43953* | -0,45709* | -0,00612 | -0,02368 | -0,01756 |
| BmND | -0,61499* | -0,63830* | -0,66096* | -0,02331 | -0,04598 | -0,02267 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,14214* | -0,15683* | -0,17684* | -0,01469 | -0,03470* | -0,02001* |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,38124* | -0,40113* | -0,42384* | -0,01988 | -0,04259* | -0,02271 |
| Clorofila A | -1926,170* | -2008,900* | -2351,950* | -82,731 | -425,774* | -343,042* |
| Clorofila B | -610,295* | -638,202* | -726,674* | -27,908 | -116,379* | -88,471 |
| Clorofila Total | -2536,470* | -2647,100* | -3078,620* | -110,637 | -542,153* | -431,515* |
| Nitrógeno (%) | -0,95112* | -1,37052* | -1,11292* | -0,41940* | -0,16181* | 0,25760* |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-15 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que las variables RES, NDVI1, NDVI2, GNDVI, PRI, REArea, DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₁₀/R₇₆₀, R₆₉₅/R₇₆₀, R₇₅₀/R₇₀₅, R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀, NDRE1, NDRE2, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1, mSR, SR₇₀₅, mND, R₅₅₀/R₈₀₀, PSND_a, PSND_b, R₈₀₀-R₅₅₀, R₈₀₀/R₅₅₀, D₇₀₅/D₇₂₂, D₇₂₅/D₇₀₂, BND, BmSR, BmND, D₇₁₅/D₇₀₅, D₇₅₄/D₇₀₄ presenta un alta correlación (>0,75). Para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices con valores

superiores a 0,87 en N, como NDVI2, DDI, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$, BND, D_{715}/D_{705} , y una correlación negativa y altamente significativa con el índice RES.

Tabla 5-15: Coeficiente de correlación para la floración. (n=192)

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total | Nitrógeno |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| RES | -0,872** | -0,778** | -0,857** | -0,881** |
| NDVI1 | 0,888** | 0,809** | 0,877** | 0,830** |
| NDVI2 | 0,912** | 0,823** | 0,898** | 0,875** |
| GNDVI | 0,911** | 0,825** | 0,898** | 0,866** |
| PPR | 0,706** | 0,664** | 0,702** | 0,608** |
| PRI | 0,883** | 0,814** | 0,874** | 0,843** |
| SIPI | -0,774** | -0,707** | -0,765** | -0,731** |
| REArea | 0,870** | 0,789** | 0,859** | 0,813** |
| DDI | 0,880** | 0,785** | 0,864** | 0,887** |
| TACRI | 0,034 | 0,061 | 0,042 | -0,080 |
| R_{675}/R_{700} | -0,744** | -0,694** | -0,739** | -0,639** |
| R_{740}/R_{720} | 0,898** | 0,805** | 0,883** | 0,854** |
| R_{710}/R_{760} | -0,911** | -0,821** | -0,898** | -0,887** |
| R_{695}/R_{760} | -0,904** | -0,822** | -0,892** | -0,861** |
| R_{695}/R_{700} | 0,656** | 0,616** | 0,653** | 0,565** |
| R_{750}/R_{705} | 0,887** | 0,801** | 0,874** | 0,819** |
| $R_{860}/(R_{550}*R_{708})$ | 0,832** | 0,757** | 0,821** | 0,728** |
| $R_{672}/(R_{550}*R_{708})$ | 0,550** | 0,460** | 0,532** | 0,595** |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | 0,869** | 0,780** | 0,855** | 0,882** |
| NDRE1 | 0,903** | 0,808** | 0,888** | 0,873** |
| NDRE2 | 0,909** | 0,821** | 0,896** | 0,874** |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 0,900** | 0,809** | 0,886** | 0,851** |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 0,892** | 0,805** | 0,878** | 0,828** |
| mSR | 0,870** | 0,765** | 0,852** | 0,853** |
| SR ₆₈₀ | 0,800** | 0,735** | 0,791** | 0,709** |
| SR ₇₀₅ | 0,887** | 0,801** | 0,874** | 0,819** |
| mND | 0,897** | 0,818** | 0,886** | 0,850** |
| Red/Green | -0,814** | -0,754** | -0,807** | -0,731** |
| R_{550}/R_{800} | -0,888** | -0,809** | -0,877** | -0,831** |
| PSSR _a | 0,800** | 0,735** | 0,791** | 0,709** |
| PSSR _b | 0,812** | 0,745** | 0,803** | 0,712** |
| PSND _a | 0,888** | 0,809** | 0,877** | 0,830** |
| PSND _b | 0,903** | 0,822** | 0,892** | 0,855** |
| NPCI | -0,444** | -0,376** | -0,431** | -0,466** |
| SRPI | 0,447** | 0,379** | 0,434** | 0,469** |
| $R_{800}-R_{550}$ | 0,908** | 0,818** | 0,894** | 0,876** |
| R_{800}/R_{550} | 0,876** | 0,795** | 0,864** | 0,790** |
| NPQI | 0,199** | 0,193** | 0,200** | 0,190** |
| OCAR | 0,310** | 0,300** | 0,311** | 0,239** |
| YCAR | 0,536** | 0,506** | 0,534** | 0,457** |
| D_{705}/D_{722} | -0,843** | -0,764** | -0,831** | -0,861** |
| D_{725}/D_{702} | 0,861** | 0,760** | 0,844** | 0,853** |
| BND | 0,872** | 0,779** | 0,857** | 0,884** |
| BmSR | 0,837** | 0,769** | 0,828** | 0,839** |
| BmND | 0,857** | 0,776** | 0,845** | 0,863** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-15: (Continuación).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total | Nitrógeno |
|------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,821** | 0,718** | 0,803** | 0,791** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,870** | 0,774** | 0,855** | 0,875** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

La Figura 5-37, Figura 5-38, Figura 5-39, Figura 5-40, Figura 5-41, Figura 5-42 y Figura 5-43 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativa (Tabla 5-15). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para la variable RES y BND la regresiones de mayor ajuste fueron la exponencial para los contenidos de clorofila total, A y B. las variables NDVI2, R_{710}/R_{760} , NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$ y D_{715}/D_{705} la regresión potencial fue la de mayor ajuste para los contenidos de clorofila total, A y B, la variable DDI la regresión que obtuvo mejor ajuste fue la exponencial para los contenidos de clorofila total y B, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$ la regresión exponencial es la de mejor ajuste para los contenido de clorofila total y A, DDI y $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$ la regresión potencial para el contenido de clorofila A y B respectivamente, las variables RES, NDVI2, DDI, R_{710}/R_{760} , $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$, BND y D_{715}/D_{705} regresión polinómica - 3° para el contenido de N fue la de mejor ajuste.

Los índices evaluados en la regresiones con respectos a la clorofila total, A obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,75 y 0,89, para la clorofila B un R^2 que fluctuó entre 0,64 y 0,77 y para el N un R^2 que osciló entre 0,82 y 0,86, mostrando coeficientes altos, lo que indica que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de floración, el índice NDVI2 puede ser útil para estimar el contenido de clorofila total, A y B, el índice DDI puede ser útil para estimar el contenido N.

Las variables con las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Para el estado fenológico de floración se utilizaron RES, NDVI2, DDI, R_{710}/R_{760} , $R_{850}-R_{710}/R_{760}-R_{680}$, NDRE1, NDRE2, $R_{800}-R_{550}$, BND y D_{715}/D_{705} , con respecto al contenido de N.

Figura 5-37: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice RES. (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice RES. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice NDVI2.

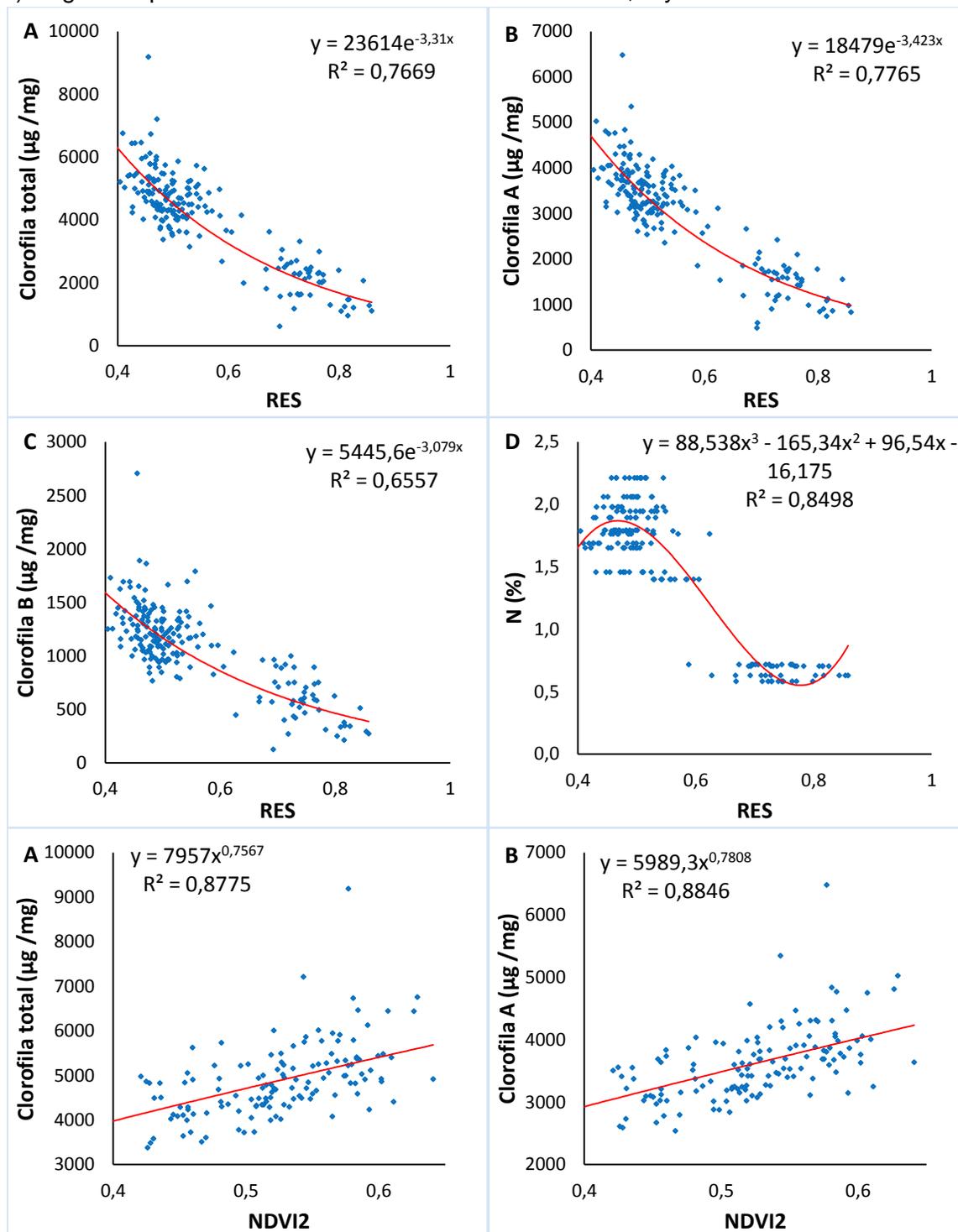


Figura 5-38: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice NDVI2. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice NDVI2. (C y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, B y el índice DDI. (D y F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A, N y el índice DDI.

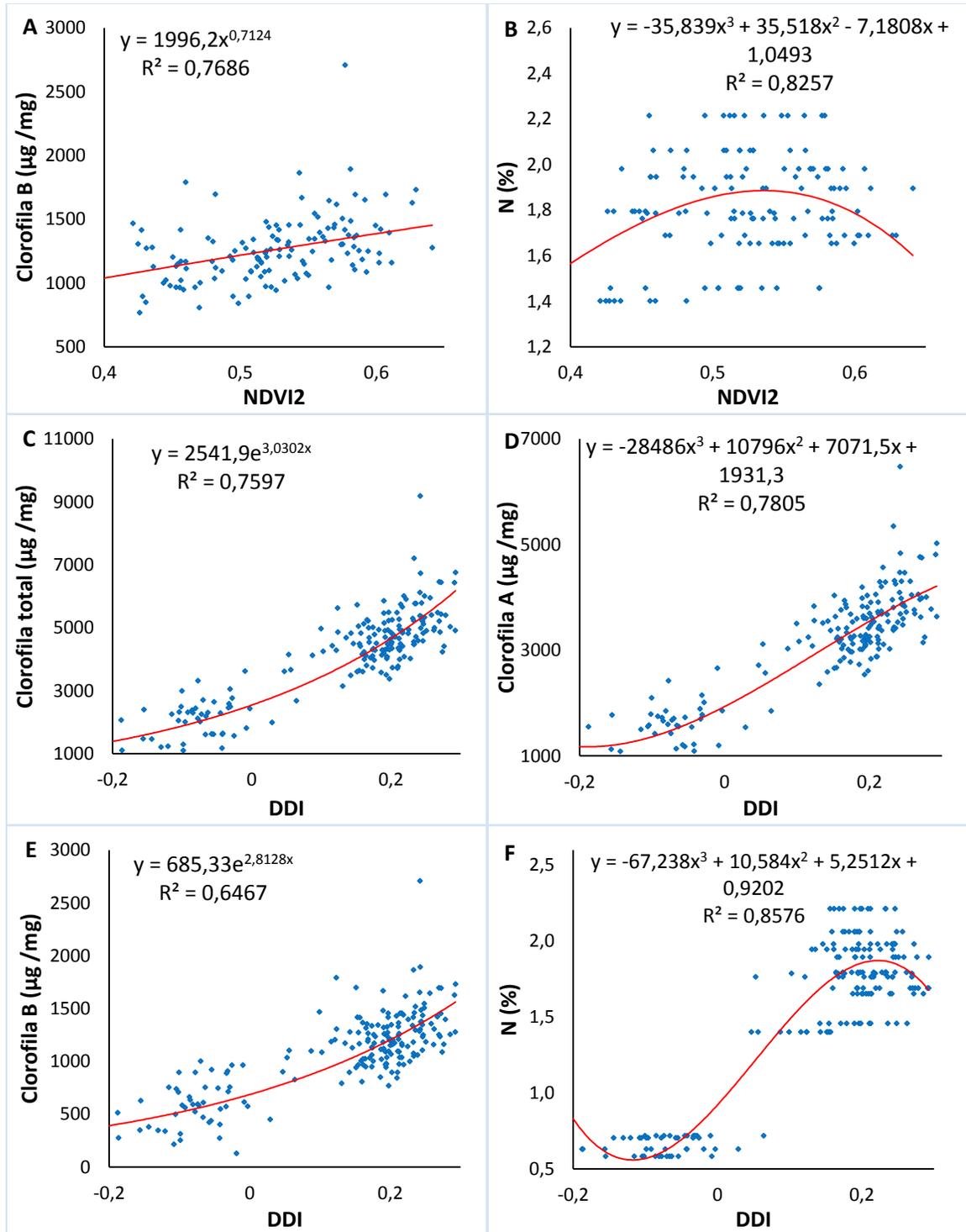


Figura 5-39: (A, B y C) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{710}/R_{760} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice R_{710}/R_{760} . (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$.

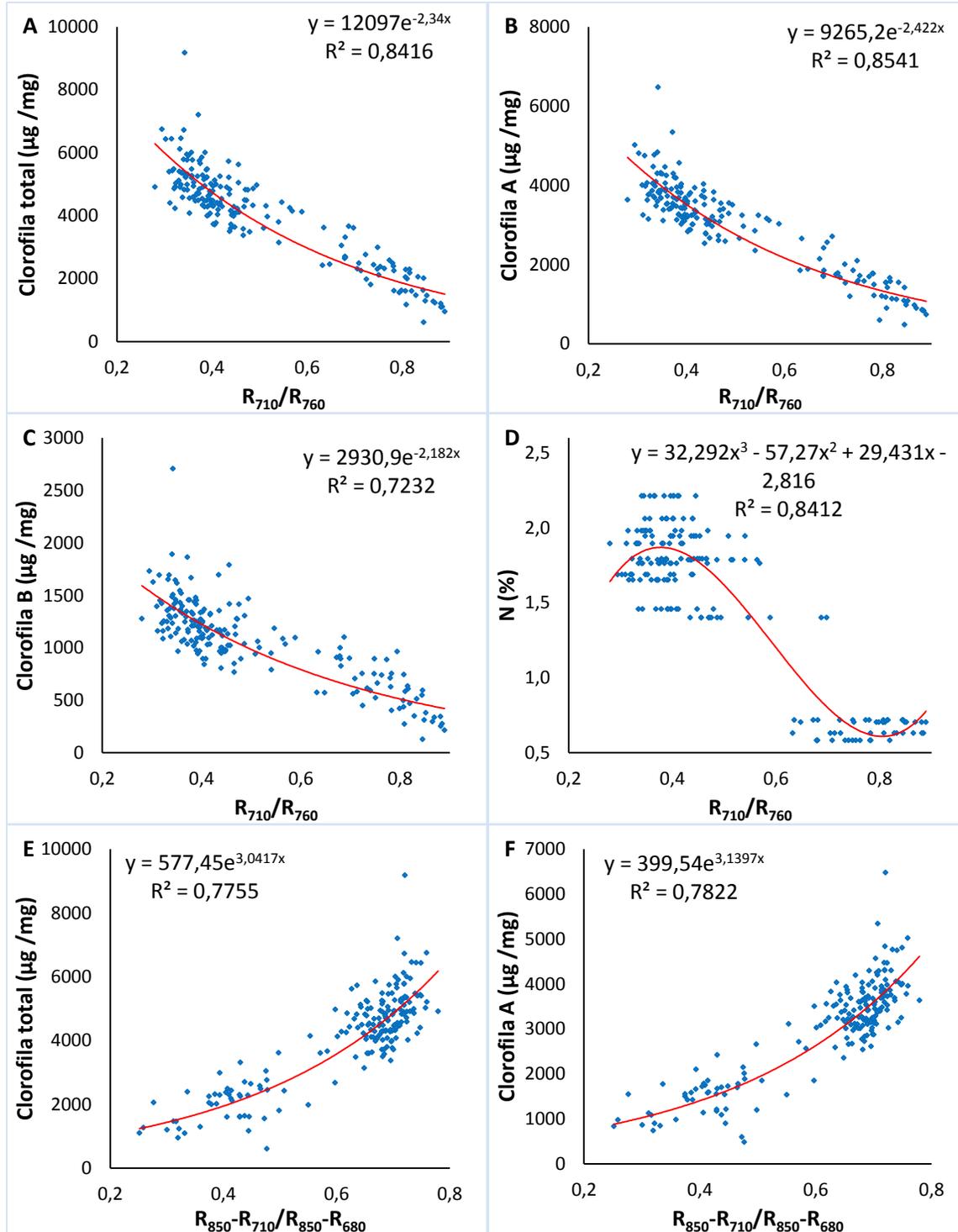


Figura 5-40: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$. (C D Y E) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice NDRE1.

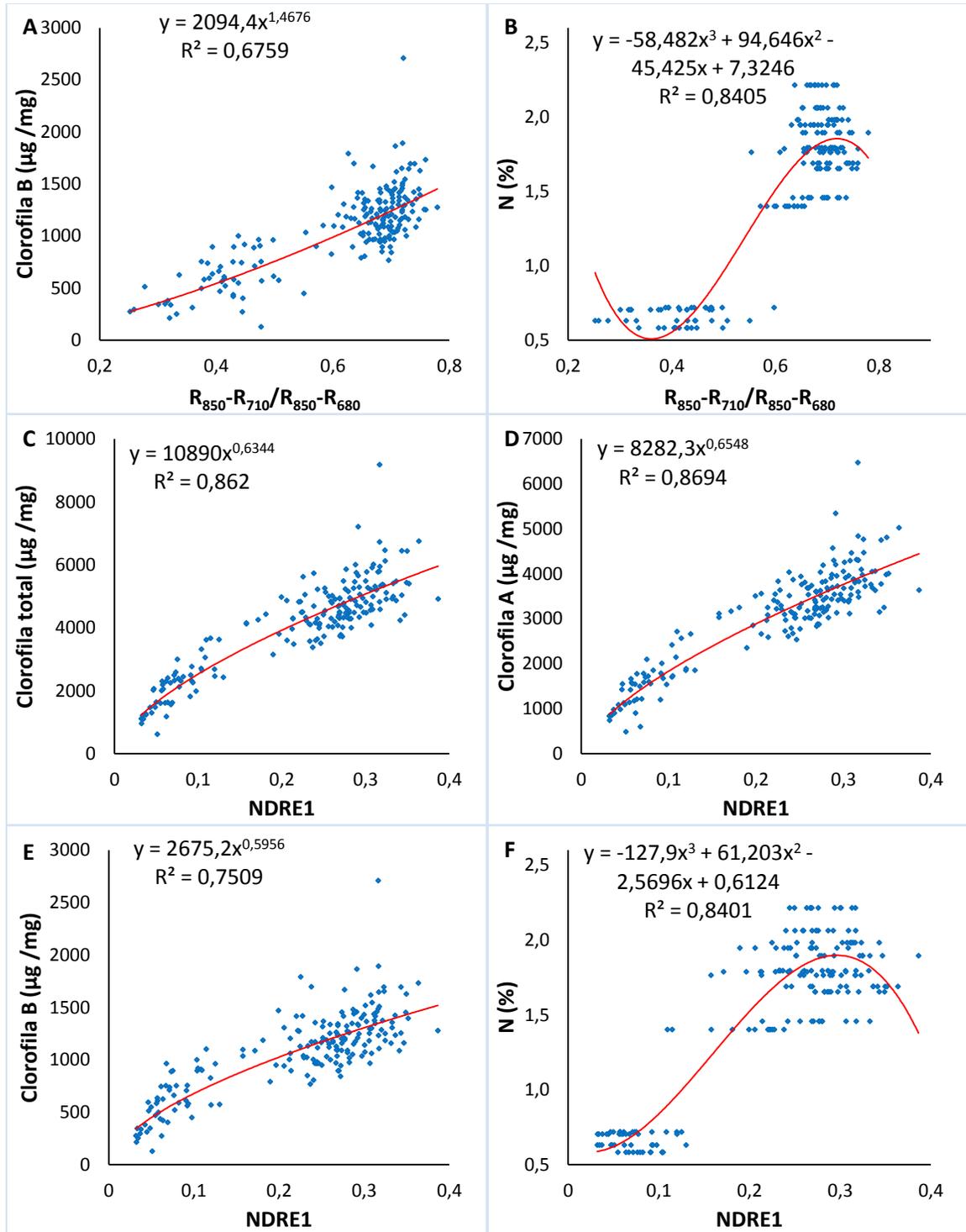


Figura 5-41: (A, B y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE2. (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido N y el índice NDRE2. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{800}-R_{550}$.

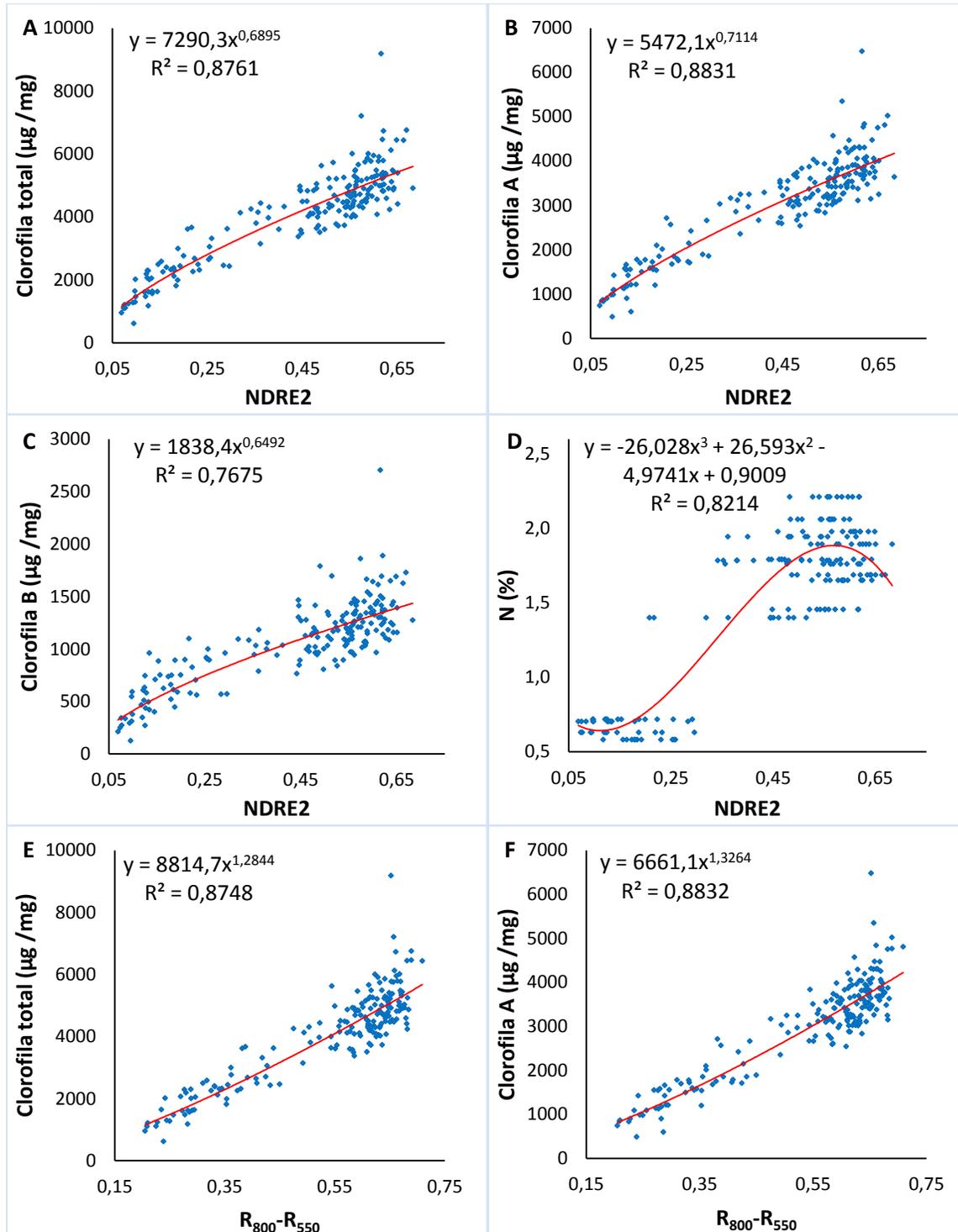


Figura 5-42: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{800}-R_{550}$. (B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice $R_{800}-R_{550}$. (C D y E) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice BND. (F) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice BND.

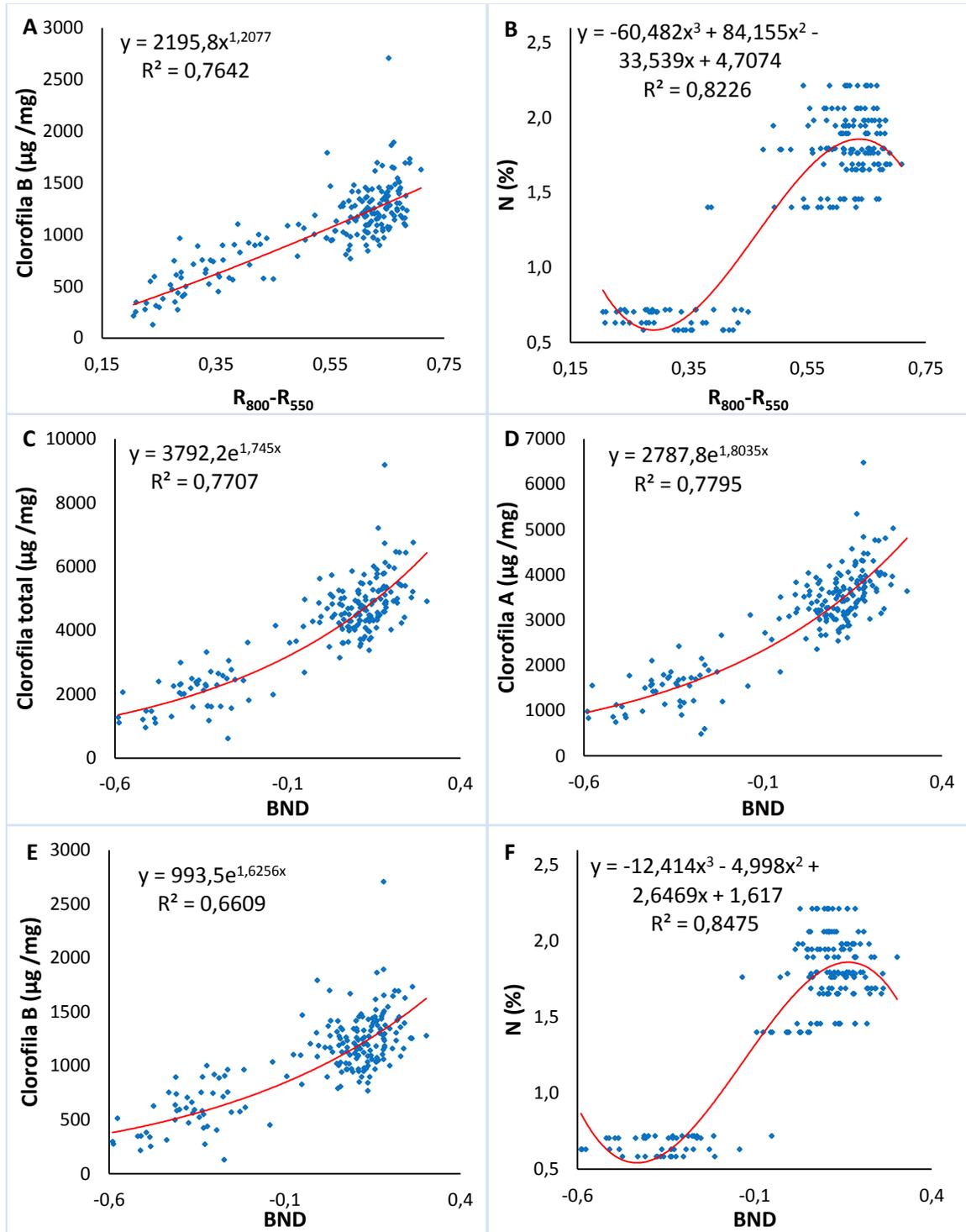
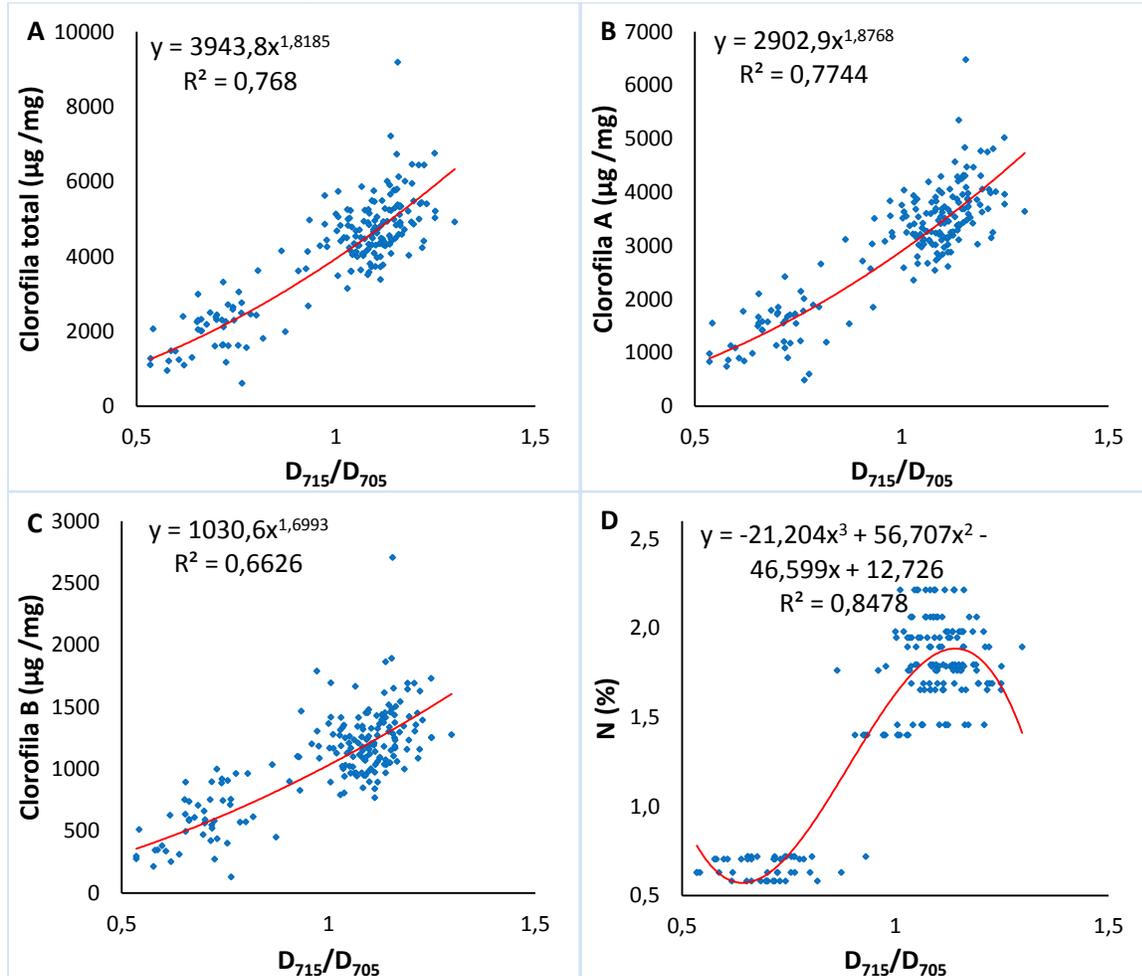


Figura 5-43: (A, B y C) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice D_{715}/D_{705} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de N y el índice D_{715}/D_{705} .



Según la Tabla 5-16 para el contenido de N el valor de FIV en todas las variables es mayor que 10 que pone de manifiesto la existencia de multicolinealidad. Adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparando con el valor del modelo ajustado, donde el FIV de las variables resultaron mayores al modelo ajustado, además el número e índice de condición presentaron valores superiores a 1000 evidenciando un relación de dependencia entre los regresores, mostrando presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variables presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficientes resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-16: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de N.

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|---------------------|---------------------|
| RES | 6936,67 | 6,8039 | 4196920 | 17,85 |
| NDVI2 | 8126,25 | | | 650,32 |
| DDI | 367,24 | | | 6656,56 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 2348,27 | | | 28374,14 |
| R ₈₅₀ -R ₇₁₀ /R ₇₆₀ -R ₆₈₀ | 2137,34 | | | 31499,91 |
| NDRE1 | 1617,59 | | | 2,1576e+05 |
| NDRE2 | 4647,57 | | | 4,5187e+05 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 122,16 | | | 8,0229e+05 |
| BND | 4199,06 | | | 1,2282e+06 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 2216,84 | | | 4,1969e+06 |

5.6 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de grano lechoso

La Figura 5-44 y Figura 5-45 muestra el comportamiento de las respuestas espectrales frente a diferentes dosis de N. Los valores de máxima reflectancia variaron entre 0,20 y 0,25, excepto en el tratamiento de 0 kg-N/ha, con un valor de 0,55. A medida que aumentó la dosificación de N fue menor la reflectancia. Lo anterior se debe, que las hojas que tienen menor contenido de N poseen menos formación de clorofila, y se ve reflejado en el espectro visible alrededor de los 550 nm con una mayor reflectancia y menor absorvancia en las longitudes de onda de los 450 y 675 nm.

La Figura 5-46 muestra el efecto que causa la fertilización en la reflectancia entre los 680 – 780 nm. La mayor diferencia se visualiza entre los 680 y 760 nm. Se observa que a mayor cantidad de N la reflectancia es menor, este comportamiento se debe que las parcelas ya presentan diferencia con respecto a la incorporación de los tratamientos de N.

La Figura 5-47 y Figura 5-48 muestran la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 - 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,004 – 0,0052 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, los valores máximos de los picos se encuentran entre 0,0136 – 0,0152 ubicados en 695,5 nm para el para los tratamientos 0 kg-N/ha, 700,5 nm para los tratamientos 160 N-kg/ha y 200 kg-N/ha y 720 nm para el tratamiento 240 kg-N/ha.

Figura 5-44: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de grano lechoso.

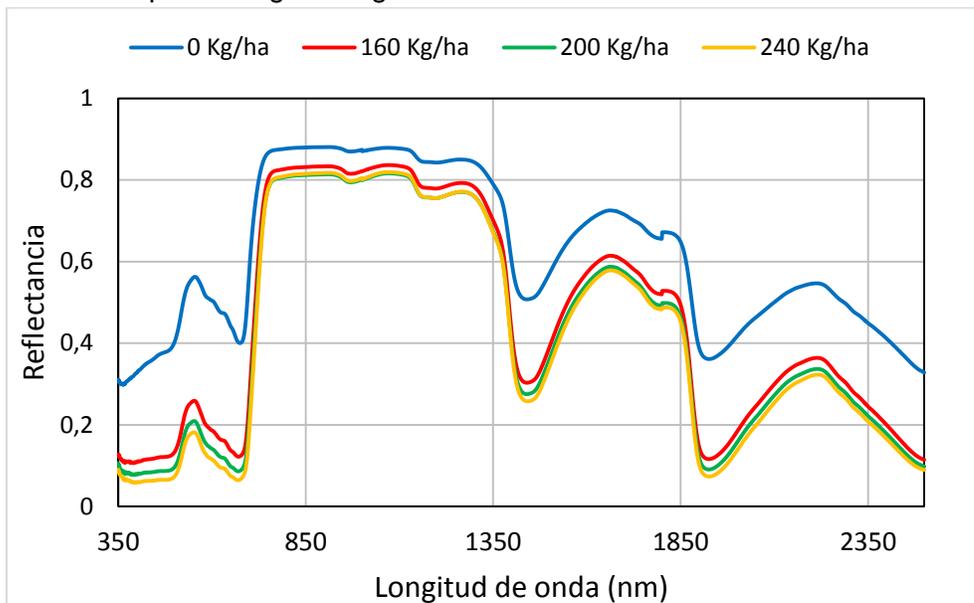


Figura 5-45: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de grano lechoso.

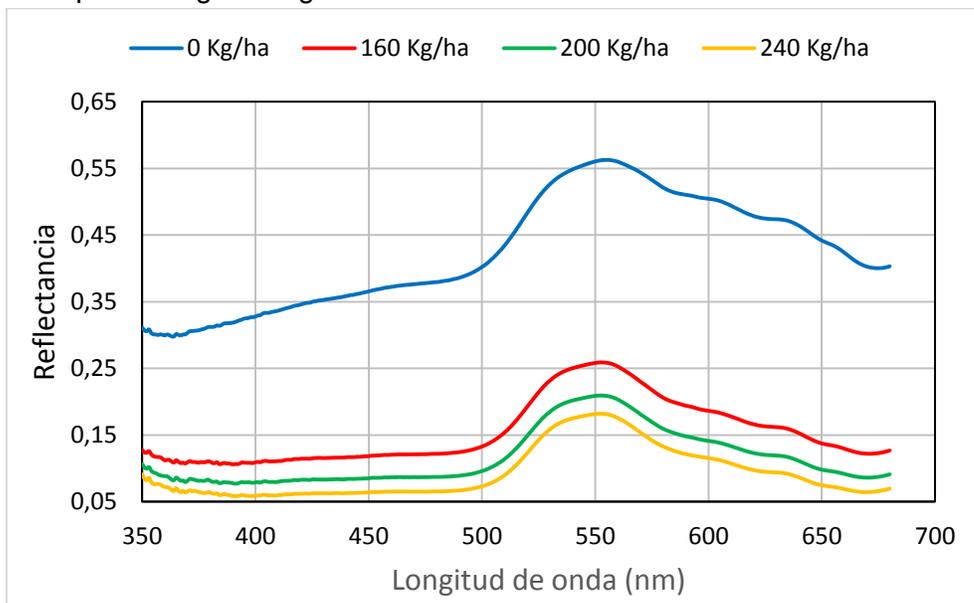


Figura 5-46: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano lechoso.

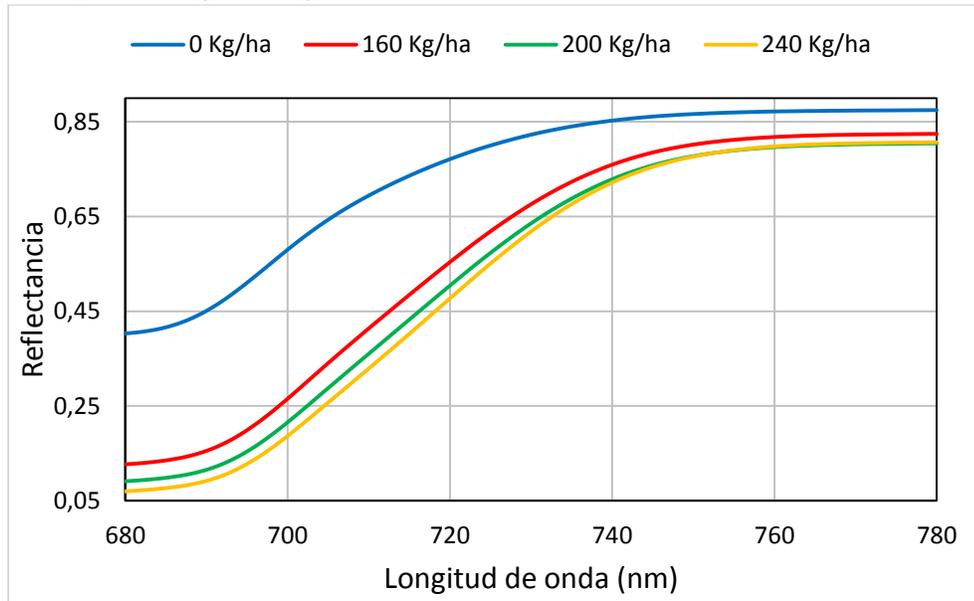
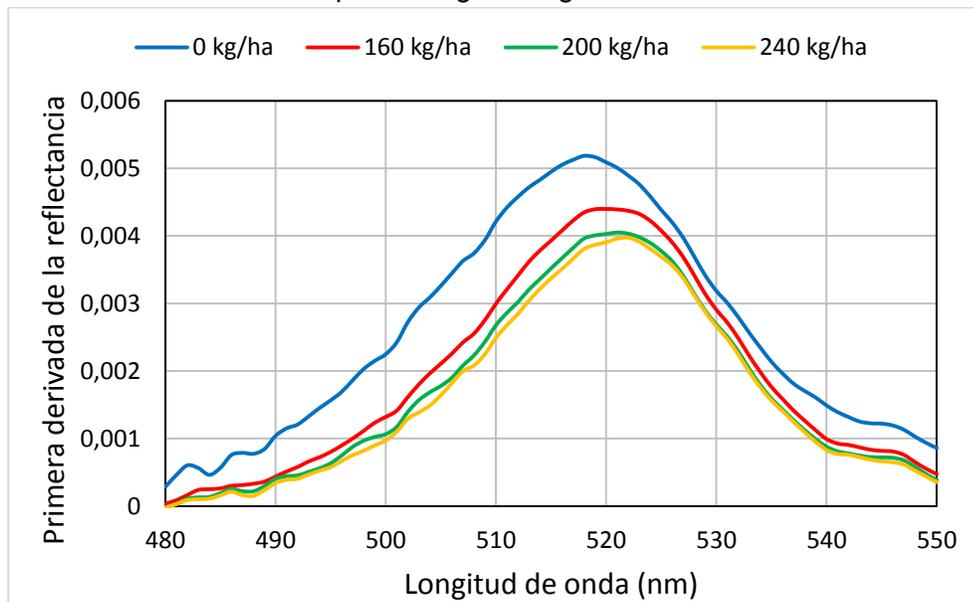


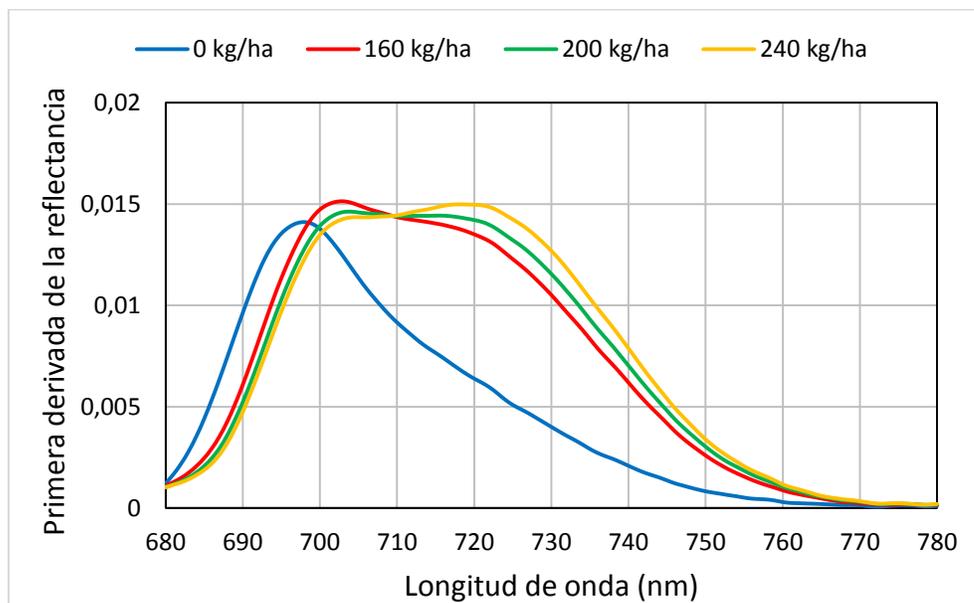
Figura 5-47: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de grano lechoso.



Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de cada variable se observa que hay diferencia en todas, pero las variables NPCI, OCAR y YCAR son las que presenta mayor variabilidad. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los

datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, los índices que obtuvieron valores > 100 , no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables PSRI, BND y BmND.

Figura 5-48: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 (nm) en la etapa fenológica de grano lechoso.



En la Tabla 5-17 muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que la variable OCAR fue el único índices que no obtuvo diferencia significativa entre tratamiento con $P > 0,05$.

Tabla 5-17: Resumen del ANOVA para el grano lechoso.

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,0000 |
| NDVI1 | 0,0000 | PSRI | 0,0036 |
| NDVI2 | 0,0000 | Red/Green | 0,0000 |
| GNDVI | 0,0000 | R_{550}/R_{800} | 0,0000 |
| PPR | 0,0000 | PSSR _a | 0,0000 |
| PRI | 0,0000 | PSSR _b | 0,0000 |
| SIPI | 0,0000 | PSND _a | 0,0000 |
| REArea | 0,0000 | PSND _b | 0,0000 |
| DDI | 0,0000 | NPCI | 0,2892 |
| TACRI | 0,0204 | SRPI | 0,2460 |
| R_{675}/R_{700} | 0,0000 | $R_{800}-R_{550}$ | 0,0000 |

Tabla 5-17: (Continuación)

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,0000 | NPQI | 0,1885 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,0000 | OCAR | 0,0025 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,0000 | YCAR | 0,0000 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,0000 | D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,0000 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,0000 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0155 | BND | 0,0000 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,0000 | BmSR | 0,0000 |
| NDRE1 | 0,0000 | BmND | 0,0000 |
| NDRE2 | 0,0000 | D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,0000 | D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,0000 | Clorofila A µg /mg | 0,0000 |
| mSR | 0,0000 | Clorofila B µg /mg | 0,0000 |
| SR ₆₈₀ | 0,0000 | Clorofila Total µg /mg | 0,0000 |
| SR ₇₀₅ | 0,0000 | | |

En la Tabla 5-18 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-18: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el grano lechoso.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,18147* | 0,21306* | 0,24042* | 0,03159* | 0,05895* | 0,02736* |
| NDVI1 | -0,35756* | -0,41538* | -0,45648* | -0,05782* | -0,09891* | -0,04109 |
| NDVI2 | -0,25318* | -0,30938* | -0,35016* | -0,05620* | -0,09698* | -0,04078* |
| GNDVI | -0,29549* | -0,35885* | -0,40091* | -0,06336* | -0,10542* | -0,04206* |
| PPR | -0,17916* | -0,20797* | -0,24972* | -0,02880 | -0,07055* | -0,04175 |
| PRI | -0,02424* | -0,03173* | -0,03713* | -0,00748* | -0,01289* | -0,00540* |
| SIPI | 0,08358* | 0,08838* | 0,08888* | 0,00480 | 0,00530 | 0,00050 |
| REArea | -0,21957* | -0,23265* | -0,25469* | -0,01308 | -0,03512 | -0,02204 |
| DDI | -0,18514* | -0,22474* | -0,25824* | -0,03959* | -0,07310* | -0,03350* |
| TACRI | -0,30304* | -0,21561* | -0,26524* | 0,08743 | 0,03780 | -0,04963 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,23140* | 0,27630* | 0,31657* | 0,04490 | 0,08517* | 0,04027 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | -0,26455* | -0,34195* | -0,40708* | -0,07740* | -0,14253* | -0,06513* |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,28824* | 0,34211* | 0,38163* | 0,05387* | 0,09339* | 0,03951* |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,33883* | 0,38879* | 0,42152* | 0,04996* | 0,08269* | 0,03273 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,49776* | -0,54672* | -0,67786* | -0,04896 | -0,18011* | -0,13115 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | -1,01643* | -1,38071* | -1,66691* | -0,36429* | -0,65049* | -0,28620* |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -6,34824* | -10,11730* | -12,87140* | -3,76903* | -6,52312* | -2,75409* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,12484 | -0,19856* | -0,19070* | -0,07372 | -0,06586 | 0,00786 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | -0,21057* | -0,24300* | -0,26939* | -0,03243* | -0,05881* | -0,02638* |
| NDRE1 | -0,13277* | -0,16664* | -0,19350* | -0,03387* | -0,06072* | -0,02686* |

*Diferencia significativa

Tabla 5-18: (Continuación)

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| NDRE2 | -0,28688* | -0,34934* | -0,39585* | -0,06245* | -0,10896* | -0,04651* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | -0,00995* | -0,01287* | -0,01512* | -0,00292* | -0,00517* | -0,00225* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | -0,02503* | -0,03335* | -0,03989* | -0,00831* | -0,01486* | -0,00654* |
| mSR | -1,32009* | -1,66883* | -1,93902* | -0,34875* | -0,61893* | -0,27019* |
| SR ₆₈₀ | -5,37632* | -7,22563* | -9,24332* | -1,84932* | -3,86700* | -2,01769* |
| SR ₇₀₅ | -1,01643* | -1,38071* | -1,66691* | -0,36429* | -0,65049* | -0,28620* |
| mND | -0,42495* | -0,49438* | -0,54953* | -0,06942* | -0,12457* | -0,05515 |
| PSRI | 0,00825* | 0,00704* | 0,00489* | -0,00121 | -0,00336 | -0,00215 |
| Red/Green | 0,17421* | 0,20746* | 0,24116* | 0,03326 | 0,06695* | 0,03369 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,29521* | 0,33657* | 0,36490* | 0,04136 | 0,06969* | 0,02833 |
| PSSRa | -5,37632* | -7,22563* | -9,24332* | -1,84932* | -3,86700* | -2,01769* |
| PSSRb | -4,83523* | -6,82476* | -8,81972* | -1,98953* | -3,98449* | -1,99496* |
| PSND _a | -0,35756* | -0,41538* | -0,45648* | -0,05782* | -0,09891* | -0,04109 |
| PSND _b | -0,37119* | -0,43753* | -0,48402* | -0,06633* | -0,11282* | -0,04649 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | -0,25299* | -0,28274* | -0,31253* | -0,02975* | -0,05954* | -0,02979* |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | -1,68875* | -2,38411* | -2,90174* | -0,69536* | -1,21299* | -0,51763* |
| OCAR | -0,14238* | -0,12466* | -0,13998* | 0,01773 | 0,00240 | -0,01532 |
| YCAR | -0,29604* | -0,29407* | -0,35628* | 0,00196 | -0,06024 | -0,06221 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,82293* | 0,91272* | 0,99420* | 0,08979* | 0,17127* | 0,08148 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,43634* | -0,53702* | -0,63756* | -0,10068* | -0,20122* | -0,10054* |
| BND | -0,35299* | -0,41014* | -0,45821* | -0,05715* | -0,10522* | -0,04807* |
| BmSR | -0,43289* | -0,46892* | -0,49107* | -0,03603 | -0,05818* | -0,02215 |
| BmND | -0,51886* | -0,58349* | -0,63662* | -0,06463* | -0,11776* | -0,05313 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,06874* | -0,09378* | -0,11534* | -0,02504* | -0,04661* | -0,02156* |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,27632* | -0,32589* | -0,37125* | -0,04957* | -0,09493* | -0,04536* |
| Clorofila A | -911,697* | -1011,400* | -1332,130* | -99,705 | -420,434* | -320,728* |
| Clorofila B | -462,107* | -491,222* | -544,947* | -29,115 | -82,840 | -53,726 |
| Clorofila Total | -1373,800* | -1502,620* | -1877,080* | -128,820 | -503,274* | -374,454* |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-19 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que las variables RES, NDVI1, NDVI2, GNDVI, PRI, DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₁₀/R₇₆₀, R₆₉₅/R₇₆₀, R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀, NDRE1, NDRE2, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1, mSR, SR₇₀₅, mND, R₅₅₀/R₈₀₀, PSSRa, PSSRb, PSNDa, PSNDb, R₈₀₀-R₅₅₀, R₈₀₀/R₅₅₀, D₇₀₅/D₇₂₂, D₇₂₅/D₇₀₂, BND, BmSR, BmND, D₇₅₄/D₇₀₄, D₇₁₅/D₇₀₅ presenta un alta correlación (>0,75). Para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices que obtuvieron valores superiores a 0,86 en clorofila totales. Para el contenido de clorofila total, A y B presentan una correlación positiva y altamente significativa con los índices DDI, R₇₄₀/R₇₂₀, R₇₅₀/R₇₀₅, R₈₆₀/(R₅₅₀*R₇₀₈), NDRE1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1, mSR, SR₇₀₅, D₇₂₅/D₇₀₂, y una correlación negativa y altamente significativa con el índice RES.

Tabla 5-19: Coeficiente de correlación para la floración. (n=96)

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| RES | -0,851** | -0,825** | -0,860** |
| NDVI1 | 0,763** | 0,759** | 0,776** |
| NDVI2 | 0,845** | 0,826** | 0,855** |
| GNDVI | 0,828** | 0,809** | 0,838** |
| PPR | 0,544** | 0,561** | 0,560** |
| PRI | 0,823** | 0,812** | 0,836** |
| SIPI | -0,685** | -0,679** | -0,697** |
| REArea | 0,705** | 0,720** | 0,724** |
| DDI | 0,853** | 0,825** | 0,861** |
| TACRI | 0,085 | 0,134 | 0,102 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,623** | -0,629** | -0,637** |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,868** | 0,838** | 0,875** |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,841** | -0,824** | -0,852** |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | -0,795** | -0,787** | -0,808** |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,470** | 0,486** | 0,484** |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,864** | 0,834** | 0,872** |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,860** | 0,811** | 0,861** |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,462** | 0,391** | 0,448** |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,845** | 0,821** | 0,854** |
| NDRE1 | 0,868** | 0,840** | 0,876** |
| NDRE2 | 0,837** | 0,819** | 0,848** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,868** | 0,840** | 0,876** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,863** | 0,834** | 0,871** |
| mSR | 0,869** | 0,836** | 0,875** |
| SR ₆₈₀ | 0,726** | 0,712** | 0,735** |
| SR ₇₀₅ | 0,864** | 0,834** | 0,872** |
| mND | 0,770** | 0,765** | 0,784** |
| PSRI | -0,291** | -0,328** | -0,308** |
| Red/Green | -0,667** | -0,677** | -0,684** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,763** | -0,759** | -0,777** |
| PSSR _a | 0,726** | 0,712** | 0,735** |
| PSSR _b | 0,768** | 0,747** | 0,777** |
| PSND _a | 0,763** | 0,759** | 0,776** |
| PSND _b | 0,795** | 0,785** | 0,807** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,795** | 0,791** | 0,810** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,853** | 0,816** | 0,858** |
| NPQI | 0,233* | 0,207* | 0,230* |
| OCAR | 0,189 | 0,226* | 0,205* |
| YCAR | 0,326** | 0,355** | 0,342** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,818** | -0,803** | -0,829** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,857** | 0,826** | 0,864** |
| BND | 0,847** | 0,826** | 0,857** |
| BmSR | 0,797** | 0,781** | 0,807** |
| BmND | 0,828** | 0,811** | 0,839** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,858** | 0,809** | 0,859** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,850** | 0,827** | 0,859** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-49, Figura 5-50, Figura 5-51, Figura 5-52, Figura 5-53 y Figura 5-54 para las regresiones que se realizaron a cada variable que obtuvieron las más altas correlaciones

y que fueran altamente significativa (Tabla 5-19). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo más alto valor de R^2 , dando como resultado que para las variables RES, DDI, NDRE1 y $(R_{790}/R_{690-725})-1$ la regresión de mayor ajuste fue la exponencial para los contenidos de clorofila total A y B, las variables R_{740}/R_{720} , R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, mSR, SR₇₀₅ y D_{725}/D_{702} la regresión que obtuvo mejor ajuste fue la potencial para los contenidos de clorofila total, A y B

Los índices evaluados en la regresiones con respectos a la clorofila total, A y B obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,76 y 0,84 enseñando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de grano lechoso, el índice NDRE1 puede ser útil para estimar el contenido de clorofila total, A y B.

Las variables con las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Para el estado fenológico de grano lechoso se utilizaron fueron RES, DDI, R_{740}/R_{720} , R_{750}/R_{705} , $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$, NDRE1, $(R_{790}/R_{690-725})-1$, mSR y D_{725}/D_{702} , con respecto a los contenidos de clorofila total.

Figura 5-49: (A y B) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice RES.

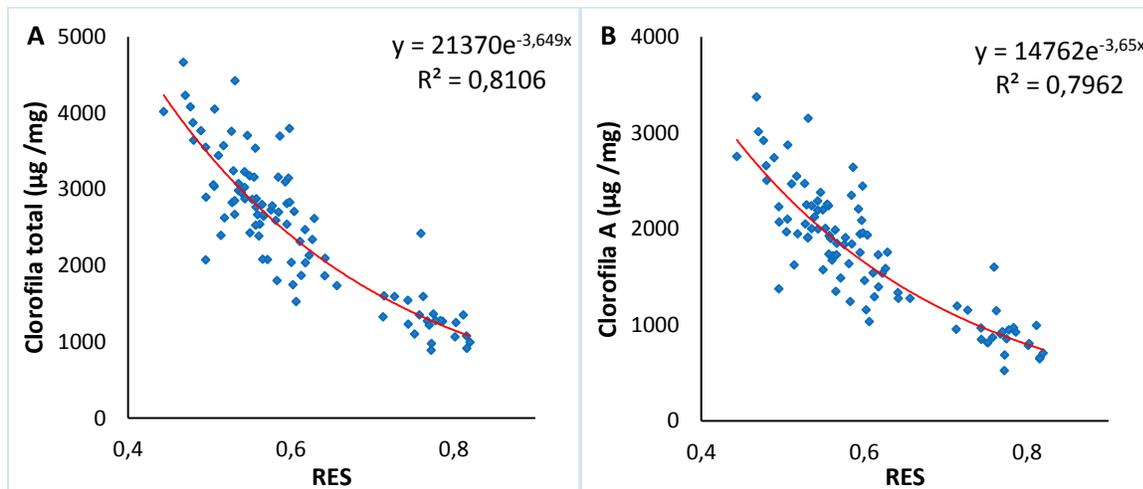


Figura 5-50: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice RES. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice DDI. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} .

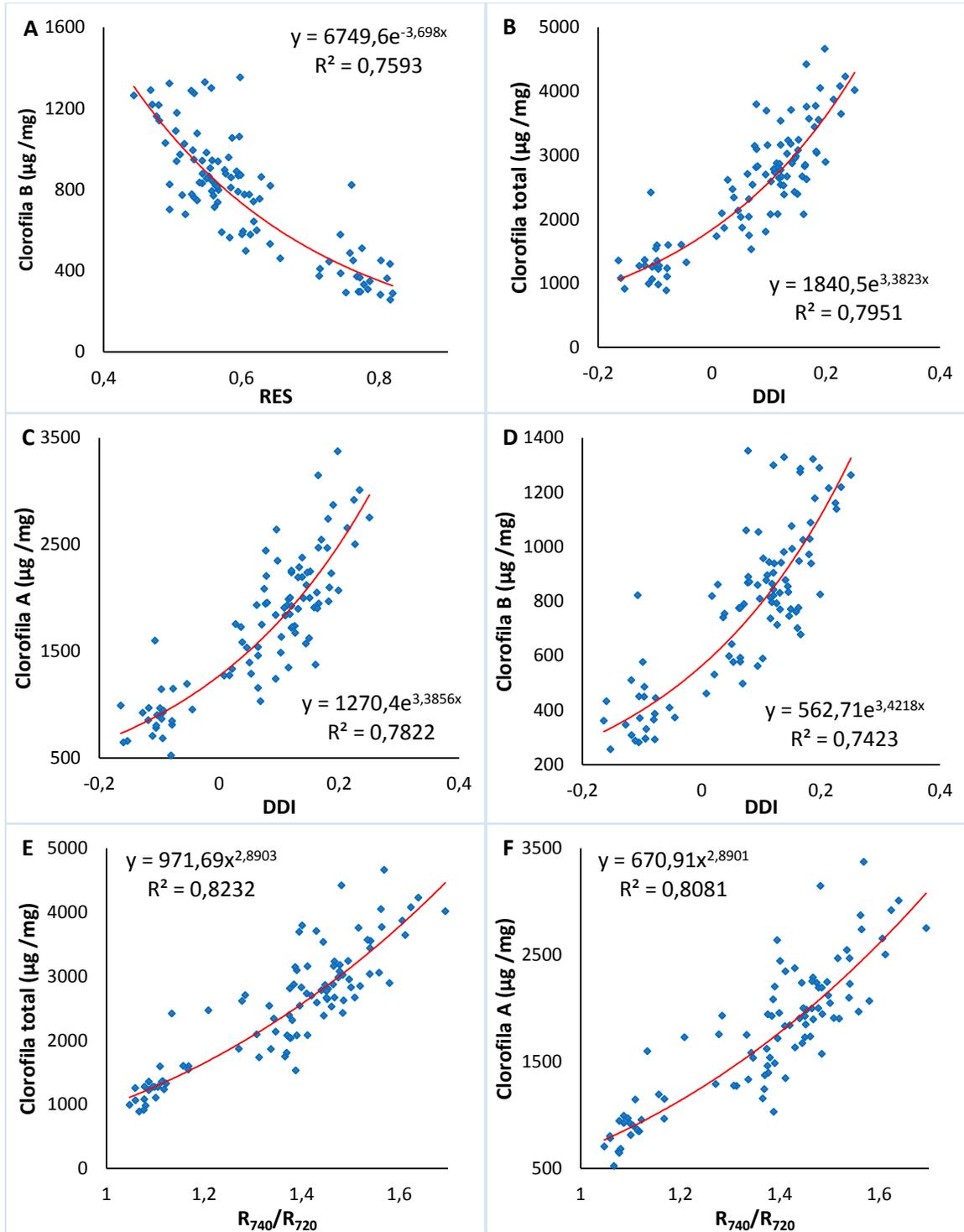


Figura 5-51: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice R_{750}/R_{705} . (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$.

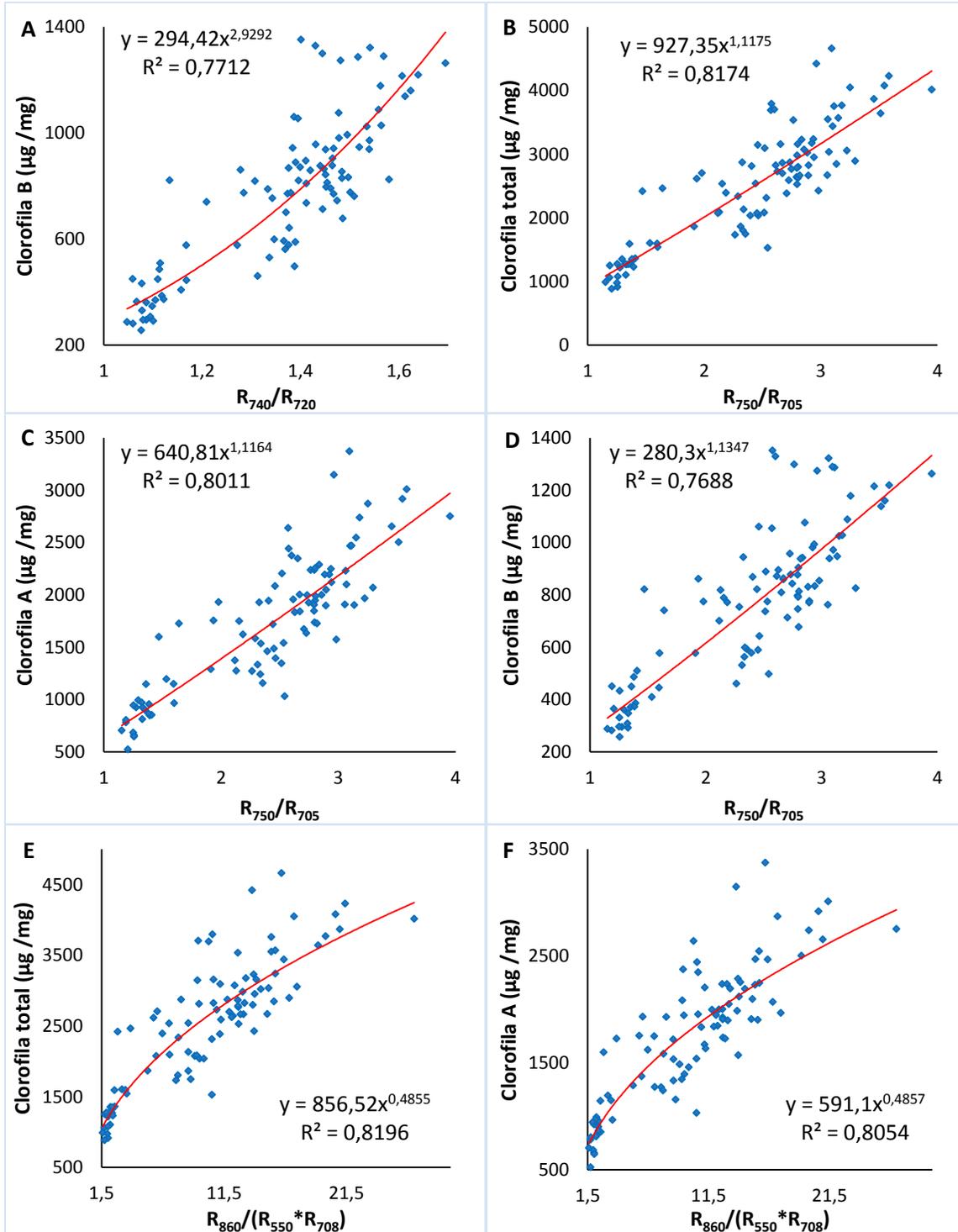


Figura 5-52: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice $R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$. (B, C y D) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice NDRE1. (E y F) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$.

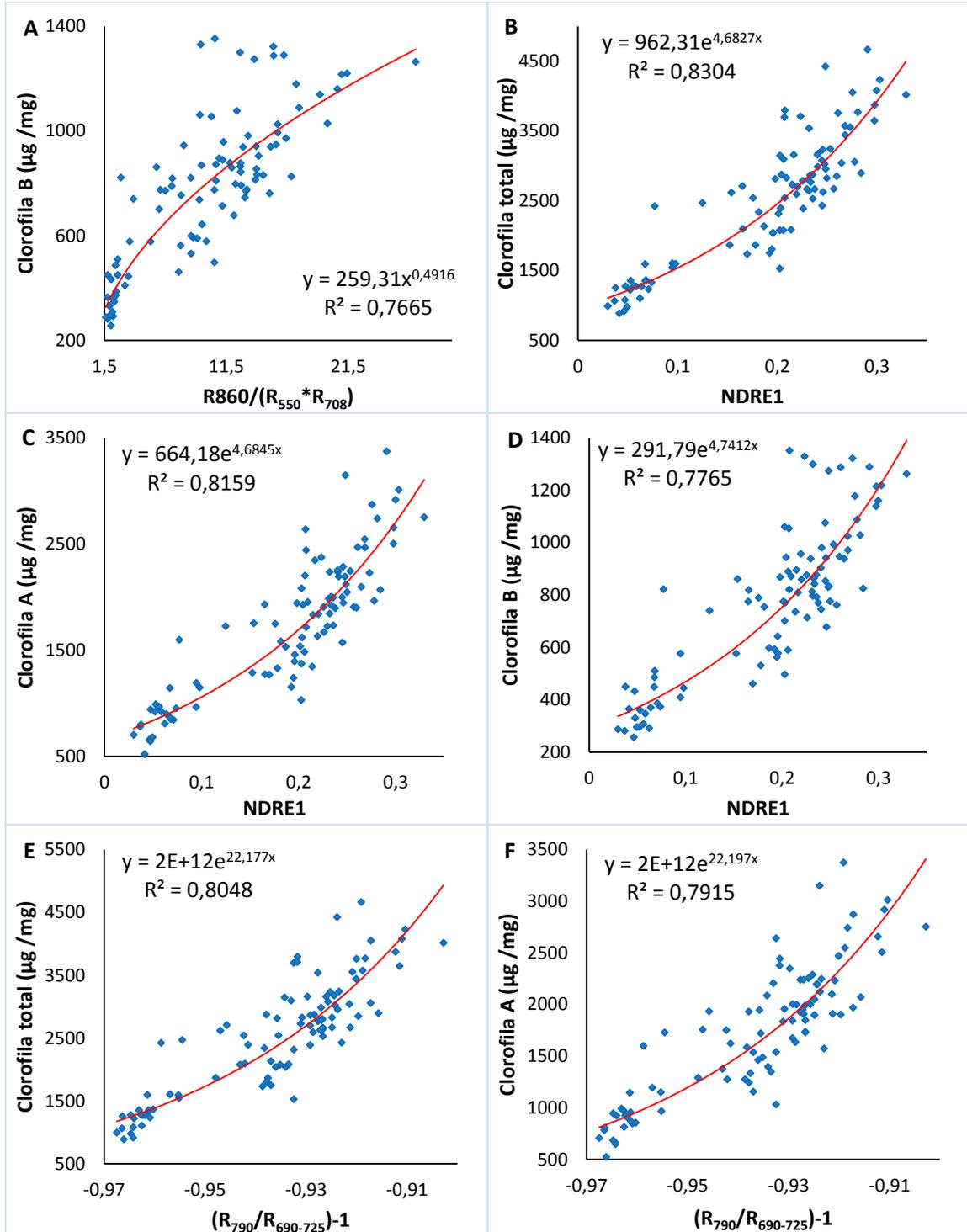


Figura 5-53: (A) Regresión exponencial entre el contenido de clorofila B y el índice $(R_{790}/R_{690-725})-1$. (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice mSR. (E y F) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A y el índice SR_{705} .

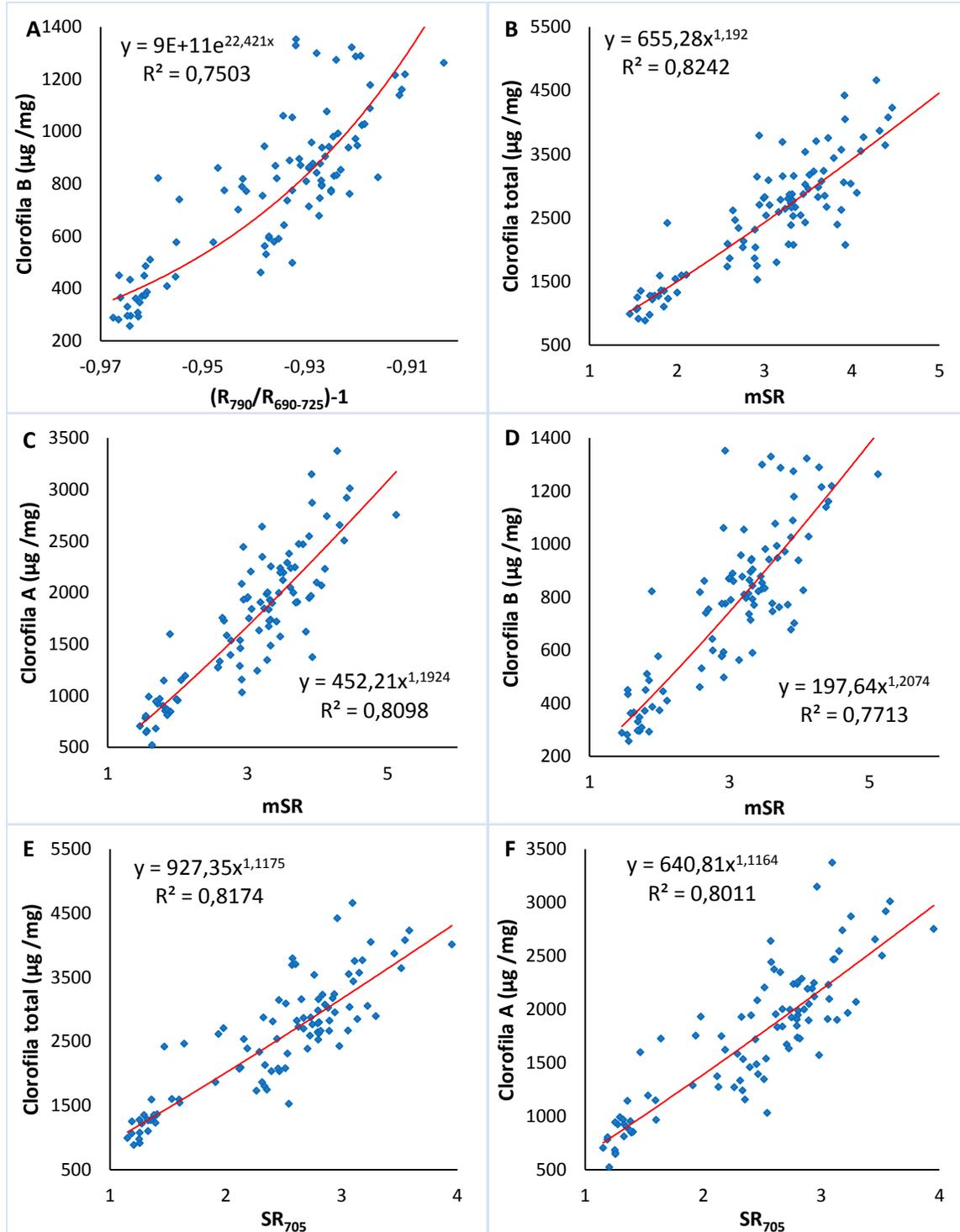
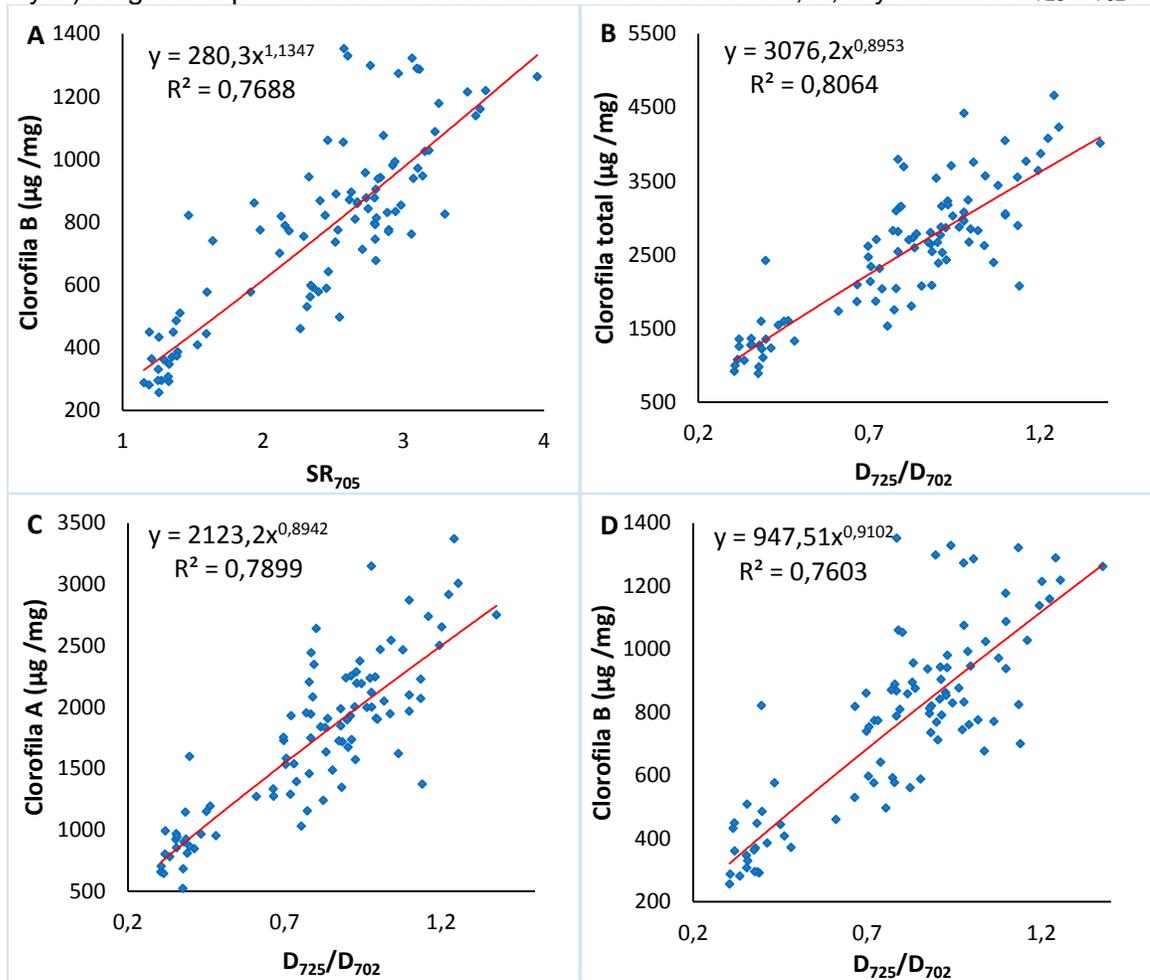


Figura 5-54: (A) Regresión potencial entre el contenido de clorofila B y el índice SR_{705} . (B, C y D) Regresión potencial entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice D_{725}/D_{702} .



Según la Tabla 5-20 para el contenido de clorofila total el valor de FIV en todas las variables es mayor que 10 que muestra la existencia de multicolinealidad. Adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparándolo con el valor del modelo ajustado, donde el FIV de todas las variables resultaron mayor al modelo ajustado, además el número e índice presentaron valores superiores a 1000 dejando ver presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variables presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficientes resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-20: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofila total

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|-------------------------------|----------|------------------|---------------------|---------------------|
| RES | 560,81 | 5,1217 | 23056006587 | 83,95 |
| DDI | 228,34 | | | 2282,67 |
| R_{740}/R_{720} | 4099,24 | | | 13256,17 |
| R_{750}/R_{705} | 16593,77 | | | 1,7085e+05 |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 66,95 | | | 1,0268e+06 |
| NDRE1 | 8456,83 | | | 1,5414e+06 |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 21998,19 | | | 1,4087e+07 |
| mSR | 302,01 | | | 4,8349e+07 |
| D_{725}/D_{702} | 436,10 | | | 2,3056e+10 |

5.7 Efecto de la dosis de N en las respuestas espectrales en la etapa de grano maduro

La Figura 5-55 y Figura 5-56 se muestra el comportamiento de las respuestas espectrales frente a diferentes dosis de N. Los valores de máxima reflectancia variaron entre 0,23 y 0,33, excepto en el tratamiento de 0 kg-N/ha con un valor 0,61. A medida que aumentó la dosificación de N fue menor la reflectancia. Lo anterior se debe, que las hojas que tienen menor contenido de N poseen menos formación de clorofila, y se ve reflejado en el espectro visible alrededor de los 550 nm con una mayor reflectancia y menor absorvancia en las longitudes de onda de los 450 y 675 nm.

La Figura 5-57 muestra el efecto que causa la fertilización en la reflectancia entre los 680 – 780 nm. La mayor diferencia se presenta entre los 680 y 760 nm. Se observa que a mayor cantidad de N la reflectancia es menor, este comportamiento se debe que las parcelas presentan diferencia en el comportamiento con respecto a la incorporación de las dosis de N por tratamiento.

La Figura 5-58 y Figura 5-59 muestran la primera derivada de la reflectancia en las longitudes de onda entre los 480 - 550 nm, donde los valores máximos de los picos variaron entre 0,0045 – 0,0054 ubicados en 520 nm y para las longitudes de onda entre 680 – 780 nm, los valores máximos de los picos se encuentran entre 0,015 – 0,020 ubicados en 693 nm para el tratamiento 0 N-kg/ha, 697 nm para el tratamiento 160 N-kg/ha, 699 nm para los tratamientos 200 N-kg/ha y 240 N-kg/ha.

Figura 5-55: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 350 – 2500 nm en la etapa fenológica de grano maduro.

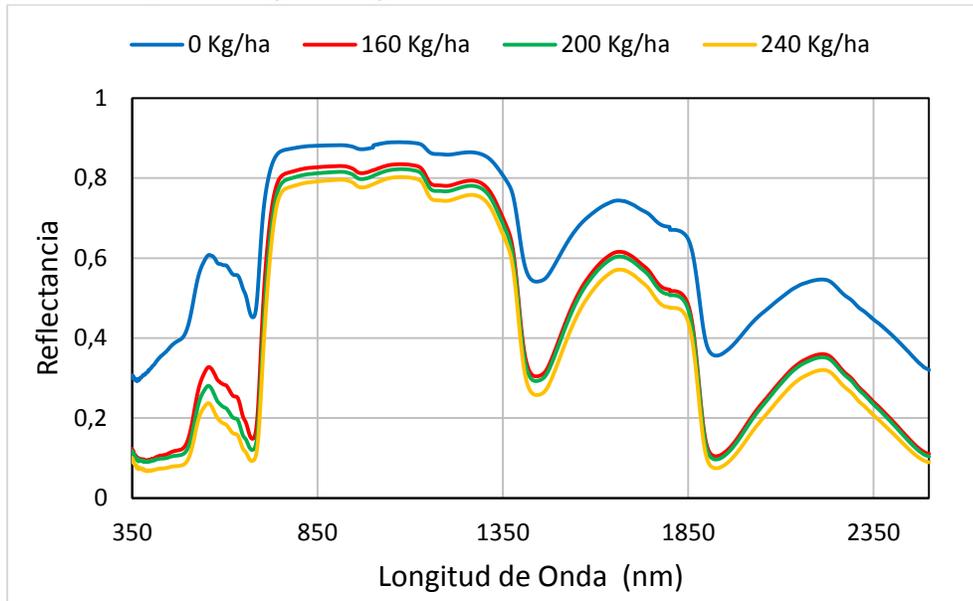


Figura 5-56: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 400 – 680 nm en la etapa fenológica de grano maduro.

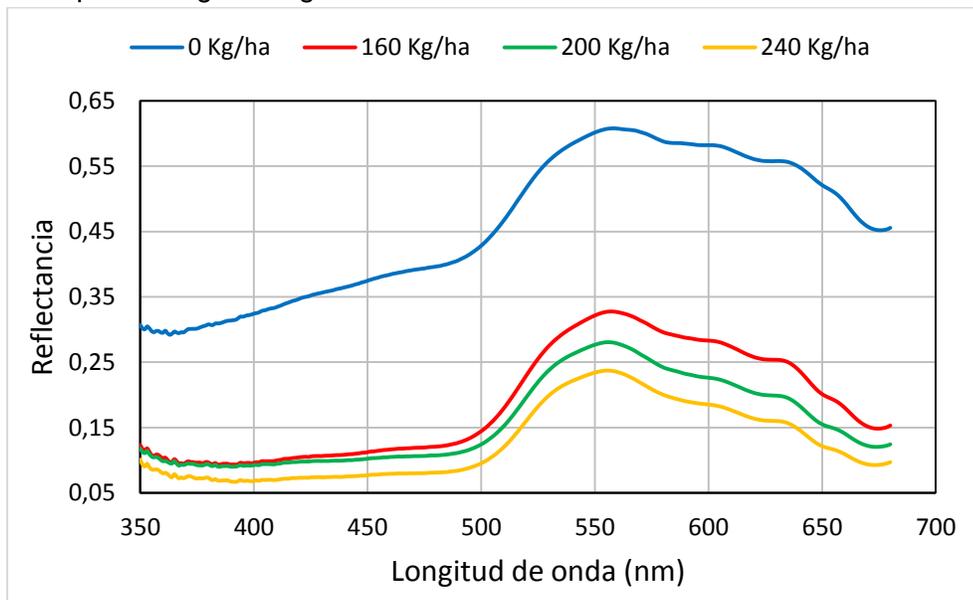


Figura 5-57: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en las respuesta espectral entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano maduro.

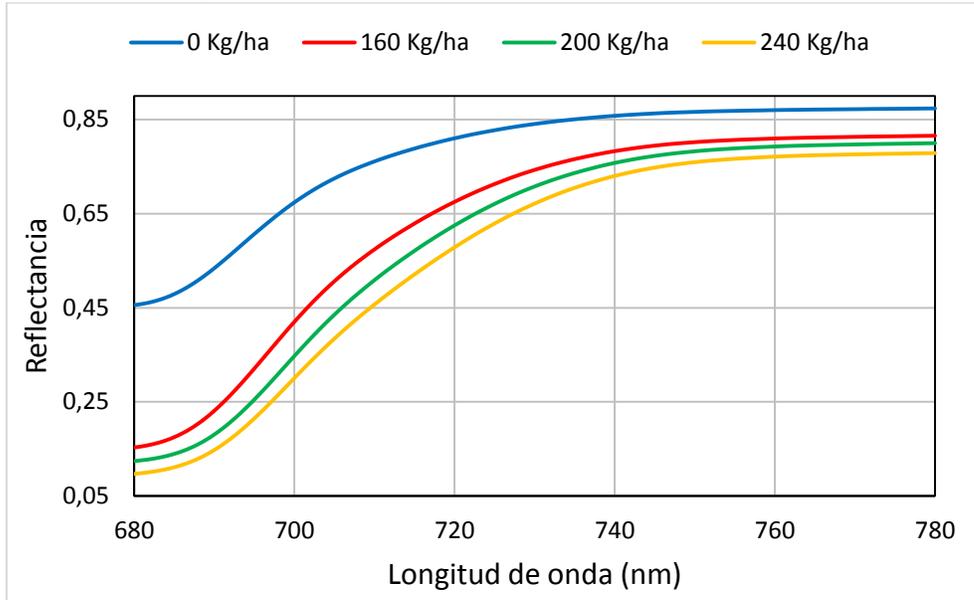


Figura 5-58: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 480 – 550 nm en la etapa fenológica de grano maduro.

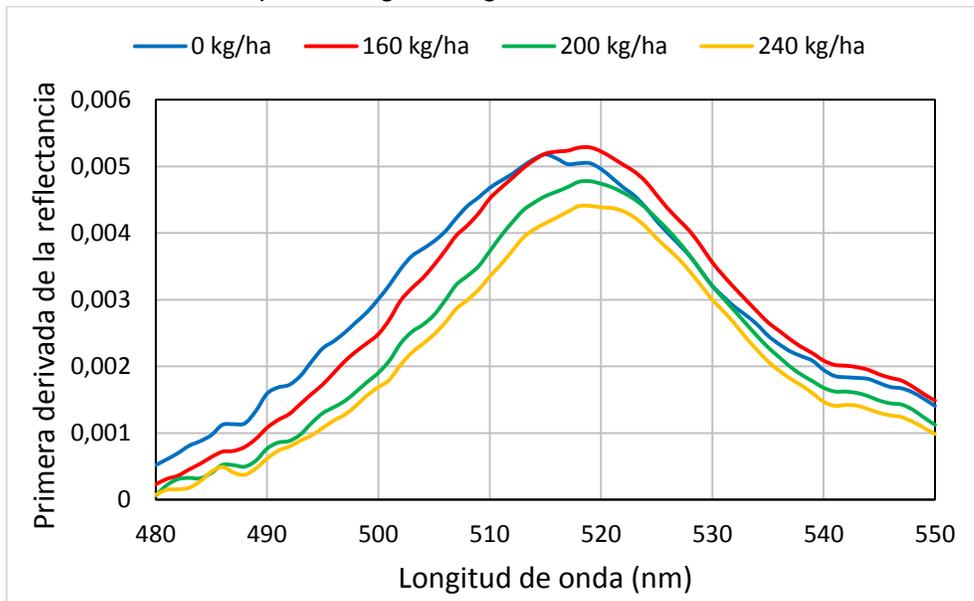
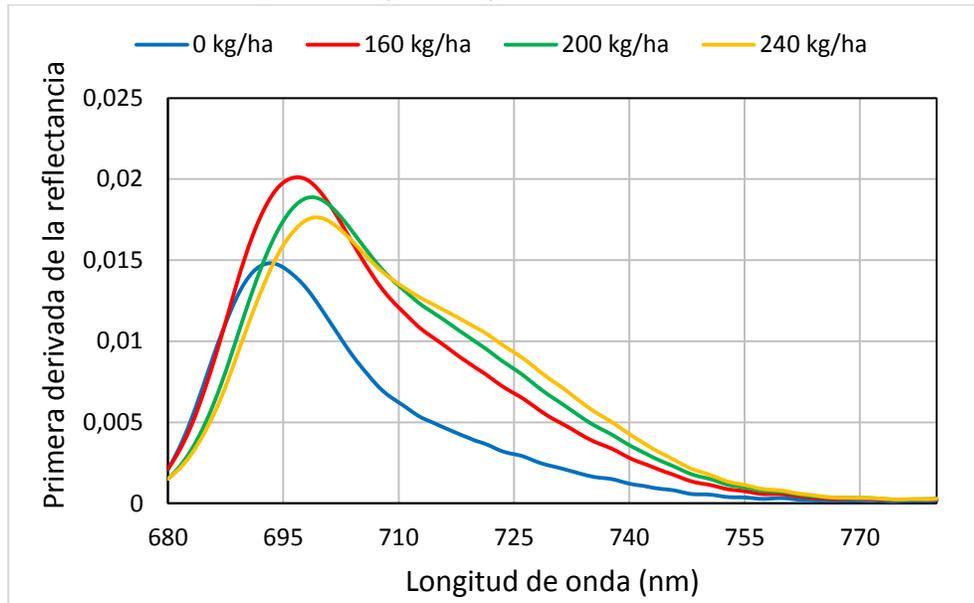


Figura 5-59: Efecto de la dosis de N (kg/ha) en la primera derivada de la reflectancia entre los 680 – 780 nm en la etapa fenológica de grano maduro.



Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestran el comportamiento por tratamiento (Tr). Comparando los valores de la media de cada variable se observa que hay diferencia en todas, pero las variables PPR, PRI, TCARI, $R_{672}/R_{550} * R_{708}$, PSRI, NPCI, SRPI y YCAR son las que presenta mayor variabilidad. El coeficiente de variación (CV) se calculó para observar la dispersión de los datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, los índices que obtuvieron valores > 100, no se tuvieron en cuenta dentro de la estadística descriptiva como las variables DDI, PSRI y BmSR.

En la Tabla 5-21 muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los tratamientos por cada variable, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados indicaron que todas las variables posee diferencia significativa entre tratamiento con $P < 0,05$.

Tabla 5-21: Resumen del ANOVA para la grano maduro.

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|----------|---------------|-------------------|---------------|
| RES | 0,0000 | mND | 0,0000 |
| NDVI1 | 0,0000 | PSRI | 0,0000 |
| NDVI2 | 0,0000 | Red/Green | 0,0000 |
| GNDVI | 0,0000 | R_{550}/R_{800} | 0,0000 |
| PPR | 0,0000 | PSSR _a | 0,0000 |
| PRI | 0,0002 | PSSR _b | 0,0000 |
| SIPI | 0,0000 | PSND _a | 0,0000 |

Tabla 5-21: (Continuación).

| Variable | Razón - P | Variable | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| REArea | 0,0000 | PSND _b | 0,0000 |
| DDI | 0,0000 | NPCI | 0,0003 |
| TACRI | 0,0000 | SRPI | 0,0005 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,0000 | R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,0000 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,0000 | NPQI | 0,0005 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,0000 | OCAR | 0,0000 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,0000 | YCAR | 0,0000 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,0000 | D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,0000 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0000 | D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,0000 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,0003 | BND | 0,0000 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,0000 | BmSR | 0,0000 |
| NDRE1 | 0,0000 | BmND | 0,0000 |
| NDRE2 | 0,0000 | D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,0000 | D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,0000 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,0000 | Clorofila A µg /mg | 0,0000 |
| mSR | 0,0000 | Clorofila B µg /mg | 0,0000 |
| SR ₆₈₀ | 0,0000 | Clorofila Total µg /mg | 0,0000 |
| SR ₇₀₅ | 0,0000 | | |

En la Tabla 5-22 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-22: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el grano maduro.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| RES | 0,07182* | 0,11990* | 0,15687* | 0,04808* | 0,08505* | 0,03697* |
| NDVI1 | -0,36792* | -0,41215* | -0,45673* | -0,04422 | -0,08880* | -0,04458 |
| NDVI2 | -0,13687* | -0,19599* | -0,24089* | -0,05912* | -0,10402* | -0,04490* |
| GNDVI | -0,24769* | -0,29689* | -0,34722* | -0,04920* | -0,09953* | -0,05034* |
| PPR | -0,26122* | -0,23650* | -0,26440* | 0,02472 | -0,00317 | -0,02790 |
| PRI | 0,02525* | 0,00598 | 0,00070 | -0,01927* | -0,02455* | -0,00528 |
| SIPI | 0,15712* | 0,18796* | 0,19139* | 0,03084 | 0,03428 | 0,00344 |
| REArea | -0,24175* | -0,25167* | -0,25721* | -0,00992 | -0,01546 | -0,00554 |
| DDI | -0,01177 | -0,08622* | -0,12924* | -0,07444* | -0,11747* | -0,04303* |
| TACRI | -1,31684* | -0,99722* | -0,97041* | 0,31962* | 0,34643* | 0,02681 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,31829* | 0,32565* | 0,35420* | 0,00736 | 0,03592 | 0,02856 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | -0,10089* | -0,15448* | -0,20837* | -0,05359* | -0,10747* | -0,05389* |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0,16565* | 0,23185* | 0,28150* | 0,06620* | 0,11585* | 0,04965* |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0,30096* | 0,37420* | 0,41739* | 0,07323* | 0,11642* | 0,04319 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,88742* | -0,84245* | -0,95351* | 0,04497 | -0,06609 | -0,11106 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | -0,39265* | -0,61760* | -0,82453* | -0,22495* | -0,43188* | -0,20693* |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -2,84651* | -4,41101* | -6,34450* | -1,56450* | -3,49799* | -1,93349* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,17168* | 0,11625* | 0,06845 | -0,05543 | -0,10323* | -0,04780 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | -0,09990* | -0,16385* | -0,20498* | -0,06395* | -0,10509* | -0,04114* |

*Diferencia significativa

Tabla 5-22: (Continuación).

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| NDRE1 | -0,05720* | -0,08565* | -0,11149* | -0,02845* | -0,05429* | -0,02584* |
| NDRE2 | -0,16425* | -0,22927* | -0,28100* | -0,06502* | -0,11675* | -0,05173* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | -0,00460* | -0,00681* | -0,00873* | -0,00221* | -0,00413* | -0,00192* |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | -0,01142* | -0,01698* | -0,02196* | -0,00557* | -0,01054* | -0,00498* |
| mSR | -0,35140* | -0,64044* | -0,88356* | -0,28904* | -0,53216* | -0,24312* |
| SR ₆₈₀ | -3,87261* | -5,12998* | -6,45122* | -1,25737* | -2,57861* | -1,32124* |
| SR ₇₀₅ | -0,39265* | -0,61760* | -0,82453* | -0,22495* | -0,43188* | -0,20693* |
| mND | -0,42097* | -0,47199* | -0,53995* | 0,05102 | -0,11897* | -0,06795* |
| PSRI | 0,02055* | 0,03137* | 0,02922* | 0,01081 | 0,00866 | -0,00215 |
| Red/Green | 0,12346* | 0,18057* | 0,20410* | 0,05711* | 0,08063* | 0,02352 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0,31183* | 0,33231* | 0,36501* | 0,02048 | 0,05318* | 0,03270 |
| PSSR _a | -3,87261* | -5,12998* | -6,45122* | -1,25737* | -2,57861* | -1,32124* |
| PSSR _b | -2,61482* | -3,91450* | -5,16616* | -1,29968* | -2,55134* | -1,25166* |
| PSND _a | -0,36792* | -0,41215* | -0,45673* | -0,04422 | -0,08880* | -0,04458 |
| PSND _b | -0,30854* | -0,38406* | -0,44041* | -0,07551* | -0,13187* | -0,05636* |
| NPCI | -0,07116* | -0,00094 | -0,00686 | 0,07022* | 0,06430* | -0,00592 |
| SRPI | 0,10034* | 0,00053 | 0,00743 | -0,09981* | -0,09291* | 0,00690 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | -0,22378* | -0,25294* | -0,27461* | -0,02915* | -0,05082* | -0,02167 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | -1,12633* | -1,50422* | -1,93438* | -0,37789* | -0,80805* | -0,43016* |
| NPQI | 0,00009 | -0,01086* | -0,00834* | -0,01095* | -0,00843* | 0,00252 |
| OCAR | -0,48523* | -0,40427* | -0,40049* | 0,08096 | 0,08474 | 0,00378 |
| YCAR | -0,64562* | -0,59172* | -0,61392* | 0,05390 | 0,03171 | -0,02219 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0,58049* | 0,82220* | 1,01345* | 0,24171* | 0,43297* | 0,19126* |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | -0,10677* | -0,18554* | -0,27766* | -0,07877* | -0,17089* | -0,09212* |
| BND | -0,13746* | -0,22401* | -0,29943* | -0,08655* | -0,16198* | -0,07542* |
| BmSR | -0,46846* | -0,62286* | -0,69311* | -0,15440* | -0,22465* | -0,07025 |
| BmND | -0,68330* | -0,82818* | -0,92443* | -0,14488 | -0,24113* | -0,09624 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | -0,00897 | -0,02195* | -0,03570* | -0,01298* | -0,02673* | -0,01375* |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | -0,10068* | -0,16114* | -0,22031* | -0,06047* | -0,11964* | -0,05917* |
| Clorofila A | -111,827 | -211,135* | -512,782* | -99,308 | -400,955* | -301,647* |
| Clorofila B | -59,545 | -89,206 | -245,931* | -29,661 | -186,386* | -156,725* |
| Clorofila Total | -171,372 | -300,341* | -758,713* | -128,969 | -587,340* | -458,372* |

*Diferencia significativa

En la Tabla 5-23 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que las variables RES, DDI, R₇₅₀/R₇₀₅, R₈₆₀/(R₅₅₀*R₇₀₈), R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀, (R₇₉₀/R₆₉₅₋₇₄₀)-1, (R₇₉₀/R₆₉₀₋₇₂₅)-1, mSR, SR₇₀₅, D₇₂₅/D₇₀₂, BND, D₇₅₄/D₇₀₄, D₇₁₅/D₇₀₅ presenta un alta correlación (>0,75). Para los análisis posteriores se tuvieron en cuenta los índices que obtuvieron valores superiores a 0,78 en clorofila totales, con una correlación positiva y altamente significativa como los índices R₇₄₀/R₇₂₀, mSR y D₇₂₅/D₇₀₂.

Tabla 5-23: Coeficiente de correlación para el grano maduro. (n=96)

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|-------|-------------|-------------|-----------------|
| RES | -0,812** | -0,657** | -0,777** |
| NDVI1 | 0,562** | 0,470** | 0,544** |

Tabla 5-23: (Continuación).

| | Clorofila A | Clorofila B | Clorofila Total |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| NDVI2 | 0,763** | 0,627** | 0,734** |
| RES | -0,812** | -0,657** | -0,777** |
| NDVI1 | 0,562** | 0,470** | 0,544** |
| NDVI2 | 0,763** | 0,627** | 0,734** |
| GNDVI | 0,627** | 0,521** | 0,605** |
| PPR | 0,349** | 0,313** | 0,346** |
| PRI | 0,481** | 0,390** | 0,461** |
| SIPI | -0,536** | -0,428** | -0,511** |
| REArea | 0,476** | 0,381** | 0,454** |
| DDI | 0,802** | 0,652** | 0,769** |
| TACRI | 0,065 | 0,068 | 0,068 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,425** | -0,368** | -0,416** |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,814** | 0,666** | 0,782** |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,755** | -0,620** | -0,726** |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | -0,650** | -0,536** | -0,626** |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,347** | 0,310** | 0,343** |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,800** | 0,664** | 0,772** |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,142 | 0,101 | 0,131 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,793** | 0,642** | 0,759** |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,802** | 0,659** | 0,771** |
| NDRE2 | 0,752** | 0,621** | 0,724** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,791** | 0,651** | 0,761** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,790** | 0,650** | 0,760** |
| mSR | 0,829** | 0,667** | 0,792** |
| SR ₆₈₀ | 0,676** | 0,575** | 0,658** |
| SR ₇₀₅ | 0,806** | 0,662** | 0,775** |
| mND | 0,588** | 0,493** | 0,570** |
| PSRI | -0,503** | -0,402** | -0,480** |
| Red/Green | -0,661** | -0,549** | -0,638** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,510** | -0,428** | -0,494** |
| PSSR _a | 0,676** | 0,575** | 0,658** |
| PSSR _b | 0,734** | 0,615** | 0,710** |
| PSND _a | 0,562** | 0,470** | 0,544** |
| PSND _b | 0,652** | 0,541** | 0,630** |
| NPCI | -0,335** | -0,247* | -0,312** |
| SRPI | 0,345** | 0,255* | 0,321** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,565** | 0,456** | 0,540** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,710** | 0,589** | 0,685** |
| NPQI | 0,312** | 0,192 | 0,275 |
| OCAR | 0,167 | 0,162 | 0,170 |
| YCAR | 0,299** | 0,272** | 0,298** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,750** | -0,608** | -0,718** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,841** | 0,679** | 0,804** |
| BND | 0,812** | 0,657** | 0,777** |
| BmSR | 0,663** | 0,531** | 0,633** |
| BmND | 0,609** | 0,506** | 0,588** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,807** | 0,660** | 0,775** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,815** | 0,658** | 0,779** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-60 y Figura 5-61 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativa (Tabla 5-23). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para la variable R_{740}/R_{720} , mSR y D_{720}/D_{702} la regresión de mayor ajuste fue la polinómica - 3° para los contenidos de clorofila total A y B.

Figura 5-60: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A y el índice R_{740}/R_{720} . (C) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila B y el índice R_{740}/R_{720} . (D) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A, B y el índice mSR.

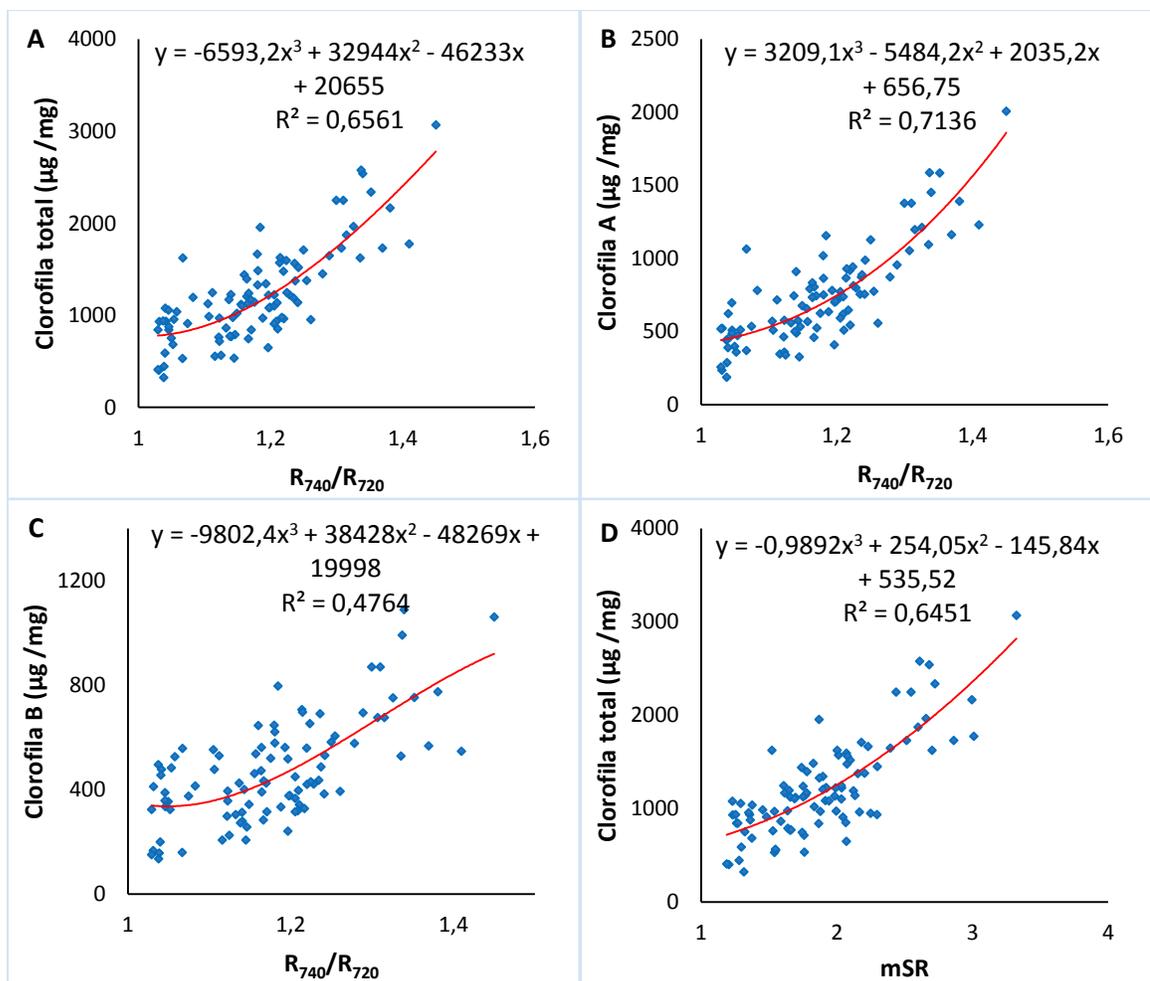
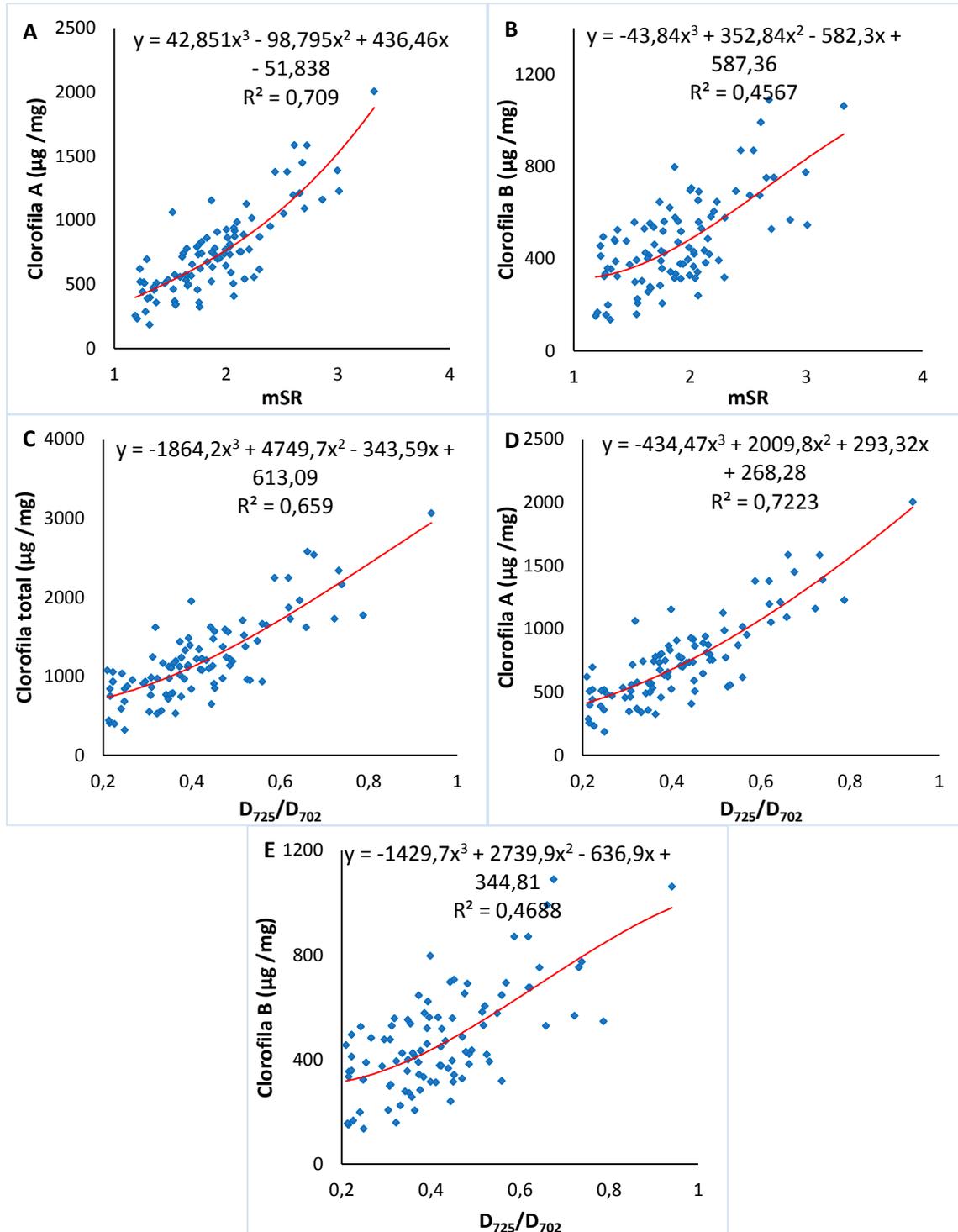


Figura 5-61: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila A, B y el índice mSR. (C, D y E) Regresión polinómica – 3° entre el contenido de clorofila total, A y el índice D_{725}/D_{702} .



Los índices evaluados en la regresiones con respectos a la clorofila total y A obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,64 y 0,73 indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables y para la clorofila B se obtuvo un R^2 entre 0.45 – 0.48 demostrando la baja representatividad del modelo, lo que supone que no se explica muy bien la variación total de las variables. Por lo anterior se dice que para el estado fenológico de grano maduro el índice que mejor estima el contenido de clorofila total y A es el D_{725}/D_{702} , ya que obtuvo el mayor coeficiente R^2 , para clorofila B ningún índice evaluado tiene la bondad de lograr representar la estimación ya que su R^2 es bajo, aunque R_{740}/R_{720} en esta investigación fue el que mejor obtuvo resultados.

Las variables con las correlaciones que obtuvieron los valores más altos y que fueran altamente significativa, se realizó una regresión lineal múltiple. Para el estado fenológico de grano maduro se utilizaron fueron R_{740}/R_{720} , mSR y D_{725}/D_{702} , en relación a los contenidos de clorofila total.

Según la Tabla 5-24 para el contenido de clorofila total el valor de FIV en todas las variables es mayor que 10 que visualiza la existencia de multicolinealidad. Adicionalmente este resultado puede ser confirmado comparándolo con el valor del modelo ajustado, donde el FIV de las variables resultaron mayores al modelo ajustado, además el número e índice de condición presentaron valores superiores a 1000 dejando ver una relación de dependencia entre los regresores, indicando igualmente presencia de multicolinealidad. Lo anterior nos indica que para esta etapa fenológica no se puede aplicar una regresión múltiple ya que entre las variable presentan problemas de multicolinealidad, produciendo que las estimaciones de los coeficiente resulten poco fiables y reduce la efectividad del ajuste lineal.

Tabla 5-24: Diagnóstico para detectar multicolinealidad para regresión lineal múltiple en contenido de clorofila total

| | FIV | Modelos ajustado | Número de condición | Índice de condición |
|-------------------|-------|------------------|---------------------|---------------------|
| R_{740}/R_{720} | 27,40 | 2,85 | 30927,52 | 102,48 |
| mSR | 85,54 | | | 18656,62 |
| D_{725}/D_{702} | 55,03 | | | 30927,51 |

Los principales esfuerzos en el modelado de la reflectancia de la vegetación utilizando la teoría de la transferencia radiativa han sido a nivel del dosel, y hay menos modelos a nivel de hoja. Pero las propiedades ópticas de los elementos de dispersión son necesarias en un modelo de dosel, que depende de la microestructura y la propiedad material de las hojas. La reflectancia de la hoja ilustra algunas características únicas. En general, los pigmentos foliares tienen un gran impacto en la reflectancia visible, la absorción se debe a pigmentos como clorofilas a + b, carotenoides y pigmentos marrones que aparecen durante la senescencia, además la estructura celular de las hojas se expresa en el rango del infrarrojo cercano y el vapor de agua, las proteínas, la química foliar afecta la reflectancia desde el infrarrojo cercano al espectro del infrarrojo medio (Liang, 2003, p.275).

En investigaciones ya realizadas las curvas de respuesta espectral para los cultivos de arroz que recibieron diferentes entradas de N, mostraron que el estado del N estaba relacionado con la reflectancia en las regiones visible y NIR. Los resultados mostraron que los índices RVI y NDVI podrían ser utilizadas para establecer modelos de predicción con respecto al contenido de N en el arroz, en tres etapas principales de crecimiento (macollamiento, embuchamiento y floración), donde el R^2 obtenido fue desde 0,82 a 0,94 indicando que el modelo obtuvo valores altos. Adicionalmente realizaron la validación del modelo en un segundo conjunto de datos experimentales demostrando que los índices RVI y NDVI tuvieron el RMS más bajo y el R^2 entre 0,55 a 0,70 que fueron los más alto durante las tres etapas de crecimiento (Zhang, Wang, Bailey, & Wang, 2006). El índice que recomiendan para el desarrollo de la panícula, floración y grano lechoso es SAVI (R_{822} , R_{738}) para la estimación de la acumulación de N en las hojas de arroz y trigo (Wang et al., 2012). En otra investigación se evaluó el potencial del sensor activo Crop Circle ACS-470 en las bandas del borde verde, rojo y NIR para estimar el N en arroz en las etapas del desarrollo de panícula, floración y grano lechoso, entre los 43 índices de vegetación evaluados, el MCARI1 realizó la mejor estimación de la absorción de N ($R^2 = 0,83$), además evaluaron cuatro índices basados en el borde rojo (RESAVI, MRESAVI, REDVI y RERDVI) para la concentración de N de planta de arroz, dando como resultado un R^2 donde el más alto fue de 0,33, y ninguno de ellos cumplió satisfactoriamente con la validación usando datos de campo de los agricultores. El autor recomienda que se requiere más estudios para evaluar aún más este sensor para guiar la concentración de N de planta de arroz. (Cao et al., 2013). Por otra parte otro estudio identificó las bandas comunes de ondas sensibles

y los índices de vegetación que indican la acumulación de N en la hojas en tres etapas (desarrollo de panícula, floración y grano maduro), determinando que tanto en trigo como en arroz estaban bien correlacionados con la reflectancia en las bandas de 810 y 870 nm, pero su mejor correlación se obtuvo con los índices RVI (870, 660) y RVI (810, 660) (Zhu, Yao, Tian, Liu, & Cao, 2008). La estimación de índices de nutrición con respecto al N en la atapa del inicio de la panícula en el alargamiento del tallo, encontraron que en un 45% de variabilidad se puede explicar usando directamente el índice $RVI3 = (NIR/R)$ (Huang et al., 2015). Adicionalmente otras investigaciones compararon entre la medición y el modelo de estimación del contenido de N del grano maduro de arroz basado en el infrarrojo cercano (NIR) utilizando la red neuronal artificial (ANN), donde Encontraron que NIR está estrechamente asociado con la estructura de la molécula en la planta. De acuerdo con los resultados del experimento, la ANN se puede utilizar para predecir el contenido de N basado en NIR con un valor RMSE de 0,32 (Afandi et al., 2016). Lo anterior nos indica que se puede tener en cuenta la utilización de otros índices que han dado buenos resultados y buena referencia para la estimación de N en el cultivo de arroz, pero que se requiere seguir investigando para tener mayor soporte en dichas estimaciones.

La estimación oportuna no destructiva del estado del nitrógeno del cultivo (N) es crucial para el manejo de N específico del sitio durante la temporada. Los sensores activos del dosel de cultivo son las herramientas prometedoras para obtener la información necesaria sin verse afectados por las condiciones de luz ambiental. Este estudio evaluó el potencial de utilizar el sensor de dosel verde activo GreenSeeker para estimar el estado del arroz N. Los resultados indicaron que a lo largo de los años 2008 a 2012 en Jiansanjiang y las etapas de crecimiento, NDVI y RVI podrían explicar 73% -76% y 70% -73% de biomasa aérea de arroz y variabilidad de captación de N en este estudio, respectivamente. Sin embargo, el NDVI se saturó cuando la biomasa alcanzó aproximadamente 4 t/ha o la absorción de N en la planta alcanzó aproximadamente 100 kg/ha. Aunque el RVI no mostró un efecto de saturación, su desempeño en la estimación de la biomasa del arroz o la absorción de la planta N no fue consistentemente mejor que el NDVI. Concluyendo que el sensor GreenSeeker tiene algunos potenciales para estimar el estado de N de arroz, pero se necesitan más estudios para evaluar y mejorar su rendimiento en aplicaciones prácticas (Yao et al., 2014).

En un análisis del comportamiento completo del cultivo de arroz el índice mSR fue el que obtuvo la mayor correlación positiva en todas las etapas fenológicas, asimismo los índices RES y $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{650})$, obtuvieron una alta correlación negativa y positiva respectivamente, aunque menor con respecto al índice mSR, los índices de las derivadas como D_{725}/D_{702} , BND y D_{715}/D_{705} obtuvieron al igual una alta correlación en todas las etapas excepto en el desarrollo de la panícula, por lo tanto se debe tener en cuenta en su uso ya que depende del desarrollo del cultivo en el que se encuentre.

Se ha demostrado que en 560 nm fue la mejor longitud de onda para separar las diferencias de tratamiento de N y se correlacionó negativamente con la concentración de N en las hojas para cada fecha de muestreo, y la relación varió con la etapa de crecimiento. Mientras que la mejor relación de ajuste con la acumulación de N en las hojas fue una función de potencia durante toda la temporada de crecimiento, los resultados mostraron que el índice de relación NIR / verde (R_{810} / R_{560}) fue el mejor, se relacionó positivamente con la concentración de N en la hoja para cada etapa de crecimiento individual (Xue et al., 2004). Una comparación completa para seleccionar la combinación de bandas estrechas más influyente (552, 675, 705 y 776 nm) para discriminar las hojas de arroz con cuatro dosis de N, testificaron directamente sobre la viabilidad de estas bandas en lugar de emplear toda la gama de longitudes de onda, en donde no hay pérdida significativa de información, indicando que la combinación de las cuatro bandas tiene una importancia prominente para explicar las características de los datos. Se cree que un pequeño número de bandas estrechas dan acceso a las influencias de las condiciones ambientales y de cultivo, es más eficaz para monitorear y detectar el estado de crecimiento del arroz (Song, Gong, Zhu, & Huang, 2011). Otros estudios demostraron que la nueva técnica (WREP) para extraer la posición de borde rojo (REP) basado en la aplicación de transformada wavelet continua a espectros de reflectancia en cereales (arroz y trigo) obtuvo la mejor precisión de estimación tanto para concentración de clorofila de hoja como para la concentración de clorofila en copa en comparación con las técnicas tradicionales (Li et al., 2017). Otros índices mostraron buenas relaciones con la concentración de N de hojas (LNC) como son los índices de dos bandas: R_{750} / R_{710} , R_{735} / R_{720} , R_{738} / R_{720} y el índice del borde rojo de la diferencia normalizada (NDRE), los índices de tres bandas, el índice normalizado ajustado 705 (mND_{705}), el índice de reflectancia fisiológica c (PRIc), el índice de clorofila terrestre (MTCI) Punto de interpolación lineal (REP_LI). En donde los índices

de tres bandas se comportaron mejor que los índices de dos bandas, con MTCI exhibiendo la mejor relación logarítmica con LNC en el arroz. Adicionalmente los índices de vegetación hiperespectral calculados con dos bandas al azar (λ_1 y λ_2) entre 400 a 2500 nm se relacionaron con LNC de arroz, indicando que la combinación de las bandas de 550-600 nm y 500-550 nm en la región del verde tenían buenas relaciones con LNC, y el índice de relación simple SR (533, 565) obtuvo el mejor en todos los índices de dos bandas, similar a los índices de tres bandas (Tian et al., 2011).

Por otro lado la relación del área del borde rojo inferior a 718 nm en trigo (*Triticum aestivum* L.) en todo el área del borde rojo se correlacionó negativamente con concentración de clorofila en hojas. Este hallazgo permitió la construcción de un nuevo parámetro de borde rojo, definido como simetría de borde rojo (RES). En comparación con los parámetros de borde rojo comúnmente utilizados (posición de borde rojo, amplitud de borde rojo y área de borde rojo), RES fue un mejor predictor de contenido de clorofila en hojas. (Ju et al., 2010). En avena (*Avena fatua*), se obtuvo buenas correlaciones con el índice mSR mejorando significativamente las correlaciones con el contenido de clorofila. El contenido de pigmentos foliares puede aportar información valiosa sobre el rendimiento fisiológico de las hojas. En este estudio se desarrolló índices espectrales para la predicción del contenido de pigmentos foliares que son relativamente insensibles a las especies y la variación de la estructura de la hoja y por lo tanto podría ser aplicado en mayor escala de teledetección sin estudios de calibración extensa. Adicionalmente se cuantificó el grado de interferencia espectral entre pigmentos cuando múltiples pigmentos ocurren dentro del mismo tejido foliar (Sims & Gamon, 2002).

De acuerdo a las investigaciones realizadas se puede señalar que los índices mSR y RES son prometedores como técnicas prácticas y utilizable para la estimación de contenido de clorofila y N en todas las etapas fenológicas para el cultivo de arroz con la variedad de Fedearroz – 67, aunque esto no indica que otros índices como $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{650})$, D_{725}/D_{702} , BND y D_{715}/D_{705} que presentaron buenas correlaciones no sean óptimos para estas estimaciones. Por lo anterior se requiere seguir investigando para lograr mejores resultados.

5.8 Rendimiento del cultivo

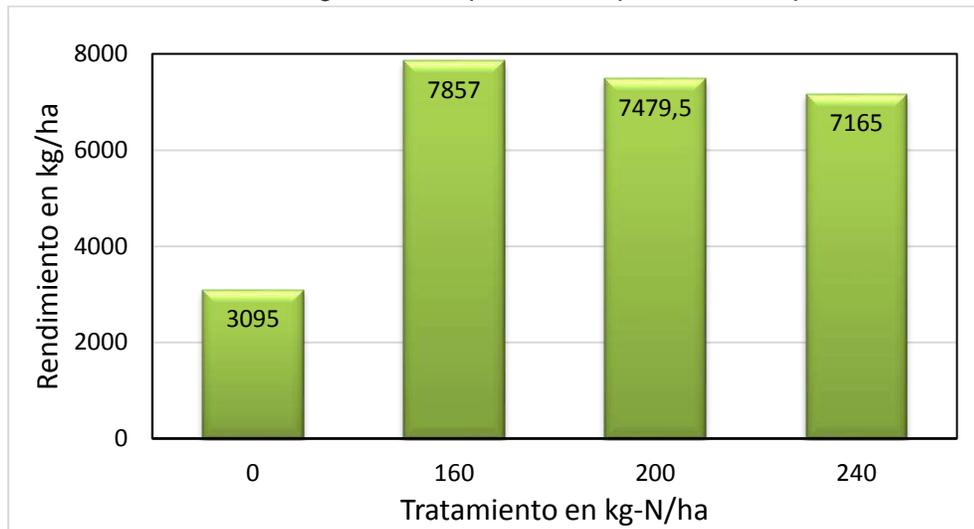
La cosecha se realizó en el momento que el grano tuviera un valor del 14 % de humedad. En la Figura 5-62 y la Tabla 5-25, se observa el comportamiento del rendimiento de las parcelas por tratamiento, dando como resultado que los tratamientos de 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha no presentaron una alta diferencia en su producción, a comparación que el tratamiento de 0 kg-N/ha. En las parcelas de esta investigación se obtuvieron eficiencias altas, logrando suplir el requerimiento del cultivo con menos concentración N, ya que fue mínima la pérdida y en las dosis de concentración más alta se observó que la planta logra tomar el N que requiere, pero esto no representa mayor rendimiento, en ocasiones puede generar problemas fitosanitarios. Igualmente, los análisis de suelo son aproximaciones de lo que se tiene, no son valores perfectos y con base en ellos se diseña el plan nutricional. Además el manejo óptimo de las parcelas se puede realizar de una manera adecuada por el tamaño que estas tiene, otro panorama sería en parcelas de producción para comercio de gran tamaño, donde son mayores las pérdida de nutrientes en la fertilización y esto puede ser reflejadas en la producción.

Los resultados de la estadística descriptiva (anexo A) muestra el comportamiento que presenta el rendimiento por tratamiento. El tratamiento de mayor coeficiente de variación (CV) fue el de 0 kg-N/ha con un valor de 23, es una calificación que permite a los usuarios evaluar la calidad estadística de las estimaciones, se calcula para observar la dispersión de los datos en relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, a medida CV sea mayor los valores de las variables serán más heterogeneidad y a menor CV mayor homogeneidad.

Tabla 5-25: Rendimiento en kg/ha de las parcelas experimentales por tratamiento.

| Tratamiento kg-N/ha | Rendimiento kg/ha |
|---------------------|-------------------|
| 0 | 3095 |
| 160 | 7857 |
| 200 | 7479,5 |
| 240 | 7165 |

En la Tabla 5-26 se muestra el resumen del análisis de varianza (ANOVA por suma de cuadrado), para determinar si hubo diferencia significativa entre los rendimientos por cada tratamiento, la tabla completa se encuentra en el anexo B. Los resultados presentaron diferencia significativa entre tratamiento con un 95% de nivel de confianza.

Figura 5-62: Rendimiento en kg/ha de las parcelas experimentales por tratamiento.

En la Tabla 5-27 muestra los resultados de la prueba LSD, indicando que los pares que muestran una diferencia significativa estadísticamente con un nivel de confianza del 95 % corresponden a los valores que están acompañados con un asterisco.

Tabla 5-26: Resumen del ANOVA para rendimiento

| Variable | Razón - P |
|-------------|---------------|
| Rendimiento | 0,0000 |

Tabla 5-27: Prueba de múltiples rangos por tratamiento por medio del método LSD, para el rendimiento.

| Variable | Tratamiento | | | | | |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 - 160 | 0 - 200 | 0 - 240 | 160 - 200 | 160 - 240 | 200 - 240 |
| Rendimiento | -4762,0* | -4384,5* | -4070,0* | 377,5 | 692,0 | 314,5 |

En la Tabla 5-28 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Para posteriores análisis se tuvieron en cuenta los valores superiores a 0,4. Los resultados mostraron que el rendimiento presenta una correlación positiva y altamente significativa con los índices R_{850} - R_{710} / R_{850} - R_{680} , BmSR y D_{715} / D_{705} , y una correlación negativa y altamente significativa con el índice RES.

Tabla 5-28: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el macollamiento (n=96).

| | Rendimiento |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Clorofila A | 0,372** |
| Clorofila B | 0,306** |
| Clorofila Total | 0,364** |
| RES | -0,404** |
| PPR | -0,232* |
| DDI | 0,365** |
| TACRI | -0,282** |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0,216* |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | -0,220* |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,348** |
| R ₈₅₀ -R ₇₁₀ /R ₈₅₀ -R ₆₈₀ | 0,404** |
| mSR | 0,353** |
| Red/Green | 0,176 |
| NPQI | 0,183 |
| OCAR | -0,232* |
| YCAR | -0,222* |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,394** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,399** |
| BND | 0,393** |
| BmSR | 0,401** |
| BmND | 0,394** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,399** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,400** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-63 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueron altamente significativas (Tabla 5-28). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R², dando como resultado que para todas las variables la regresión utilizada frente a la variable de rendimiento fue la polinómica – 3°.

Los índices evaluados en las regresiones obtuvieron un R² que fluctuó entre 0,17 y 0,21 demostrando la baja representatividad del modelo, lo que supone que no se explica muy bien la variación total de las variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de macollamiento, ningún índice evaluado tiene la bondad de lograr representar la estimación ya que su R² es bajo, aunque R₈₅₀-R₇₁₀/R₈₅₀-R₆₈₀ en esta investigación fue el que mejor obtuvo resultados.

En la Tabla 5-29 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que obtuvieron diferencia significativa en el análisis de varianza. Para posteriores análisis

se tuvo en cuenta los valores que fueron superiores a 0,86. Los resultados mostraron con una correlación positiva y altamente significativa los índices NDVI2, NDRE2, BND y BmND, y una correlación negativa y altamente significativa los índices R_{710}/R_{760} y D_{705}/D_{722} .

Figura 5-63: (A, B, C y D) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índices RES, $R_{850}-R_{710}/R_{850}-R_{680}$, BmSR y D_{715}/D_{705} .

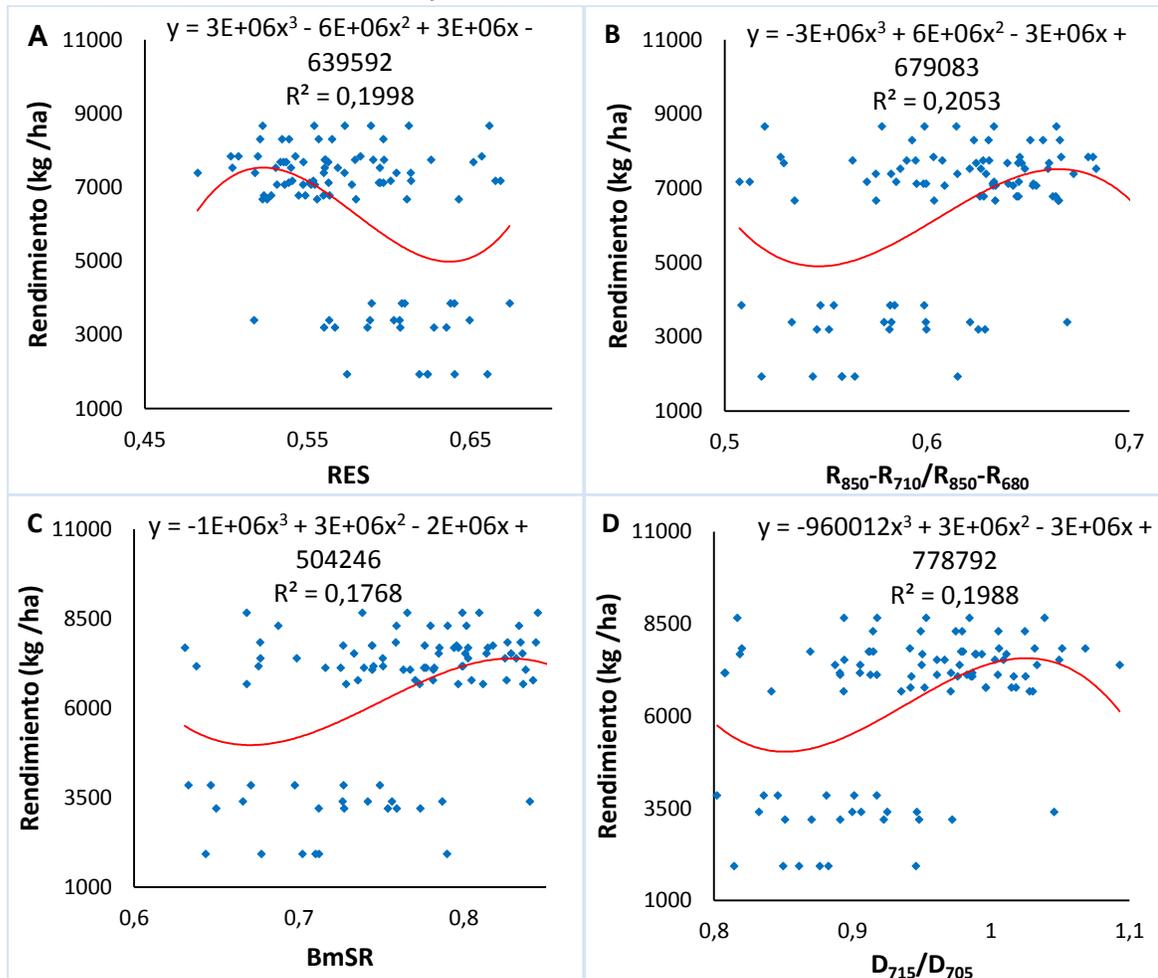


Tabla 5-29: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el máximo macollamiento (n=192).

| | Rendimiento |
|-----------------|----------------|
| Clorofila A | 0,651** |
| Clorofila B | 0,493** |
| Clorofila Total | 0,651** |
| RES | -0,853** |
| NDVI1 | 0,786** |
| NDVI2 | 0,864** |
| GNDVI | 0,859** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-29: (Continuación).

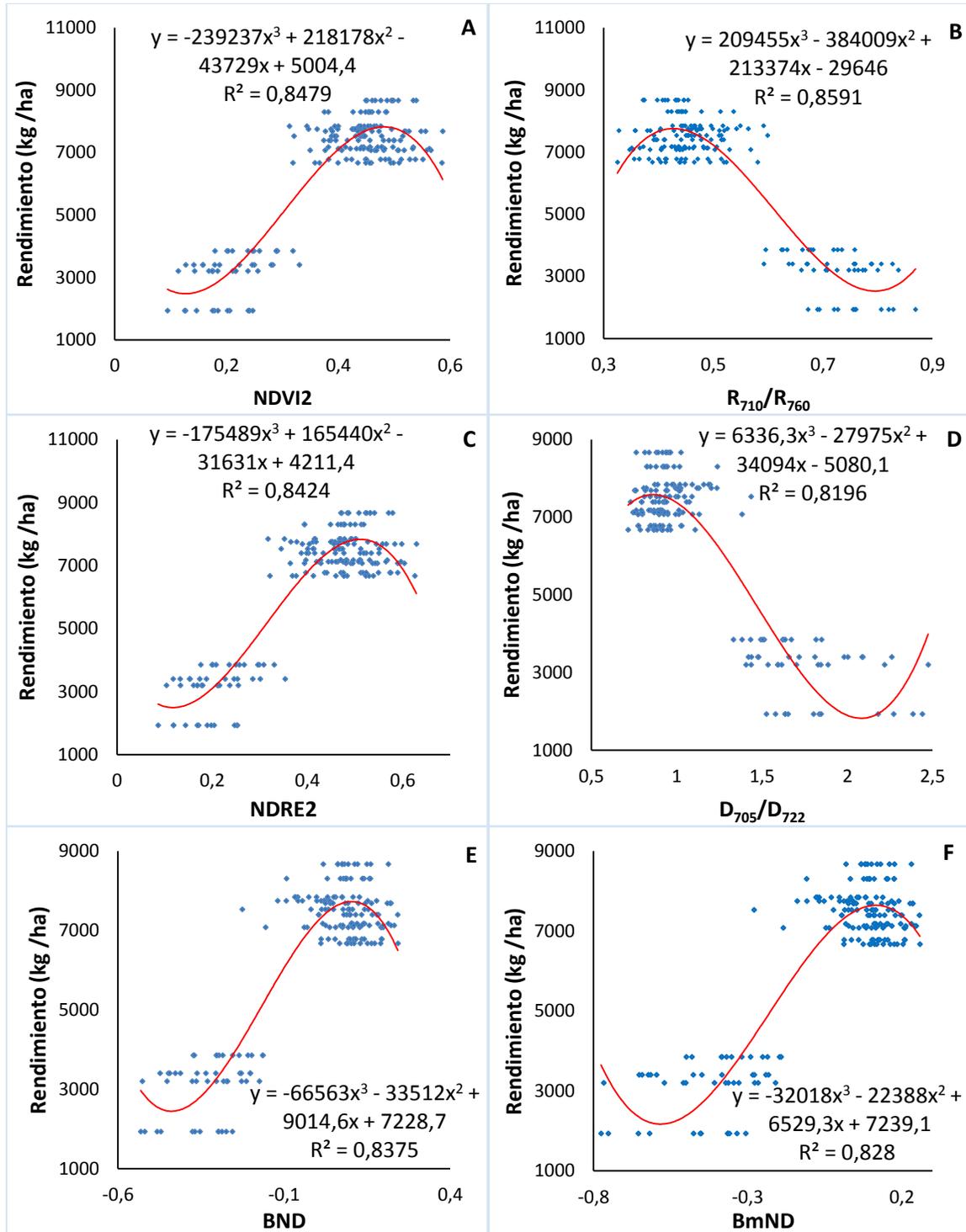
| | Rendimiento |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| PPR | 0,379** |
| PRI | 0,794** |
| SIPI | -0,616** |
| REArea | 0,746** |
| DDI | 0,854** |
| TACRI | -0,383** |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,342** |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,828** |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,878** |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | -0,856** |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,222** |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,797** |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,718** |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,619** |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,858** |
| NDRE1 | 0,846** |
| NDRE2 | 0,860** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,826** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,803** |
| mSR | 0,788** |
| SR ₆₈₀ | 0,632** |
| SR ₇₀₅ | 0,797** |
| mND | 0,839** |
| Red/Green | -0,523** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,811** |
| PSSR _a | 0,632** |
| PSSR _b | 0,675** |
| PSND _a | 0,786** |
| PSND _b | 0,842** |
| NPCI | -0,089 |
| SRPI | 0,099 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,859** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,780** |
| NPQI | 0,043 |
| OCAR | -0,177* |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,863** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,813** |
| BND | 0,860** |
| BmSR | 0,843** |
| BmND | 0,861** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,711** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,850** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-64 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueron altamente significativas (Tabla 5-29). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que obtuvo el más alto valor de R²,

dando como resultado que para todas las variable la regresión utilizada frente a la variable de rendimiento fue la polinómica – 3°.

Figura 5-64: (A, B, C, D, E y F) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice NDVI2, R_{710}/R_{760} , NDRE2, D_{705}/D_{722} , BND, BmND.



Todos los índices evaluados obtuvieron una relación muy similar, donde el coeficiente tiende a ser alto para la estimación del rendimiento, con un valor de R^2 entre 0,82 y 0,86, revelando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables, por lo anterior se dice que el índice que mejor estima el rendimiento en la etapa fenológica de máximo macollamiento es el R_{710}/R_{760} , ya que obtuvo el mayor coeficiente R^2 con un valor de 0,856.

En la Tabla 5-30 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Para posteriores análisis se tuvo en cuenta los valores superiores a 0,83. Los resultados mostraron una correlación positiva y altamente significativa con los índices $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, $R_{800}-R_{550}$ y una correlación negativa y altamente significativa con los índices RES, SIPI, R_{710}/R_{760} , y R_{695}/R_{760} .

Tabla 5-30: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el desarrollo de la panícula. (n=192).

| | Rendimiento |
|---------------------------------------|-----------------|
| Clorofila A | 0,443** |
| Clorofila B | 0,177* |
| Clorofila Total | 0,563** |
| Nitrógeno | 0,708** |
| RES | -0,831** |
| NDVI1 | 0,768** |
| NDVI2 | 0,807** |
| GNDVI | 0,805** |
| PPR | 0,405** |
| PRI | 0,782** |
| SIPI | -0,835** |
| REArea | 0,805** |
| DDI | 0,818** |
| TACRI | -0,180* |
| R_{675}/R_{700} | -0,443** |
| R_{740}/R_{720} | 0,770** |
| R_{710}/R_{760} | -0,834** |
| R_{695}/R_{760} | -0,830** |
| R_{695}/R_{670} | 0,319** |
| R_{750}/R_{705} | 0,718** |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,601** |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,546** |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | 0,841** |
| NDRE1 | 0,795** |
| NDRE2 | 0,802** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-30: (Continuación)

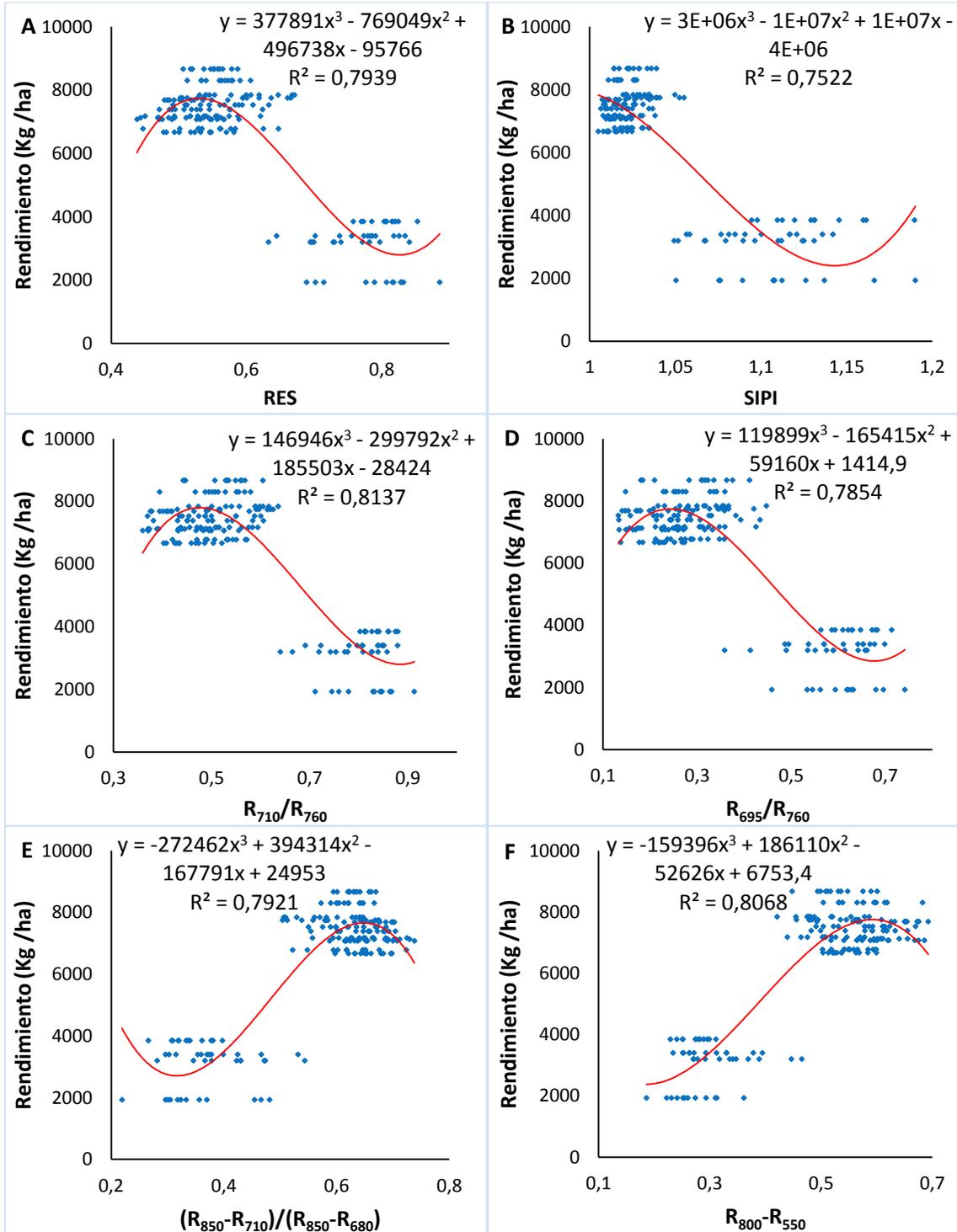
| | Rendimiento |
|------------------------------------|----------------|
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 0,765** |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 0,730** |
| mSR | 0,773** |
| SR ₆₈₀ | 0,536** |
| SR ₇₀₅ | 0,718** |
| mND | 0,788** |
| PSRI | -0,434** |
| Red/Green | -0,585** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,799** |
| PSSR _a | 0,536** |
| PSSR _b | 0,559** |
| PSND _a | 0,768** |
| PSND _b | 0,797** |
| NPCI | -0,401** |
| SRPI | 0,404** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,848** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,689** |
| NPQI | 0,149* |
| YCAR | 0,209** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,585** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,561** |
| BND | 0,587** |
| BmSR | 0,569** |
| BmND | 0,575** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,523** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,580** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-65 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueron altamente significativas (Tabla 5-30). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que tuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para todas las variables la regresión de mayor ajuste fue la polinómica – 3° con respecto al rendimiento.

Todos los índices evaluados en las regresiones obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,75 y 0,82 indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico del desarrollo de la panícula, el índice R_{710}/R_{760} puede ser el más útil para estimar el rendimiento.

Figura 5-65: (A, B, C, D, E y F) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice RES, SIPI, R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ y $R_{800}-R_{550}$



En la Tabla 5-31 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados

mostraron que las variables clorofila A, clorofila total, N, RES, NDVI2, GNDVI, PRI, DDI, R_{740}/R_{720} , R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, NDRE1, NDRE2, mSR, mND, PSND_b, $R_{800}-R_{550}$, D_{705}/D_{722} , D_{725}/D_{702} , BND, BmSR, BmND, D_{715}/D_{705} presenta un alta correlación. Para posteriores análisis se escogieron los valores superiores a 0.86, en donde se presentó una correlación positiva y altamente significativa con los índices de N, DDI, $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, BND, BmND y una correlación negativa y altamente significativa con los índices RES y D_{705}/D_{722} .

Tabla 5-31: Coeficiente de correlación para el rendimiento en la floración (n=192).

| | Rendimiento |
|---------------------------------------|-----------------|
| Clorofila A | 0,814** |
| Clorofila B | 0,756** |
| Clorofila Total | 0,808** |
| Nitrógeno | 0,881** |
| RES | -0,863** |
| NDVI1 | 0,783** |
| NDVI2 | 0,831** |
| GNDVI | 0,822** |
| PPR | 0,518** |
| PRI | 0,802** |
| SIPI | -0,761** |
| REArea | 0,792** |
| DDI | 0,860** |
| TACRI | -0,139 |
| R_{675}/R_{700} | -0,560** |
| R_{740}/R_{720} | 0,803** |
| R_{710}/R_{760} | -0,852** |
| R_{695}/R_{760} | -0,829** |
| R_{695}/R_{670} | 0,471** |
| R_{750}/R_{705} | 0,751** |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,645** |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,624** |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | 0,867** |
| NDRE1 | 0,827** |
| NDRE2 | 0,828** |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 0,796** |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 0,764** |
| mSR | 0,819** |
| SR ₆₈₀ | 0,613** |
| SR ₇₀₅ | 0,751** |
| mND | 0,802** |
| Red/Green | -0,657** |
| R_{550}/R_{800} | -0,793** |
| PSSR _a | 0,613** |
| PSSR _b | 0,621** |
| PSND _a | 0,783** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-31: (Continuación).

| | Rendimiento |
|------------------------------------|-----------------|
| PSND _b | 0,812** |
| NPCI | -0,479** |
| SRPI | 0,481** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,850** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,719** |
| NPQI | 0,237** |
| OCAR | 0,139 |
| YCAR | 0,352** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,862** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,823** |
| BND | 0,868** |
| BmSR | 0,850** |
| BmND | 0,860** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,743** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,853** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

La Figura 5-66 y Figura 5-67 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativa (Tabla 5-31). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que tuvo el más alto valor de R², dando como resultado que para todas las variables las regresiones de mayor ajuste fue la polinómica – 3°

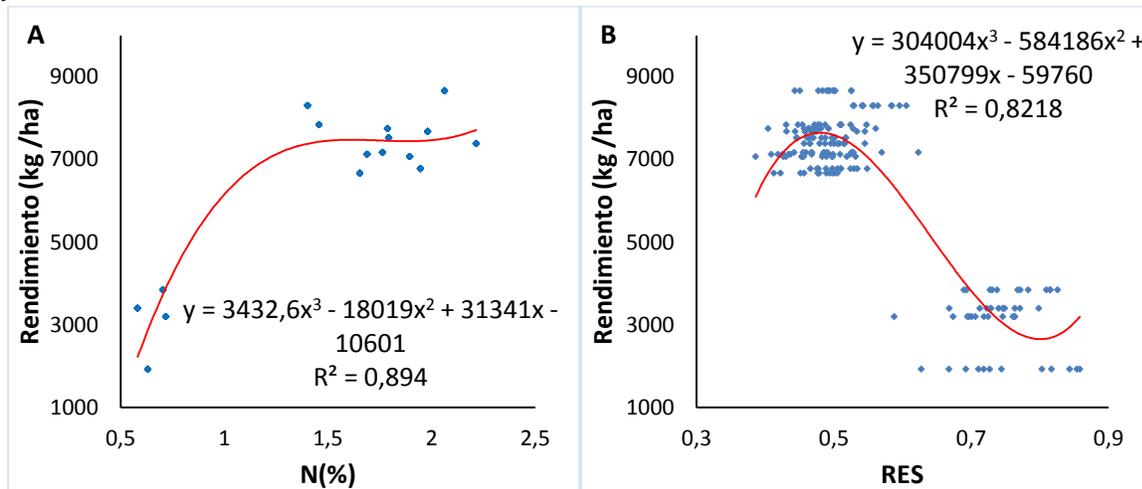
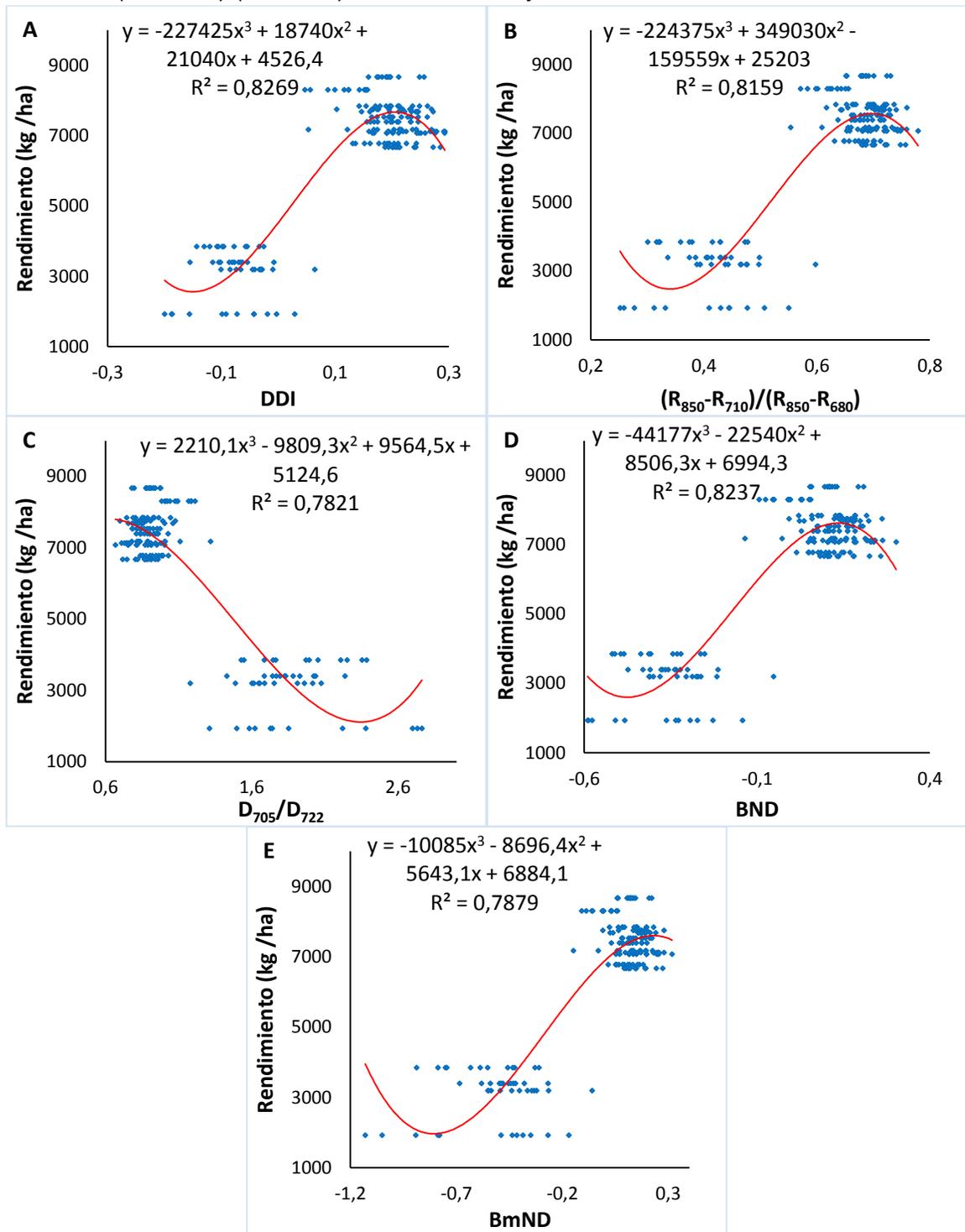
Figura 5-66: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice nitrógeno y RES

Figura 5-67: (A, B, C, D y E) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice SIPI, DDI, $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, D_{705}/D_{722} , BND y BmND



Los índices evaluados en las regresiones obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,78 y 0,90 indicando un coeficiente alto Y que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es

cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de floración, el N y DDI puede ser los más útiles para estimar el rendimiento.

En la Tabla 5-32 se presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que obtuvieron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que las variables RES, NDVI1, NDVI2, GNDVI, REArea, DDI, R_{710}/R_{760} , R_{695}/R_{760} , $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$, NDRE1, NDRE2, $(R_{790}/R_{695-740})-1$, mND, R_{550}/R_{800} , PSNDa, PSNDb, $R_{800}-R_{550}$, D_{705}/D_{722} , BND, BmSR, BmND, D_{715}/D_{705} presenta un alta correlación. Para posteriores análisis se escogieron los valores superiores a 0,85, presentan una correlación positiva y altamente significativa con los índices $R_{800}-R_{550}$, BmSR, BmND, y una correlación negativa y altamente significativa con el índice D_{705}/D_{722} .

Tabla 5-32: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el grano lechoso (n=96).

| | Rendimiento |
|---------------------------------------|-------------|
| Clorofila A | 0,664** |
| Clorofila B | 0,679** |
| Clorofila Total | 0,682** |
| RES | -0,837** |
| NDVI1 | 0,815** |
| NDVI2 | 0,834** |
| GNDVI | 0,844** |
| PPR | 0,635** |
| PRI | 0,765** |
| SIPI | -0,716** |
| REArea | 0,802** |
| DDI | 0,824** |
| TACRI | 0,314** |
| R_{675}/R_{700} | -0,695** |
| R_{740}/R_{720} | 0,797** |
| R_{710}/R_{760} | -0,849** |
| R_{695}/R_{760} | -0,841** |
| R_{695}/R_{670} | 0,608** |
| R_{750}/R_{705} | 0,767** |
| $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,678** |
| $R_{672}/(R_{550} * R_{708})$ | 0,262** |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | 0,849** |
| NDRE1 | 0,818** |
| NDRE2 | 0,836** |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | 0,800** |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | 0,780** |
| mSR | 0,769** |
| SR ₆₈₀ | 0,698** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-32: (Continuación)

| | Rendimiento |
|------------------------------------|-----------------|
| SR ₇₀₅ | 0,767** |
| mND | 0,830** |
| PSRI | -0,281** |
| Red/Green | -0,718** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,824** |
| PSSR _a | 0,698** |
| PSSR _b | 0,704** |
| PSND _a | 0,815** |
| PSND _b | 0,836** |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,859** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,755** |
| NPQI | 0,198 |
| OCAR | 0,365** |
| YCAR | 0,469** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,872** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,786** |
| BND | 0,845** |
| BmSR | 0,868** |
| BmND | 0,854** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,680** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,830** |

*. La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

La Figura 5-68 muestra las regresiones que se realizaron a cada variable que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueran altamente significativa (Tabla 5-32). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que tuvo el más alto valor de R^2 , dando como resultado que para todas las variables la regresión de mayor ajuste fue la polinómica – 3°

Todos los índices evaluados en las regresiones obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,81 y 0,87 indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico de grano lechoso, el índice D₇₀₅/D₇₂₂ puede ser el más útil para estimar el rendimiento.

En la Tabla 5-33 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables que obtuvieron diferencia significativa en el análisis de varianza. Los resultados mostraron que las variables NDVI1, REArea, R₆₇₅/R₇₀₀, mND, R₅₅₀/R₈₀₀, PSND_a, R₈₀₀-R₅₅₀, presenta una alta correlación. Para posteriores análisis se tuvieron en cuenta los valores que fueran superiores a 0,84, por lo anterior con correlación positiva y altamente

significativa se trabajó con los índices NDVI1, PSNDa, $R_{800}-R_{550}$. y correlación negativa y altamente significativa con los índices R_{675}/R_{700} y R_{550}/R_{800} .

Figura 5-68: (A, B, C y D) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice $R_{800}-R_{550}$, D_{705}/D_{722} , BmSR, BmND

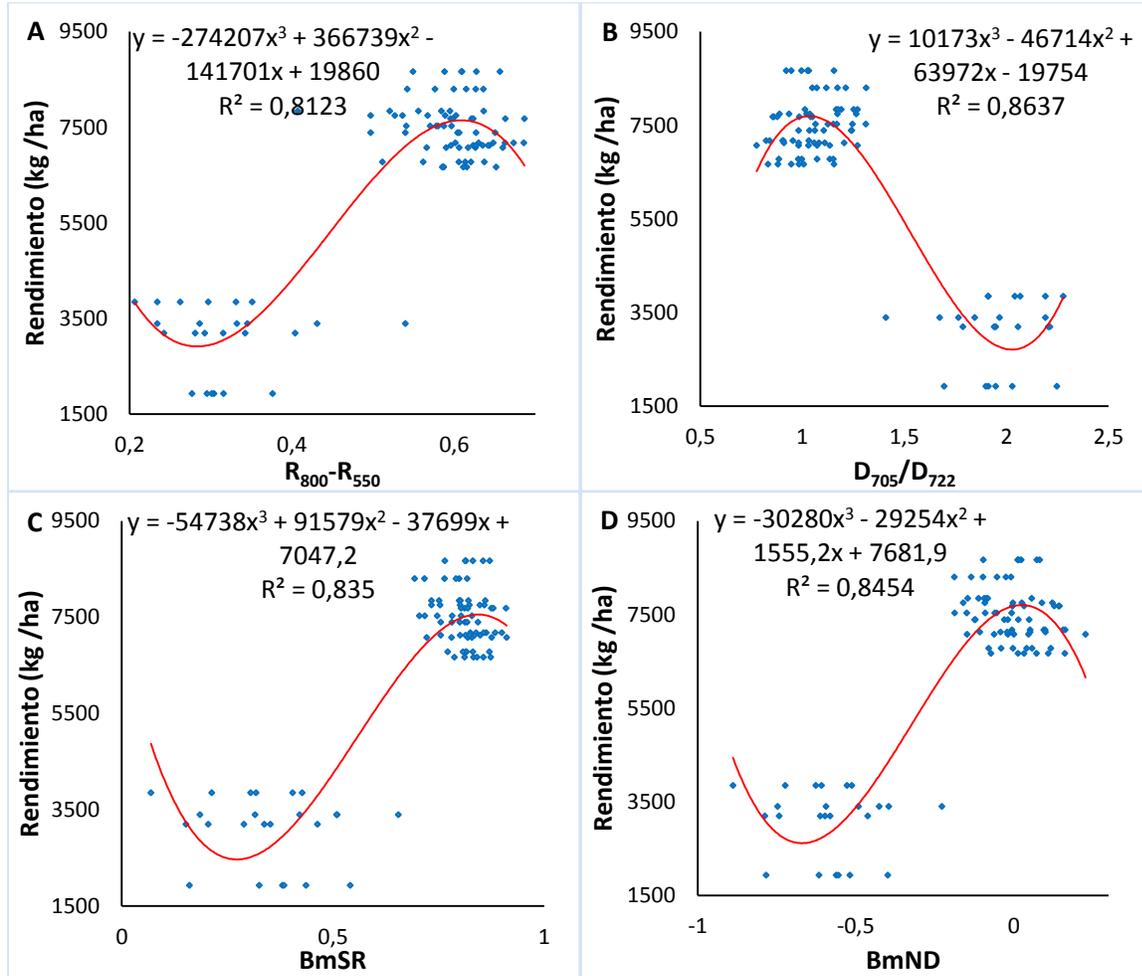


Tabla 5-33: Coeficiente de correlación para el rendimiento en el grano maduro (n=96).

| | Rendimiento |
|-----------------|----------------|
| Clorofila A | 0,288** |
| Clorofila B | 0,247* |
| Clorofila Total | 0,281** |
| RES | -0,543** |
| NDVI1 | 0,845** |
| NDVI2 | 0,686** |
| GNDVI | 0,827** |
| PPR | 0,781** |
| PRI | -0,251* |

La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

Tabla 5-33: (Continuación)

| | Rendimiento |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| SIPI | -0,734** |
| REArea | 0,833** |
| DDI | 0,281** |
| TACRI | 0,702** |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | -0,854** |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0,605** |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | -0,699** |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | -0,795** |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0,779** |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0,606** |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0,622** |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | -0,364** |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0,574** |
| NDRE2 | 0,707** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0,657** |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0,652** |
| mSR | 0,500** |
| SR ₆₈₀ | 0,702** |
| SR ₇₀₅ | 0,606** |
| mND | 0,826** |
| PSRI | -0,457** |
| Red/Green | -0,611** |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | -0,868** |
| PSSR _a | 0,702** |
| PSSR _b | 0,645** |
| PSND _a | 0,845** |
| PSND _b | 0,798** |
| NPCI | 0,209* |
| SRPI | -0,200 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0,845** |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0,735** |
| NPQI | 0,154 |
| OCAR | 0,736** |
| YCAR | 0,749** |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | -0,607** |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0,466** |
| BND | 0,535** |
| BmSR | 0,726** |
| BmND | 0,646** |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0,372** |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0,529** |

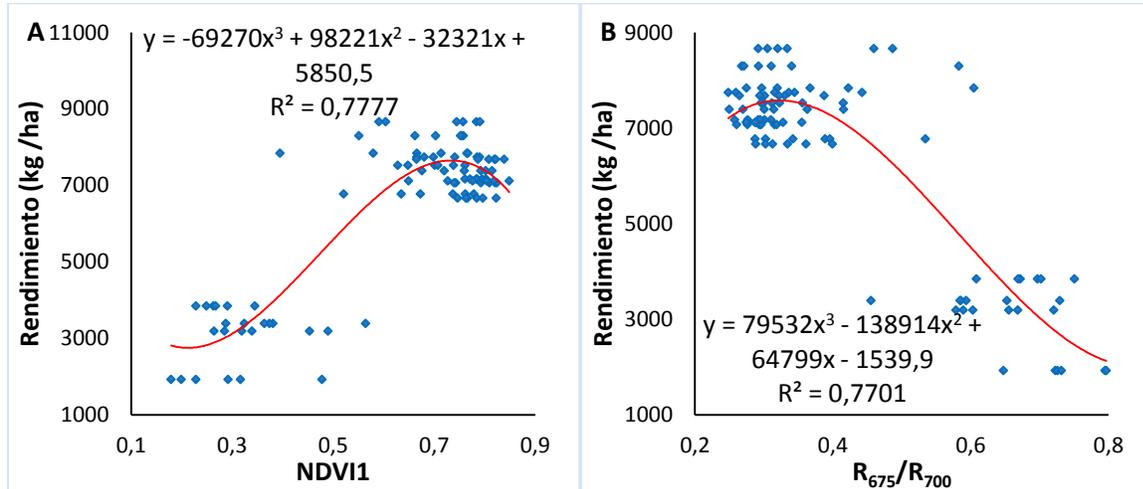
La correlación es significativa con el 0,05 y **. La correlación es significativa con el 0,01

En la Figura 5-69 y Figura 5-70 se observan las regresiones para las variables que obtuvieron las más altas correlaciones y que fueron altamente significativas (Tabla 5-33). Se evaluaron seis modelos de regresión (lineal y no lineal), escogiendo el que tuvo el más alto valor de R², dando como resultado que para todas las variables la regresión de mayor ajuste fue la polinómica - 3°.

Los índices evaluados obtuvieron un R^2 que osciló entre 0,77 y 0,81 indicando que el ajuste del modelo es bueno ya que el valor es cercano a 1, además se puede decir que es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables. Por lo anterior se señala que para el estado fenológico del grano maduro, el índice $R_{800}-R_{550}$ puede ser útil para estimar el rendimiento.

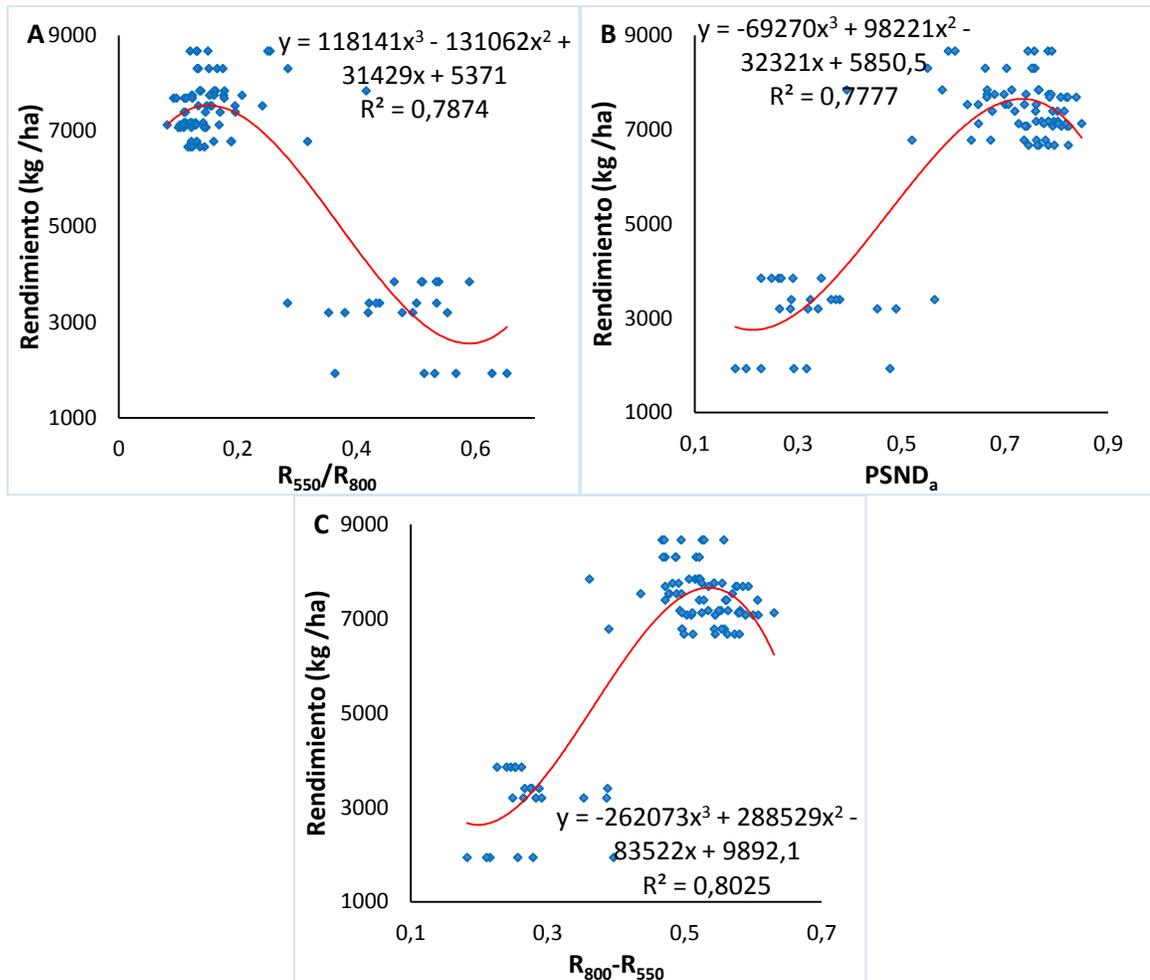
Independientemente cada etapa fenológica obtuvo un índice que puede ser más útil para la estimación del rendimiento, cuando se observa el comportamiento de los índices como una sola unidad de cultivo, se observa que ningún índice correlaciona en todas las etapas, donde algunos no presentan un buen comportamiento en el macollamiento y en el grano maduro, de acuerdo a lo anterior los índices que obtuvieron un alta correlación despreciando la etapa de macollamiento fueron los índices GNDVI y R_{695}/R_{760} , y los índices que obtuvieron un alta correlación despreciando la etapa del grano maduro fueron los índices RES, DDI y $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$.

Figura 5-69: (A y B) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice NDVI1 y R_{675}/R_{700}



Según estudios realizados en otra investigaciones mostró que el uso de los índices NIR/RED y NIR/GRN, derivados de los espectros de reflectancia de la cresta, medidos en la etapa del desarrollo de la panícula, estaba altamente correlacionado con el rendimiento de grano (Chang et al., 2005).

Figura 5-70: (A, B y C) Regresión polinómica – 3° entre el rendimiento y los índice R_{550}/R_{800} , $PSND_a$ y $R_{800}-R_{550}$



La aplicación de métodos de fenotipo de alto rendimiento basados en el campo para monitorear el rendimiento de la planta en condiciones reales, tiene un alto potencial para acelerar el proceso de mejoramiento. De las seis etapas fenológicas del arroz analizadas, la etapa de grano lechoso fue la más útil en la estimación del rendimiento en condiciones de campo. Se encontró una alta correlación entre varios índices de vegetación (RS), índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de vegetación transformada (IPV), índice de vegetación transformada (CTVI), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) y suelo modificado (MSAVI) (Naito et al., 2017).

Otra investigación evaluó la utilidad de imágenes multispectrales de un vuelo comercial (bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano) para estimar el rendimiento de un cultivo de arroz inundado, en el que se dispone de parcelas fertilizadas con purín porcino y N mineral

en distintas dosis. Los coeficientes de determinación más elevados se obtuvieron con la banda del verde ($R^2= 0,74$) y el índice GNDVI ($R^2= 0,79$). Estos resultados indican que esta técnica tiene potencial como herramienta para estimar el rendimiento y podría usarse para el ajuste de la fertilización nitrogenada en cultivo de arroz (Moreno-García et al., 2013).

En base a estudios realizados se puede señalar que el índice GNDVI puede ser el más útil para la estimación del rendimiento durante el desarrollo temprano del cultivo y la floración. Sin embargo, cabe señalar que los demás índices de predicción pueden ser usados, ya que obtuvieron altas correlaciones en la mayoría de las etapas fenológicas.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se exploraron las regiones del espectro donde el rango del espectro visible y el infrarrojo cercano presentaron las mayores sensibilidades a los cambios por tratamiento de N en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en los seis estados fenológicos, debido que los pigmentos foliares tienen un gran impacto en la reflectancia visible, donde la absorción se debe principalmente a pigmentos de clorofilas y depende de la concentración que este posea, se define que la absorbancia se realiza en la parte azul (cerca de 450 nm) o roja (cerca de 675 nm) y la reflectancia en la región de longitud de onda alrededor de 550 nm, además en el rango de infrarrojo cercano adquiere gran influencia la estructura celular de la planta.

Se encontró la mayor reflectancia en el estado fenológico de macollamiento por la deficiencia de N, debido que los pigmentos en las hojas absorben débilmente la luz en la región de la radiación fotosintéticamente activa y menor en las etapas de máximo macollamiento, floración y grano lechoso, debido que el arroz absorbe activamente N para aprovecharlos en la síntesis de proteínas y producción de macollas, además a la alta cantidad de N que requiere para el desarrollo del crecimiento y producción.

Se estableció la relación entre contenido de clorofila, contenido de N y los índices espectrales a partir de los cálculos de ANOVAS multifactorial, prueba de LSD, correlación de Pearson y regresiones lineal y no lineal, permitiendo identificar los índice que pueden ser los mejores estimadores de N y clorofila en cada etapa fenológica a partir del R^2 más alto del modelo. De acuerdo a lo anterior los más apropiados son el DDI para el macollamiento, $R_{860}/(R_{550} * R_{708})$ para el máximo macollamiento, GNDVI para el desarrollo de la panícula, NDVI2 para la floración, NDRE1 para el grano lechoso y D_{725}/D_{702} para la el grano maduro para la estimación del contenido de clorofila total y NDRE1 para el desarrollo de la panícula, DDI para la floración en la estimación del contenido de N. Por lo

anterior para hacer las estimaciones de N y clorofila, se debe tener en cuenta el estado fenológico del cultivo, además estos índices manejan la reflectancia en la franja de transición entre el rango visible (rojo) y el rango del infrarrojo cercano (NIR) conocida con el nombre de la región del *red edge*.

En un análisis del comportamiento completo del cultivo de arroz el índice mSR fue el que obtuvo la mayor correlación positiva en todas las etapas fenológicas, asimismo los índices RES y $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{650})$, obtuvieron una alta correlación negativa y positiva respectivamente, aunque menor con respecto al índice mSR, los índices de las derivadas como D_{725}/D_{702} , BND y D_{715}/D_{705} obtuvieron al igual una alta correlación en todas las etapas excepto en el desarrollo de la panícula, por lo tanto se debe tener en cuenta en su uso ya que depende del desarrollo del cultivo en el que se encuentre.

La mayoría de los índices presentaron diferencias significativas en los tratamientos, con diferenciación clara del testigo respecto de las dosis 160, 200 y 240 kg/ha de N, pero con poca o ninguna diferenciación entre 160 y 200 en las primeras etapas fenológicas así como poca o ninguna diferenciación para 200 y 240 en las etapas fenológicas finales.

El rendimiento de las parcelas entre los tratamientos de 160 kg-N/ha, 200 kg-N/ha y 240 kg-N/ha no presentaron diferencias significativas, pero sí con el tratamiento de 0 kg-N/ha, lo que permite la elección de la dosis inferior.

De los índices evaluado los más apropiados para la estimación del rendimiento es el R_{710}/R_{760} para el máximo macollamiento y desarrollo de la panícula, N y DDI para el para la floración, D_{705}/D_{722} para el grano lechoso y $R_{800}-R_{500}$ para la el grano maduro. Cuando se observa el comportamiento de los índices como una sola unidad de cultivo, ningún índice correlaciona en todas las etapas, algunos no presentan un buen comportamiento en el macollamiento y en el grano maduro, de acuerdo a lo anterior los índices que obtuvieron un alta correlación despreciando la etapa de macollamiento fueron los índices GNDVI y R_{695}/R_{760} , y los índices que obtuvieron un alta correlación despreciando la etapa del grano maduro fueron los índices RES, DDI y $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$.

Por lo anterior, es posible analizar datos de sensores remotos y precisar acerca de las coberturas vegetales, gracias a sus respuestas espectrales por medio de índices como una forma indirecta de medir variables biofísicas con base en datos de reflectancia indicando gran importancia en su uso.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda probar la metodología con la misma variedad de arroz, con las variantes que el tamaño de las parcelas experimentales tenga un tamaño superior a 30 m², con el fin de poder realizar una óptima validación con imágenes satelitales y que se establezca en otro periodo del año.

Desarrollar un modelo de superficie de respuesta para optimizar las dosis a investigar, para encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre las variables de respuesta y la cantidad de nitrógeno aplicar en cada parcela.

El tamaño de las parcelas de estudio y el tiempo de conducción del mismo, pudieran no mostrar las diferencias entre las dosis de N, por lo que sería importante probar las mismas dosis en varios ciclos y en tamaños de parcela variante para estudiar el comportamiento de las dosis en estas condiciones.

A. Anexo: Estadística descriptiva de cada etapa fenológica

Estadísticas descriptivas para el macollamiento.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|------------|-------|---------|----------|---------------------|--------|-------|-------------|
| RES | 0 | 0,609 | 0,609 | 0,001 | 0,036 | 0,517 | 0,674 | 17,8 |
| | 160 | 0,560 | 0,560 | 0,001 | 0,039 | 0,503 | 0,657 | 15,5 |
| | 200 | 0,559 | 0,554 | 0,001 | 0,038 | 0,482 | 0,661 | 21,0 |
| | 240 | 0,578 | 0,563 | 0,002 | 0,045 | 0,522 | 0,668 | 15,3 |
| NDVI1 | 0 | 0,425 | 0,405 | 0,011 | 0,104 | 0,254 | 0,663 | 17,3 |
| | 160 | 0,407 | 0,417 | 0,007 | 0,083 | 0,256 | 0,550 | 15,2 |
| | 200 | 0,379 | 0,349 | 0,009 | 0,095 | 0,256 | 0,582 | 22,1 |
| | 240 | 0,431 | 0,417 | 0,014 | 0,120 | 0,261 | 0,670 | 15,4 |
| NDVI2 | 0 | 0,234 | 0,224 | 0,003 | 0,054 | 0,138 | 0,328 | 17,1 |
| | 160 | 0,243 | 0,249 | 0,002 | 0,048 | 0,147 | 0,335 | 15,2 |
| | 200 | 0,228 | 0,213 | 0,003 | 0,058 | 0,157 | 0,363 | 21,0 |
| | 240 | 0,248 | 0,248 | 0,003 | 0,058 | 0,153 | 0,352 | 14,5 |
| GNDVI | 0 | 0,280 | 0,270 | 0,004 | 0,061 | 0,179 | 0,399 | 5,9 |
| | 160 | 0,284 | 0,290 | 0,003 | 0,054 | 0,181 | 0,376 | 6,9 |
| | 200 | 0,267 | 0,252 | 0,004 | 0,063 | 0,189 | 0,408 | 6,8 |
| | 240 | 0,291 | 0,289 | 0,004 | 0,067 | 0,188 | 0,420 | 7,8 |
| PPR | 0 | 0,157 | 0,139 | 0,004 | 0,063 | 0,080 | 0,341 | 24,4 |
| | 160 | 0,124 | 0,119 | 0,002 | 0,040 | 0,071 | 0,229 | 20,4 |
| | 200 | 0,113 | 0,107 | 0,001 | 0,037 | 0,057 | 0,199 | 25,2 |
| | 240 | 0,150 | 0,148 | 0,005 | 0,073 | 0,073 | 0,334 | 27,9 |
| PRI | 0 | 0,002 | 0,002 | 0,000 | 0,004 | -0,005 | 0,012 | 22,9 |
| | 160 | 0,004 | 0,004 | 0,000 | 0,004 | -0,003 | 0,013 | 19,9 |
| | 200 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 0,005 | -0,003 | 0,016 | 25,5 |
| | 240 | 0,004 | 0,003 | 0,000 | 0,004 | -0,003 | 0,013 | 23,6 |
| SIPI | 0 | 1,012 | 1,007 | 0,001 | 0,025 | 0,982 | 1,094 | 21,7 |
| | 160 | 1,006 | 1,004 | 0,000 | 0,022 | 0,980 | 1,065 | 18,9 |
| | 200 | 1,013 | 1,014 | 0,001 | 0,024 | 0,978 | 1,054 | 23,7 |
| | 240 | 1,010 | 1,005 | 0,000 | 0,022 | 0,984 | 1,054 | 22,8 |
| REArea | 0 | 0,542 | 0,541 | 0,007 | 0,083 | 0,384 | 0,720 | 40,0 |
| | 160 | 0,523 | 0,538 | 0,004 | 0,065 | 0,390 | 0,620 | 32,4 |
| | 200 | 0,506 | 0,487 | 0,007 | 0,082 | 0,384 | 0,681 | 32,5 |
| | 240 | 0,542 | 0,541 | 0,009 | 0,096 | 0,392 | 0,705 | 48,3 |
| TACRI | 0 | 0,518 | 0,475 | 0,036 | 0,190 | 0,281 | 1,163 | 2,4 |
| | 160 | 0,394 | 0,386 | 0,011 | 0,106 | 0,239 | 0,622 | 2,2 |
| | 200 | 0,369 | 0,360 | 0,010 | 0,100 | 0,175 | 0,601 | 2,4 |
| | 240 | 0,476 | 0,437 | 0,054 | 0,233 | 0,241 | 1,151 | 2,2 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,750 | 0,772 | 0,008 | 0,088 | 0,495 | 0,865 | 15,2 |
| | 160 | 0,794 | 0,794 | 0,004 | 0,062 | 0,657 | 0,886 | 12,5 |
| | 200 | 0,813 | 0,830 | 0,004 | 0,063 | 0,675 | 0,917 | 16,2 |
| | 240 | 0,761 | 0,761 | 0,012 | 0,110 | 0,499 | 0,880 | 17,7 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,205 | 1,195 | 0,003 | 0,051 | 1,115 | 1,324 | 79,3 |
| | 160 | 1,227 | 1,229 | 0,002 | 0,050 | 1,131 | 1,336 | 41,7 |
| | 200 | 1,213 | 1,201 | 0,004 | 0,059 | 1,137 | 1,357 | 42,7 |
| | 240 | 1,224 | 1,209 | 0,003 | 0,054 | 1,133 | 1,344 | 58,3 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,675 | 0,684 | 0,004 | 0,060 | 0,559 | 0,793 | 36,7 |
| | 160 | 0,657 | 0,649 | 0,003 | 0,056 | 0,550 | 0,774 | 27,0 |
| | 200 | 0,675 | 0,687 | 0,004 | 0,065 | 0,527 | 0,765 | 27,2 |
| | 240 | 0,657 | 0,660 | 0,004 | 0,063 | 0,539 | 0,768 | 49,1 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,487 | 0,501 | 0,008 | 0,090 | 0,317 | 0,659 | 11,8 |
| | 160 | 0,489 | 0,476 | 0,006 | 0,078 | 0,371 | 0,650 | 7,8 |
| | 200 | 0,517 | 0,538 | 0,008 | 0,091 | 0,326 | 0,638 | 7,8 |
| | 240 | 0,475 | 0,471 | 0,010 | 0,101 | 0,294 | 0,639 | 14,4 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,189 | 1,157 | 0,011 | 0,103 | 1,082 | 1,546 | 4,3 |
| | 160 | 1,139 | 1,132 | 0,003 | 0,057 | 1,066 | 1,279 | 4,1 |
| | 200 | 1,122 | 1,106 | 0,003 | 0,052 | 1,045 | 1,244 | 4,9 |
| | 240 | 1,180 | 1,165 | 0,015 | 0,123 | 1,070 | 1,535 | 4,4 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,624 | 1,579 | 0,036 | 0,190 | 1,319 | 1,978 | 9,0 |
| | 160 | 1,653 | 1,664 | 0,029 | 0,169 | 1,344 | 2,008 | 8,6 |
| | 200 | 1,607 | 1,543 | 0,047 | 0,216 | 1,371 | 2,138 | 9,7 |
| | 240 | 1,674 | 1,661 | 0,045 | 0,213 | 1,360 | 2,087 | 9,6 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 3,164 | 2,854 | 0,787 | 0,887 | 1,965 | 5,151 | 18,6 |
| | 160 | 3,295 | 3,281 | 0,631 | 0,794 | 2,000 | 4,953 | 15,9 |
| | 200 | 3,041 | 2,694 | 0,956 | 0,978 | 2,051 | 5,734 | 17,5 |
| | 240 | 3,378 | 3,225 | 0,991 | 0,995 | 2,075 | 5,622 | 21,3 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 1,202 | 1,185 | 0,012 | 0,112 | 0,908 | 1,509 | 8,7 |
| | 160 | 1,318 | 1,302 | 0,009 | 0,095 | 1,122 | 1,541 | 5,0 |
| | 200 | 1,284 | 1,293 | 0,006 | 0,081 | 1,112 | 1,487 | 4,6 |
| | 240 | 1,252 | 1,264 | 0,016 | 0,125 | 0,916 | 1,403 | 10,5 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,577 | 0,580 | 0,001 | 0,038 | 0,508 | 0,669 | 11,7 |
| | 160 | 0,628 | 0,629 | 0,002 | 0,039 | 0,528 | 0,684 | 10,2 |
| | 200 | 0,628 | 0,633 | 0,002 | 0,039 | 0,520 | 0,707 | 13,4 |
| | 240 | 0,608 | 0,628 | 0,002 | 0,048 | 0,507 | 0,665 | 12,7 |
| NDRE1 | 0 | 0,125 | 0,122 | 0,001 | 0,027 | 0,076 | 0,189 | 28,0 |
| | 160 | 0,140 | 0,141 | 0,001 | 0,027 | 0,087 | 0,196 | 24,1 |
| | 200 | 0,131 | 0,127 | 0,001 | 0,030 | 0,089 | 0,204 | 32,1 |
| | 240 | 0,136 | 0,129 | 0,001 | 0,028 | 0,088 | 0,200 | 29,5 |
| NDRE2 | 0 | 0,239 | 0,226 | 0,004 | 0,060 | 0,134 | 0,342 | 9,3 |
| | 160 | 0,249 | 0,255 | 0,003 | 0,053 | 0,146 | 0,348 | 7,2 |
| | 200 | 0,232 | 0,215 | 0,004 | 0,063 | 0,154 | 0,380 | 6,3 |
| | 240 | 0,254 | 0,253 | 0,004 | 0,065 | 0,151 | 0,376 | 10,0 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0 | -0,970 | -0,970 | 0,000 | 0,002 | -0,974 | -0,966 | 6,6 |
| | 160 | -0,969 | -0,969 | 0,000 | 0,002 | -0,973 | -0,965 | 6,3 |
| | 200 | -0,970 | -0,971 | 0,000 | 0,002 | -0,973 | -0,964 | 6,2 |
| | 240 | -0,969 | -0,970 | 0,000 | 0,002 | -0,973 | -0,965 | 8,0 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0 | -0,955 | -0,956 | 0,000 | 0,005 | -0,963 | -0,946 | 21,6 |
| | 160 | -0,954 | -0,954 | 0,000 | 0,005 | -0,962 | -0,945 | 19,2 |
| | 200 | -0,955 | -0,957 | 0,000 | 0,006 | -0,962 | -0,942 | 23,1 |
| | 240 | -0,954 | -0,954 | 0,000 | 0,006 | -0,962 | -0,943 | 20,5 |
| mSR | 0 | 2,866 | 2,792 | 0,132 | 0,364 | 2,299 | 3,983 | 25,2 |
| | 160 | 3,319 | 3,278 | 0,202 | 0,449 | 2,456 | 4,280 | 21,4 |
| | 200 | 3,277 | 3,310 | 0,184 | 0,428 | 2,461 | 4,072 | 27,3 |
| | 240 | 3,144 | 3,134 | 0,173 | 0,416 | 2,449 | 4,049 | 25,7 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,608 | 2,364 | 0,615 | 0,784 | 1,679 | 4,927 | 0,2 |
| | 160 | 2,439 | 2,428 | 0,243 | 0,493 | 1,688 | 3,449 | 0,2 |
| | 200 | 2,309 | 2,073 | 0,387 | 0,622 | 1,687 | 3,784 | 0,2 |
| | 240 | 2,695 | 2,435 | 0,840 | 0,916 | 1,706 | 5,057 | 0,2 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|-------|--------------|
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,624 | 1,579 | 0,036 | 0,190 | 1,319 | 1,978 | 0,5 |
| | 160 | 1,653 | 1,664 | 0,029 | 0,169 | 1,344 | 2,008 | 0,5 |
| | 200 | 1,607 | 1,543 | 0,047 | 0,216 | 1,371 | 2,138 | 0,6 |
| | 240 | 1,674 | 1,661 | 0,045 | 0,213 | 1,360 | 2,087 | 0,6 |
| mND | 0 | 0,319 | 0,299 | 0,009 | 0,094 | 0,175 | 0,525 | 12,7 |
| | 160 | 0,312 | 0,316 | 0,005 | 0,073 | 0,180 | 0,445 | 13,5 |
| | 200 | 0,288 | 0,269 | 0,007 | 0,084 | 0,189 | 0,475 | 13,1 |
| | 240 | 0,332 | 0,318 | 0,010 | 0,102 | 0,186 | 0,551 | 13,2 |
| PSRI | 0 | -0,010 | -0,011 | 0,000 | 0,010 | -0,028 | 0,016 | 30,1 |
| | 160 | -0,008 | -0,009 | 0,000 | 0,008 | -0,021 | 0,011 | 20,2 |
| | 200 | -0,006 | -0,004 | 0,000 | 0,009 | -0,023 | 0,010 | 26,9 |
| | 240 | -0,009 | -0,009 | 0,000 | 0,011 | -0,027 | 0,008 | 34,0 |
| Red/Green | 0 | 0,874 | 0,888 | 0,003 | 0,054 | 0,715 | 0,955 | 11,7 |
| | 160 | 0,896 | 0,891 | 0,001 | 0,036 | 0,830 | 0,957 | 10,2 |
| | 200 | 0,906 | 0,919 | 0,002 | 0,043 | 0,813 | 0,969 | 13,4 |
| | 240 | 0,876 | 0,884 | 0,004 | 0,067 | 0,727 | 0,952 | 12,7 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,420 | 0,430 | 0,009 | 0,093 | 0,230 | 0,580 | 29,4 |
| | 160 | 0,434 | 0,424 | 0,006 | 0,079 | 0,295 | 0,584 | 23,4 |
| | 200 | 0,463 | 0,482 | 0,008 | 0,088 | 0,285 | 0,584 | 29,1 |
| | 240 | 0,416 | 0,426 | 0,011 | 0,106 | 0,220 | 0,578 | 30,8 |
| PSSR _a | 0 | 2,608 | 2,364 | 0,615 | 0,784 | 1,679 | 4,927 | 106,2 |
| | 160 | 2,439 | 2,428 | 0,243 | 0,493 | 1,688 | 3,449 | 95,0 |
| | 200 | 2,309 | 2,073 | 0,387 | 0,622 | 1,687 | 3,784 | 155,2 |
| | 240 | 2,695 | 2,435 | 0,840 | 0,916 | 1,706 | 5,057 | 120,9 |
| PSSR _b | 0 | 2,453 | 2,264 | 0,416 | 0,645 | 1,641 | 4,195 | 6,2 |
| | 160 | 2,349 | 2,348 | 0,198 | 0,445 | 1,655 | 3,222 | 4,0 |
| | 200 | 2,231 | 2,026 | 0,320 | 0,566 | 1,677 | 3,580 | 4,7 |
| | 240 | 2,535 | 2,353 | 0,558 | 0,747 | 1,677 | 4,412 | 7,6 |
| PSND _a | 0 | 0,425 | 0,405 | 0,011 | 0,104 | 0,254 | 0,663 | 22,2 |
| | 160 | 0,407 | 0,417 | 0,007 | 0,083 | 0,256 | 0,550 | 18,3 |
| | 200 | 0,379 | 0,349 | 0,009 | 0,095 | 0,256 | 0,582 | 19,0 |
| | 240 | 0,431 | 0,417 | 0,014 | 0,120 | 0,261 | 0,670 | 25,4 |
| PSND _b | 0 | 0,386 | 0,368 | 0,008 | 0,090 | 0,234 | 0,575 | 30,1 |
| | 160 | 0,379 | 0,389 | 0,006 | 0,075 | 0,238 | 0,503 | 20,2 |
| | 200 | 0,354 | 0,329 | 0,008 | 0,088 | 0,247 | 0,545 | 26,9 |
| | 240 | 0,396 | 0,389 | 0,010 | 0,102 | 0,245 | 0,597 | 34,0 |
| NPCI | 0 | 0,006 | 0,005 | 0,000 | 0,019 | -0,022 | 0,064 | 13,9 |
| | 160 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,014 | -0,02 | 0,026 | 12,1 |
| | 200 | 0,003 | 0,006 | 0,000 | 0,017 | -0,034 | 0,026 | 15,4 |
| | 240 | 0,002 | 0,002 | 0,000 | 0,015 | -0,019 | 0,026 | 14,4 |
| SRPI | 0 | 0,989 | 0,99 | 0,001 | 0,036 | 0,879 | 1,045 | 23,4 |
| | 160 | 0,998 | 0,997 | 0,001 | 0,028 | 0,95 | 1,04 | 19,9 |
| | 200 | 0,994 | 0,987 | 0,001 | 0,033 | 0,949 | 1,07 | 24,8 |
| | 240 | 0,996 | 0,997 | 0,001 | 0,03 | 0,949 | 1,039 | 25,9 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0 | 0,432 | 0,430 | 0,004 | 0,060 | 0,320 | 0,532 | 26,3 |
| | 160 | 0,440 | 0,446 | 0,003 | 0,053 | 0,327 | 0,525 | 18,9 |
| | 200 | 0,426 | 0,416 | 0,004 | 0,065 | 0,333 | 0,573 | 25,4 |
| | 240 | 0,443 | 0,441 | 0,004 | 0,064 | 0,333 | 0,551 | 29,4 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 1,860 | 1,794 | 0,071 | 0,266 | 1,474 | 2,422 | 24,4 |
| | 160 | 1,882 | 1,888 | 0,053 | 0,230 | 1,483 | 2,314 | 20,4 |
| | 200 | 1,814 | 1,730 | 0,080 | 0,283 | 1,511 | 2,496 | 25,2 |
| | 240 | 1,914 | 1,875 | 0,087 | 0,295 | 1,504 | 2,542 | 27,9 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|--------------|
| NPQI | 0 | -0,004 | -0,004 | 0,000 | 0,004 | -0,019 | 0,000 | 14,3 |
| | 160 | -0,002 | -0,002 | 0,000 | 0,003 | -0,007 | 0,005 | 12,2 |
| | 200 | -0,003 | -0,003 | 0,000 | 0,002 | -0,008 | 0,001 | 15,6 |
| | 240 | -0,004 | -0,004 | 0,000 | 0,002 | -0,008 | 0,001 | 15,4 |
| OCAR | 0 | 1,110 | 1,088 | 0,004 | 0,067 | 1,041 | 1,348 | 3,7 |
| | 160 | 1,075 | 1,075 | 0,001 | 0,033 | 1,028 | 1,150 | 2,8 |
| | 200 | 1,066 | 1,059 | 0,001 | 0,032 | 1,015 | 1,133 | 3,3 |
| | 240 | 1,105 | 1,086 | 0,007 | 0,084 | 1,034 | 1,356 | 3,0 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 1,247 | 1,255 | 0,014 | 0,120 | 0,965 | 1,474 | 94,9 |
| | 160 | 1,092 | 1,072 | 0,014 | 0,117 | 0,938 | 1,433 | 158,5 |
| | 200 | 1,090 | 1,073 | 0,014 | 0,118 | 0,885 | 1,442 | 72,3 |
| | 240 | 1,160 | 1,103 | 0,021 | 0,145 | 0,997 | 1,465 | 48,4 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,729 | 0,721 | 0,010 | 0,102 | 0,570 | 1,018 | 6,0 |
| | 160 | 0,873 | 0,871 | 0,014 | 0,119 | 0,597 | 1,055 | 3,1 |
| | 200 | 0,874 | 0,883 | 0,014 | 0,120 | 0,584 | 1,151 | 3,0 |
| | 240 | 0,813 | 0,852 | 0,016 | 0,127 | 0,573 | 0,977 | 7,6 |
| BND | 0 | -0,122 | -0,123 | 0,004 | 0,067 | -0,236 | 0,052 | 9,2 |
| | 160 | -0,035 | -0,031 | 0,005 | 0,071 | -0,213 | 0,070 | 4,7 |
| | 200 | -0,033 | -0,024 | 0,005 | 0,070 | -0,220 | 0,108 | 4,9 |
| | 240 | -0,066 | -0,036 | 0,007 | 0,083 | -0,229 | 0,045 | 11,4 |
| BmSR | 0 | 0,719 | 0,719 | 0,003 | 0,053 | 0,633 | 0,840 | 9,7 |
| | 160 | 0,785 | 0,793 | 0,002 | 0,048 | 0,676 | 0,854 | 10,7 |
| | 200 | 0,780 | 0,781 | 0,003 | 0,052 | 0,668 | 0,851 | 10,8 |
| | 240 | 0,757 | 0,776 | 0,003 | 0,057 | 0,631 | 0,836 | 12,5 |
| BmND | 0 | -0,143 | -0,144 | 0,006 | 0,080 | -0,285 | 0,058 | 14,0 |
| | 160 | -0,041 | -0,035 | 0,007 | 0,082 | -0,251 | 0,077 | 13,6 |
| | 200 | -0,039 | -0,027 | 0,007 | 0,082 | -0,260 | 0,120 | 13,7 |
| | 240 | -0,078 | -0,041 | 0,010 | 0,098 | -0,277 | 0,050 | 15,6 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,893 | 0,887 | 0,003 | 0,055 | 0,802 | 1,046 | 7,3 |
| | 160 | 0,967 | 0,977 | 0,004 | 0,062 | 0,820 | 1,068 | 6,2 |
| | 200 | 0,971 | 0,981 | 0,004 | 0,059 | 0,817 | 1,093 | 6,7 |
| | 240 | 0,937 | 0,956 | 0,005 | 0,068 | 0,808 | 1,030 | 7,5 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 1953,9 | 1890,3 | 120408,4 | 347,0 | 1527,4 | 2986,4 | 55,9 |
| | 160 | 2359,6 | 2361,3 | 133742,3 | 365,7 | 1730,9 | 3225,7 | 20,8 |
| | 200 | 2318,9 | 2290,5 | 236924,3 | 486,7 | 1330,7 | 3347,0 | 20,7 |
| | 240 | 2333,7 | 2316,5 | 127965,6 | 357,7 | 1779,5 | 3053,7 | 12,7 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 667,3 | 661,4 | 13329,3 | 115,5 | 515,3 | 1028,5 | 20,5 |
| | 160 | 783,3 | 787,0 | 14174,7 | 119,1 | 527,1 | 1065,4 | 18,7 |
| | 200 | 766,8 | 787,6 | 28602,6 | 169,1 | 407,0 | 1124,8 | 20,8 |
| | 240 | 789,2 | 768,5 | 14719,4 | 121,3 | 622,7 | 1058,9 | 23,6 |
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 2621,2 | 2561,9 | 200044,3 | 447,3 | 2096,3 | 4014,9 | 6,2 |
| | 160 | 3142,9 | 3129,8 | 227486,1 | 477,0 | 2258,0 | 4291,0 | 6,4 |
| | 200 | 3085,7 | 3084,5 | 418577,0 | 647,0 | 1737,7 | 4471,8 | 6,1 |
| | 240 | 3122,9 | 3069,8 | 204076,8 | 451,7 | 2505,8 | 3980,5 | 7,3 |

Estadísticas descriptivas para el máximo macollamiento.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|----------|---------------|-------|---------|----------|------------------------|-------|-------|-------|
| RES | 0 | 0,720 | 0,711 | 0,003 | 0,050 | 0,637 | 0,823 | 6,9 |
| | 160 | 0,532 | 0,528 | 0,002 | 0,046 | 0,454 | 0,675 | 8,6 |
| | 200 | 0,500 | 0,501 | 0,002 | 0,041 | 0,421 | 0,634 | 8,2 |
| | 240 | 0,487 | 0,489 | 0,001 | 0,034 | 0,417 | 0,555 | 7,0 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|-------|-------------|
| RES | 0 | 0,720 | 0,711 | 0,003 | 0,050 | 0,637 | 0,823 | 6,9 |
| | 160 | 0,532 | 0,528 | 0,002 | 0,046 | 0,454 | 0,675 | 8,6 |
| | 200 | 0,500 | 0,501 | 0,002 | 0,041 | 0,421 | 0,634 | 8,2 |
| | 240 | 0,487 | 0,489 | 0,001 | 0,034 | 0,417 | 0,555 | 7,0 |
| NDVI1 | 0 | 0,473 | 0,462 | 0,012 | 0,108 | 0,254 | 0,716 | 22,8 |
| | 160 | 0,705 | 0,709 | 0,004 | 0,064 | 0,539 | 0,833 | 9,1 |
| | 200 | 0,736 | 0,738 | 0,005 | 0,068 | 0,574 | 0,841 | 9,2 |
| | 240 | 0,707 | 0,700 | 0,007 | 0,084 | 0,507 | 0,872 | 11,9 |
| NDVI2 | 0 | 0,207 | 0,204 | 0,003 | 0,055 | 0,094 | 0,330 | 26,7 |
| | 160 | 0,429 | 0,439 | 0,002 | 0,044 | 0,312 | 0,515 | 10,3 |
| | 200 | 0,469 | 0,478 | 0,003 | 0,053 | 0,349 | 0,565 | 11,3 |
| | 240 | 0,461 | 0,456 | 0,004 | 0,060 | 0,319 | 0,587 | 13,1 |
| GNDVI | 0 | 0,275 | 0,270 | 0,004 | 0,063 | 0,154 | 0,404 | 23,0 |
| | 160 | 0,502 | 0,516 | 0,002 | 0,046 | 0,361 | 0,582 | 9,2 |
| | 200 | 0,541 | 0,549 | 0,003 | 0,054 | 0,424 | 0,642 | 9,9 |
| | 240 | 0,530 | 0,524 | 0,004 | 0,065 | 0,379 | 0,658 | 12,2 |
| PPR | 0 | 0,275 | 0,253 | 0,007 | 0,085 | 0,155 | 0,473 | 31,1 |
| | 160 | 0,352 | 0,350 | 0,006 | 0,076 | 0,196 | 0,549 | 21,5 |
| | 200 | 0,350 | 0,344 | 0,004 | 0,067 | 0,234 | 0,498 | 19,0 |
| | 240 | 0,308 | 0,304 | 0,006 | 0,080 | 0,137 | 0,560 | 25,9 |
| PRI | 0 | -0,010 | -0,009 | 0,000 | 0,009 | -0,032 | 0,006 | 81,9 |
| | 160 | 0,014 | 0,015 | 0,000 | 0,008 | -0,004 | 0,030 | 56,5 |
| | 200 | 0,020 | 0,021 | 0,000 | 0,009 | -0,001 | 0,037 | 46,4 |
| | 240 | 0,014 | 0,013 | 0,000 | 0,009 | -0,008 | 0,036 | 66,8 |
| SIPI | 0 | 1,066 | 1,058 | 0,001 | 0,037 | 1,009 | 1,178 | 3,4 |
| | 160 | 1,023 | 1,017 | 0,000 | 0,018 | 1,003 | 1,081 | 1,8 |
| | 200 | 1,017 | 1,010 | 0,000 | 0,018 | 0,997 | 1,073 | 1,7 |
| | 240 | 1,018 | 1,010 | 0,000 | 0,019 | 0,996 | 1,078 | 1,9 |
| REArea | 0 | 0,532 | 0,538 | 0,005 | 0,070 | 0,359 | 0,680 | 13,2 |
| | 160 | 0,666 | 0,666 | 0,001 | 0,036 | 0,586 | 0,738 | 5,4 |
| | 200 | 0,677 | 0,670 | 0,002 | 0,047 | 0,566 | 0,785 | 7,0 |
| | 240 | 0,650 | 0,655 | 0,002 | 0,042 | 0,552 | 0,714 | 6,4 |
| DDI | 0 | -0,060 | -0,050 | 0,003 | 0,054 | -0,206 | 0,032 | 90,0 |
| | 160 | 0,142 | 0,142 | 0,002 | 0,047 | -0,024 | 0,223 | 33,4 |
| | 200 | 0,180 | 0,181 | 0,002 | 0,045 | 0,039 | 0,261 | 25,2 |
| | 240 | 0,186 | 0,180 | 0,001 | 0,037 | 0,110 | 0,272 | 19,9 |
| TACRI | 0 | 0,850 | 0,747 | 0,095 | 0,309 | 0,447 | 1,874 | 36,3 |
| | 160 | 0,669 | 0,612 | 0,060 | 0,244 | 0,348 | 1,415 | 36,5 |
| | 200 | 0,597 | 0,588 | 0,028 | 0,166 | 0,340 | 1,087 | 27,8 |
| | 240 | 0,491 | 0,471 | 0,020 | 0,141 | 0,251 | 1,109 | 28,6 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,631 | 0,641 | 0,010 | 0,101 | 0,419 | 0,806 | 16,0 |
| | 160 | 0,551 | 0,551 | 0,008 | 0,091 | 0,339 | 0,722 | 16,5 |
| | 200 | 0,544 | 0,544 | 0,007 | 0,086 | 0,368 | 0,723 | 15,9 |
| | 240 | 0,594 | 0,605 | 0,009 | 0,096 | 0,315 | 0,803 | 16,2 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,157 | 1,155 | 0,003 | 0,050 | 1,060 | 1,262 | 4,3 |
| | 160 | 1,429 | 1,436 | 0,004 | 0,067 | 1,260 | 1,566 | 4,7 |
| | 200 | 1,495 | 1,487 | 0,007 | 0,086 | 1,285 | 1,665 | 5,8 |
| | 240 | 1,492 | 1,478 | 0,009 | 0,095 | 1,284 | 1,724 | 6,3 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,725 | 0,726 | 0,004 | 0,067 | 0,592 | 0,869 | 9,2 |
| | 160 | 0,474 | 0,465 | 0,002 | 0,045 | 0,392 | 0,599 | 9,5 |
| | 200 | 0,434 | 0,432 | 0,003 | 0,051 | 0,347 | 0,568 | 11,7 |
| | 240 | 0,438 | 0,439 | 0,003 | 0,055 | 0,325 | 0,581 | 12,6 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,484 | 0,476 | 0,009 | 0,093 | 0,289 | 0,688 | 19,2 |
| | 160 | 0,243 | 0,235 | 0,002 | 0,044 | 0,174 | 0,371 | 18,0 |
| | 200 | 0,213 | 0,206 | 0,002 | 0,047 | 0,140 | 0,325 | 22,2 |
| | 240 | 0,229 | 0,232 | 0,003 | 0,058 | 0,127 | 0,381 | 25,5 |

(Continuación).

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,355 | 1,310 | 0,028 | 0,169 | 1,140 | 1,802 | 12,5 |
| | 160 | 1,454 | 1,418 | 0,034 | 0,185 | 1,198 | 1,988 | 12,7 |
| | 200 | 1,453 | 1,445 | 0,027 | 0,164 | 1,194 | 1,894 | 11,3 |
| | 240 | 1,370 | 1,326 | 0,030 | 0,172 | 1,117 | 2,054 | 12,6 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,536 | 1,512 | 0,033 | 0,181 | 1,208 | 1,985 | 11,8 |
| | 160 | 2,520 | 2,568 | 0,068 | 0,261 | 1,909 | 3,123 | 10,4 |
| | 200 | 2,805 | 2,833 | 0,138 | 0,372 | 2,073 | 3,598 | 13,3 |
| | 240 | 2,761 | 2,675 | 0,193 | 0,439 | 1,935 | 3,838 | 15,9 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 3,183 | 2,970 | 0,786 | 0,887 | 1,773 | 5,335 | 27,8 |
| | 160 | 9,075 | 9,419 | 4,072 | 2,018 | 4,560 | 13,773 | 22,2 |
| | 200 | 11,415 | 11,553 | 8,900 | 2,983 | 6,226 | 19,272 | 26,1 |
| | 240 | 11,447 | 10,168 | 16,531 | 4,066 | 5,043 | 22,372 | 35,5 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 1,074 | 1,109 | 0,020 | 0,143 | 0,712 | 1,388 | 13,3 |
| | 160 | 1,469 | 1,486 | 0,077 | 0,277 | 0,883 | 1,986 | 18,8 |
| | 200 | 1,579 | 1,560 | 0,063 | 0,251 | 1,032 | 2,124 | 15,9 |
| | 240 | 1,737 | 1,750 | 0,049 | 0,222 | 0,987 | 2,304 | 12,8 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,443 | 0,453 | 0,004 | 0,063 | 0,309 | 0,543 | 14,1 |
| | 160 | 0,647 | 0,651 | 0,002 | 0,046 | 0,492 | 0,718 | 7,1 |
| | 200 | 0,678 | 0,680 | 0,001 | 0,038 | 0,549 | 0,749 | 5,6 |
| | 240 | 0,692 | 0,691 | 0,001 | 0,030 | 0,637 | 0,752 | 4,3 |
| NDRE1 | 0 | 0,092 | 0,090 | 0,001 | 0,027 | 0,039 | 0,148 | 29,4 |
| | 160 | 0,224 | 0,228 | 0,001 | 0,031 | 0,142 | 0,281 | 13,7 |
| | 200 | 0,254 | 0,252 | 0,001 | 0,036 | 0,158 | 0,318 | 14,3 |
| | 240 | 0,255 | 0,255 | 0,001 | 0,038 | 0,166 | 0,344 | 14,9 |
| NDRE2 | 0 | 0,208 | 0,202 | 0,004 | 0,062 | 0,086 | 0,353 | 29,9 |
| | 160 | 0,453 | 0,467 | 0,002 | 0,050 | 0,317 | 0,550 | 11,0 |
| | 200 | 0,497 | 0,511 | 0,004 | 0,060 | 0,364 | 0,604 | 12,1 |
| | 240 | 0,487 | 0,481 | 0,005 | 0,069 | 0,321 | 0,629 | 14,1 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0 | -0,972 | -0,972 | 0,000 | 0,002 | -0,975 | -0,967 | 0,2 |
| | 160 | -0,962 | -0,961 | 0,000 | 0,002 | -0,968 | -0,957 | 0,2 |
| | 200 | -0,959 | -0,960 | 0,000 | 0,003 | -0,966 | -0,954 | 0,3 |
| | 240 | -0,959 | -0,960 | 0,000 | 0,003 | -0,967 | -0,951 | 0,4 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0 | -0,957 | -0,958 | 0,000 | 0,005 | -0,966 | -0,945 | 0,5 |
| | 160 | -0,933 | -0,932 | 0,000 | 0,006 | -0,948 | -0,920 | 0,7 |
| | 200 | -0,927 | -0,926 | 0,000 | 0,009 | -0,944 | -0,909 | 0,9 |
| | 240 | -0,928 | -0,929 | 0,000 | 0,010 | -0,948 | -0,904 | 1,1 |
| mSR | 0 | 2,058 | 2,086 | 0,077 | 0,278 | 1,522 | 2,737 | 13,5 |
| | 160 | 3,558 | 3,534 | 0,206 | 0,454 | 2,289 | 4,724 | 12,8 |
| | 200 | 4,005 | 3,963 | 0,304 | 0,551 | 2,816 | 5,247 | 13,8 |
| | 240 | 4,162 | 4,054 | 0,273 | 0,523 | 3,131 | 5,306 | 12,6 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,972 | 2,718 | 0,850 | 0,922 | 1,682 | 6,043 | 31,0 |
| | 160 | 6,114 | 5,882 | 2,586 | 1,608 | 3,339 | 11,000 | 26,3 |
| | 200 | 7,094 | 6,625 | 4,473 | 2,115 | 3,690 | 11,577 | 29,8 |
| | 240 | 6,465 | 5,658 | 6,381 | 2,526 | 3,059 | 14,683 | 39,1 |
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,536 | 1,512 | 0,033 | 0,181 | 1,208 | 1,985 | 11,8 |
| | 160 | 2,520 | 2,568 | 0,068 | 0,261 | 1,909 | 3,123 | 10,4 |
| | 200 | 2,805 | 2,833 | 0,138 | 0,372 | 2,073 | 3,598 | 13,3 |
| | 240 | 2,761 | 2,675 | 0,193 | 0,439 | 1,935 | 3,838 | 15,9 |
| mND | 0 | 0,351 | 0,350 | 0,012 | 0,111 | 0,148 | 0,606 | 31,6 |
| | 160 | 0,653 | 0,661 | 0,005 | 0,069 | 0,445 | 0,785 | 10,6 |
| | 200 | 0,688 | 0,684 | 0,005 | 0,072 | 0,540 | 0,809 | 10,4 |
| | 240 | 0,657 | 0,662 | 0,009 | 0,093 | 0,430 | 0,829 | 14,1 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| Red/Green | 0 | 0,837 | 0,839 | 0,004 | 0,061 | 0,676 | 0,945 | 7,2 |
| | 160 | 0,747 | 0,744 | 0,004 | 0,065 | 0,582 | 0,896 | 8,8 |
| | 200 | 0,732 | 0,729 | 0,005 | 0,068 | 0,601 | 0,887 | 9,3 |
| | 240 | 0,769 | 0,769 | 0,005 | 0,072 | 0,562 | 0,906 | 9,4 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,365 | 0,370 | 0,009 | 0,094 | 0,187 | 0,573 | 25,7 |
| | 160 | 0,175 | 0,169 | 0,002 | 0,042 | 0,101 | 0,311 | 24,3 |
| | 200 | 0,155 | 0,157 | 0,002 | 0,041 | 0,090 | 0,245 | 26,6 |
| | 240 | 0,174 | 0,168 | 0,003 | 0,056 | 0,080 | 0,326 | 32,4 |
| PSSR _a | 0 | 2,972 | 2,718 | 0,850 | 0,922 | 1,682 | 6,043 | 31,0 |
| | 160 | 6,114 | 5,882 | 2,586 | 1,608 | 3,339 | 11,000 | 26,3 |
| | 200 | 7,094 | 6,625 | 4,473 | 2,115 | 3,690 | 11,577 | 29,8 |
| | 240 | 6,465 | 5,658 | 6,381 | 2,526 | 3,059 | 14,683 | 39,1 |
| PSSR _b | 0 | 2,626 | 2,535 | 0,479 | 0,692 | 1,606 | 4,832 | 26,4 |
| | 160 | 5,671 | 5,547 | 1,750 | 1,323 | 3,170 | 9,151 | 23,3 |
| | 200 | 6,679 | 6,187 | 3,557 | 1,886 | 3,606 | 10,820 | 28,2 |
| | 240 | 6,113 | 5,384 | 4,875 | 2,208 | 2,948 | 11,872 | 36,1 |
| PSND _a | 0 | 0,473 | 0,462 | 0,012 | 0,108 | 0,254 | 0,716 | 22,8 |
| | 160 | 0,705 | 0,709 | 0,004 | 0,064 | 0,539 | 0,833 | 9,1 |
| | 200 | 0,736 | 0,738 | 0,005 | 0,068 | 0,574 | 0,841 | 9,2 |
| | 240 | 0,707 | 0,700 | 0,007 | 0,084 | 0,507 | 0,872 | 11,9 |
| PSND _b | 0 | 0,398 | 0,406 | 0,009 | 0,093 | 0,214 | 0,610 | 23,4 |
| | 160 | 0,663 | 0,673 | 0,003 | 0,059 | 0,497 | 0,762 | 8,9 |
| | 200 | 0,701 | 0,699 | 0,004 | 0,066 | 0,552 | 0,810 | 9,4 |
| | 240 | 0,675 | 0,669 | 0,007 | 0,081 | 0,478 | 0,823 | 12,0 |
| NPCI | 0 | 0,370 | 0,373 | 0,003 | 0,058 | 0,250 | 0,483 | 44,3 |
| | 160 | 0,560 | 0,568 | 0,001 | 0,032 | 0,468 | 0,635 | 60,8 |
| | 200 | 0,587 | 0,591 | 0,002 | 0,047 | 0,472 | 0,677 | 78,3 |
| | 240 | 0,575 | 0,575 | 0,002 | 0,040 | 0,483 | 0,656 | 88,2 |
| SRPI | 0 | 1,810 | 1,765 | 0,068 | 0,261 | 1,379 | 2,412 | 6,1 |
| | 160 | 3,166 | 3,254 | 0,147 | 0,384 | 2,184 | 3,974 | 8,4 |
| | 200 | 3,574 | 3,636 | 0,300 | 0,548 | 2,538 | 4,840 | 8,1 |
| | 240 | 3,515 | 3,364 | 0,455 | 0,675 | 2,303 | 5,170 | 8,8 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0 | 0,868 | 0,885 | 0,003 | 0,053 | 0,726 | 0,954 | 15,5 |
| | 160 | 0,872 | 0,887 | 0,005 | 0,073 | 0,735 | 0,978 | 5,8 |
| | 200 | 0,903 | 0,925 | 0,005 | 0,073 | 0,759 | 1,006 | 8,0 |
| | 240 | 0,905 | 0,933 | 0,006 | 0,080 | 0,747 | 1,011 | 6,9 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 0,071 | 0,061 | 0,001 | 0,032 | 0,024 | 0,159 | 14,4 |
| | 160 | 0,070 | 0,060 | 0,002 | 0,043 | 0,011 | 0,152 | 12,1 |
| | 200 | 0,053 | 0,039 | 0,002 | 0,041 | -0,003 | 0,137 | 15,3 |
| | 240 | 0,051 | 0,035 | 0,002 | 0,045 | -0,005 | 0,145 | 19,2 |
| NPQI | 0 | -0,020 | -0,019 | 0,000 | 0,007 | -0,041 | -0,010 | 33,6 |
| | 160 | -0,023 | -0,023 | 0,000 | 0,009 | -0,040 | -0,005 | 41,8 |
| | 200 | -0,017 | -0,015 | 0,000 | 0,010 | -0,039 | 0,007 | 60,4 |
| | 240 | -0,017 | -0,017 | 0,000 | 0,009 | -0,034 | 0,003 | 52,8 |
| OCAR | 0 | 1,229 | 1,193 | 0,014 | 0,119 | 1,086 | 1,596 | 9,7 |
| | 160 | 1,200 | 1,183 | 0,011 | 0,106 | 1,059 | 1,513 | 8,8 |
| | 200 | 1,183 | 1,174 | 0,006 | 0,079 | 1,067 | 1,395 | 6,7 |
| | 240 | 1,152 | 1,133 | 0,008 | 0,088 | 1,056 | 1,599 | 7,7 |
| YCAR | 0 | 1,351 | 1,294 | 0,032 | 0,179 | 1,130 | 1,854 | 13,2 |
| | 160 | 1,378 | 1,363 | 0,033 | 0,181 | 1,122 | 1,947 | 13,1 |
| | 200 | 1,365 | 1,345 | 0,022 | 0,148 | 1,131 | 1,751 | 10,8 |
| | 240 | 1,303 | 1,277 | 0,027 | 0,166 | 1,099 | 2,100 | 12,7 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 1,755 | 1,655 | 0,090 | 0,299 | 1,333 | 2,474 | 17,1 |
| | 160 | 0,995 | 0,983 | 0,017 | 0,132 | 0,806 | 1,436 | 13,2 |
| | 200 | 0,917 | 0,910 | 0,013 | 0,115 | 0,729 | 1,383 | 12,6 |
| | 240 | 0,886 | 0,892 | 0,008 | 0,089 | 0,715 | 1,108 | 10,0 |

(Continuación).

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,473 | 0,492 | 0,010 | 0,101 | 0,279 | 0,655 | 21,3 |
| | 160 | 1,008 | 1,010 | 0,027 | 0,166 | 0,586 | 1,326 | 16,4 |
| | 200 | 1,125 | 1,112 | 0,028 | 0,168 | 0,654 | 1,492 | 14,9 |
| | 240 | 1,174 | 1,144 | 0,025 | 0,158 | 0,877 | 1,515 | 13,4 |
| BmSR | 0 | 0,509 | 0,553 | 0,019 | 0,139 | 0,196 | 0,716 | 27,3 |
| | 160 | 0,812 | 0,827 | 0,002 | 0,049 | 0,602 | 0,896 | 6,1 |
| | 200 | 0,842 | 0,850 | 0,002 | 0,041 | 0,689 | 0,906 | 4,9 |
| | 240 | 0,858 | 0,860 | 0,001 | 0,029 | 0,789 | 0,908 | 3,4 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0 | 0,058 | 0,058 | 0,000 | 0,016 | 0,028 | 0,087 | 27,2 |
| | 160 | 0,159 | 0,158 | 0,002 | 0,043 | 0,064 | 0,251 | 26,8 |
| | 200 | 0,194 | 0,190 | 0,002 | 0,049 | 0,087 | 0,293 | 24,9 |
| | 240 | 0,215 | 0,212 | 0,002 | 0,047 | 0,137 | 0,322 | 21,7 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,727 | 0,744 | 0,006 | 0,076 | 0,568 | 0,854 | 10,4 |
| | 160 | 1,029 | 1,035 | 0,006 | 0,076 | 0,810 | 1,150 | 7,3 |
| | 200 | 1,081 | 1,077 | 0,005 | 0,072 | 0,848 | 1,226 | 6,7 |
| | 240 | 1,104 | 1,095 | 0,004 | 0,064 | 0,985 | 1,237 | 5,8 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 1284,2 | 1269,5 | 83070,1 | 288,2 | 678,4 | 1985,2 | 22,4 |
| | 160 | 2190,2 | 2315,3 | 273646,1 | 523,1 | 177,0 | 3208,7 | 23,9 |
| | 200 | 2653,0 | 2706,3 | 134292,9 | 366,5 | 1862,3 | 3515,3 | 13,8 |
| | 240 | 2983,3 | 2848,6 | 573566,8 | 757,3 | 2049,0 | 6330,7 | 25,4 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 541,6 | 503,6 | 64853,3 | 254,7 | 176,3 | 1122,3 | 47,0 |
| | 160 | 818,5 | 779,6 | 56611,0 | 237,9 | 328,9 | 1627,7 | 29,1 |
| | 200 | 866,2 | 849,8 | 30887,0 | 175,7 | 357,9 | 1253,7 | 20,3 |
| | 240 | 899,6 | 838,1 | 119297,1 | 345,4 | 299,9 | 2350,7 | 38,4 |
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 1825,8 | 1905,0 | 250239,1 | 500,2 | 889,3 | 3107,5 | 27,4 |
| | 160 | 3008,7 | 3097,4 | 383996,6 | 619,7 | 1270,0 | 4189,7 | 20,6 |
| | 200 | 3519,2 | 3561,9 | 222173,2 | 471,4 | 2483,0 | 4544,8 | 13,4 |
| | 240 | 3882,9 | 3695,4 | 1099705 | 1048,7 | 2541,4 | 8681,4 | 27,0 |

Estadísticas descriptivas para el desarrollo de la panícula.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|----------|---------------|-------|---------|----------|------------------------|-------|-------|-------------|
| RES | 0 | 0,774 | 0,784 | 0,003 | 0,056 | 0,632 | 0,886 | 7,2 |
| | 160 | 0,573 | 0,571 | 0,002 | 0,048 | 0,491 | 0,671 | 8,3 |
| | 200 | 0,539 | 0,546 | 0,002 | 0,044 | 0,438 | 0,647 | 8,2 |
| | 240 | 0,520 | 0,518 | 0,001 | 0,038 | 0,443 | 0,621 | 7,4 |
| NDVI1 | 0 | 0,358 | 0,359 | 0,006 | 0,077 | 0,258 | 0,661 | 21,4 |
| | 160 | 0,653 | 0,651 | 0,008 | 0,091 | 0,445 | 0,863 | 14,0 |
| | 200 | 0,665 | 0,662 | 0,010 | 0,100 | 0,449 | 0,869 | 15,0 |
| | 240 | 0,707 | 0,707 | 0,008 | 0,087 | 0,451 | 0,870 | 12,3 |
| NDVI2 | 0 | 0,140 | 0,125 | 0,002 | 0,045 | 0,064 | 0,270 | 32,1 |
| | 160 | 0,378 | 0,376 | 0,004 | 0,065 | 0,266 | 0,551 | 17,2 |
| | 200 | 0,404 | 0,394 | 0,004 | 0,065 | 0,287 | 0,550 | 16,0 |
| | 240 | 0,440 | 0,443 | 0,004 | 0,063 | 0,301 | 0,539 | 14,3 |
| GNDVI | 0 | 0,198 | 0,184 | 0,002 | 0,048 | 0,123 | 0,358 | 24,4 |
| | 160 | 0,453 | 0,455 | 0,005 | 0,071 | 0,323 | 0,639 | 15,8 |
| | 200 | 0,478 | 0,468 | 0,005 | 0,071 | 0,331 | 0,642 | 15,0 |
| | 240 | 0,516 | 0,517 | 0,005 | 0,068 | 0,350 | 0,624 | 13,2 |
| PPR | 0 | 0,222 | 0,211 | 0,003 | 0,056 | 0,150 | 0,472 | 25,3 |
| | 160 | 0,323 | 0,329 | 0,007 | 0,086 | 0,168 | 0,535 | 26,5 |
| | 200 | 0,309 | 0,281 | 0,011 | 0,104 | 0,151 | 0,530 | 33,8 |
| | 240 | 0,327 | 0,314 | 0,007 | 0,086 | 0,129 | 0,558 | 26,2 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| PRI | 0 | -0,013 | -0,013 | 0,000 | 0,007 | -0,028 | 0,004 | 54,7 |
| | 160 | 0,014 | 0,012 | 0,000 | 0,009 | -0,006 | 0,041 | 64,7 |
| | 200 | 0,016 | 0,014 | 0,000 | 0,008 | 0,006 | 0,046 | 47,6 |
| | 240 | 0,019 | 0,018 | 0,000 | 0,008 | 0,003 | 0,036 | 43,9 |
| SIPI | 0 | 1,109 | 1,110 | 0,001 | 0,034 | 1,049 | 1,190 | 3,1 |
| | 160 | 1,026 | 1,026 | 0,000 | 0,011 | 1,008 | 1,055 | 1,0 |
| | 200 | 1,022 | 1,022 | 0,000 | 0,008 | 1,007 | 1,039 | 0,8 |
| | 240 | 1,016 | 1,015 | 0,000 | 0,007 | 1,005 | 1,038 | 0,7 |
| REArea | 0 | 0,456 | 0,446 | 0,004 | 0,065 | 0,347 | 0,688 | 14,2 |
| | 160 | 0,666 | 0,656 | 0,003 | 0,057 | 0,511 | 0,797 | 8,6 |
| | 200 | 0,675 | 0,693 | 0,003 | 0,058 | 0,530 | 0,780 | 8,6 |
| | 240 | 0,661 | 0,667 | 0,004 | 0,060 | 0,490 | 0,783 | 9,1 |
| DDI | 0 | -0,103 | -0,108 | 0,003 | 0,053 | -0,200 | 0,026 | 51,1 |
| | 160 | 0,102 | 0,109 | 0,003 | 0,056 | -0,009 | 0,216 | 54,7 |
| | 200 | 0,138 | 0,130 | 0,003 | 0,051 | 0,014 | 0,260 | 36,8 |
| | 240 | 0,157 | 0,152 | 0,002 | 0,046 | 0,044 | 0,248 | 29,1 |
| TACRI | 0 | 0,761 | 0,699 | 0,048 | 0,218 | 0,500 | 1,583 | 28,7 |
| | 160 | 0,720 | 0,715 | 0,041 | 0,202 | 0,402 | 1,156 | 28,0 |
| | 200 | 0,654 | 0,567 | 0,063 | 0,251 | 0,375 | 1,294 | 38,4 |
| | 240 | 0,597 | 0,575 | 0,026 | 0,162 | 0,260 | 1,122 | 27,2 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,697 | 0,709 | 0,005 | 0,067 | 0,429 | 0,796 | 9,7 |
| | 160 | 0,571 | 0,559 | 0,010 | 0,098 | 0,345 | 0,760 | 17,1 |
| | 200 | 0,585 | 0,610 | 0,014 | 0,118 | 0,328 | 0,787 | 20,1 |
| | 240 | 0,561 | 0,578 | 0,009 | 0,095 | 0,314 | 0,815 | 17,0 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,099 | 1,086 | 0,002 | 0,040 | 1,037 | 1,229 | 3,7 |
| | 160 | 1,354 | 1,358 | 0,007 | 0,083 | 1,242 | 1,590 | 6,2 |
| | 200 | 1,398 | 1,385 | 0,008 | 0,087 | 1,273 | 1,629 | 6,2 |
| | 240 | 1,447 | 1,437 | 0,008 | 0,087 | 1,273 | 1,612 | 6,0 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,809 | 0,827 | 0,003 | 0,059 | 0,640 | 0,913 | 7,3 |
| | 160 | 0,529 | 0,522 | 0,004 | 0,065 | 0,370 | 0,636 | 12,2 |
| | 200 | 0,499 | 0,504 | 0,004 | 0,061 | 0,360 | 0,606 | 12,3 |
| | 240 | 0,463 | 0,461 | 0,004 | 0,060 | 0,370 | 0,594 | 12,9 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,602 | 0,616 | 0,006 | 0,078 | 0,358 | 0,742 | 12,9 |
| | 160 | 0,290 | 0,283 | 0,005 | 0,069 | 0,132 | 0,447 | 23,7 |
| | 200 | 0,273 | 0,273 | 0,005 | 0,070 | 0,134 | 0,434 | 25,6 |
| | 240 | 0,238 | 0,231 | 0,004 | 0,063 | 0,138 | 0,425 | 26,7 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,266 | 1,244 | 0,011 | 0,105 | 1,143 | 1,760 | 8,3 |
| | 160 | 1,425 | 1,405 | 0,034 | 0,185 | 1,167 | 1,943 | 13,0 |
| | 200 | 1,412 | 1,335 | 0,053 | 0,229 | 1,140 | 2,069 | 16,2 |
| | 240 | 1,428 | 1,383 | 0,034 | 0,183 | 1,113 | 2,082 | 12,8 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,332 | 1,286 | 0,017 | 0,130 | 1,137 | 1,740 | 9,8 |
| | 160 | 2,252 | 2,207 | 0,136 | 0,369 | 1,725 | 3,453 | 16,4 |
| | 200 | 2,397 | 2,298 | 0,163 | 0,404 | 1,804 | 3,444 | 16,8 |
| | 240 | 2,619 | 2,592 | 0,163 | 0,404 | 1,861 | 3,342 | 15,4 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 2,258 | 2,159 | 0,272 | 0,521 | 1,702 | 3,955 | 23,1 |
| | 160 | 7,010 | 6,499 | 7,086 | 2,662 | 3,927 | 17,131 | 38,0 |
| | 200 | 8,003 | 6,930 | 10,435 | 3,230 | 3,786 | 16,922 | 40,4 |
| | 240 | 10,135 | 9,869 | 10,615 | 3,258 | 4,811 | 17,463 | 32,1 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 1,034 | 1,032 | 0,011 | 0,105 | 0,790 | 1,315 | 10,1 |
| | 160 | 1,307 | 1,310 | 0,034 | 0,184 | 0,962 | 1,667 | 14,1 |
| | 200 | 1,413 | 1,447 | 0,057 | 0,239 | 0,921 | 1,920 | 16,9 |
| | 240 | 1,544 | 1,523 | 0,047 | 0,217 | 1,019 | 2,071 | 14,0 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,373 | 0,364 | 0,005 | 0,072 | 0,219 | 0,544 | 19,3 |
| | 160 | 0,606 | 0,609 | 0,002 | 0,049 | 0,504 | 0,688 | 8,0 |
| | 200 | 0,640 | 0,637 | 0,002 | 0,044 | 0,522 | 0,738 | 6,8 |
| | 240 | 0,660 | 0,662 | 0,001 | 0,037 | 0,557 | 0,730 | 5,6 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|---------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| NDRE1 | 0 | 0,060 | 0,052 | 0,001 | 0,023 | 0,025 | 0,132 | 37,9 |
| | 160 | 0,189 | 0,191 | 0,001 | 0,038 | 0,133 | 0,288 | 19,8 |
| | 200 | 0,210 | 0,204 | 0,001 | 0,038 | 0,154 | 0,312 | 18,3 |
| | 240 | 0,234 | 0,232 | 0,001 | 0,038 | 0,151 | 0,306 | 16,1 |
| NDRE2 | 0 | 0,133 | 0,116 | 0,002 | 0,048 | 0,057 | 0,281 | 36,3 |
| | 160 | 0,395 | 0,391 | 0,005 | 0,074 | 0,265 | 0,591 | 18,7 |
| | 200 | 0,423 | 0,412 | 0,006 | 0,074 | 0,289 | 0,589 | 17,5 |
| | 240 | 0,465 | 0,466 | 0,005 | 0,072 | 0,307 | 0,577 | 15,5 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0 | -0,974 | -0,974 | 0,000 | 0,002 | -0,976 | -0,969 | 0,2 |
| | 160 | -0,964 | -0,964 | 0,000 | 0,003 | -0,969 | -0,956 | 0,3 |
| | 200 | -0,963 | -0,963 | 0,000 | 0,003 | -0,968 | -0,954 | 0,3 |
| | 240 | -0,961 | -0,961 | 0,000 | 0,003 | -0,967 | -0,955 | 0,3 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0 | -0,962 | -0,964 | 0,000 | 0,003 | -0,967 | -0,952 | 0,4 |
| | 160 | -0,940 | -0,941 | 0,000 | 0,009 | -0,953 | -0,913 | 0,9 |
| | 200 | -0,937 | -0,939 | 0,000 | 0,009 | -0,951 | -0,913 | 1,0 |
| | 240 | -0,931 | -0,932 | 0,000 | 0,009 | -0,949 | -0,915 | 1,0 |
| mSR | 0 | 1,761 | 1,707 | 0,072 | 0,268 | 1,309 | 2,526 | 15,2 |
| | 160 | 3,185 | 3,207 | 0,199 | 0,447 | 2,392 | 4,226 | 14,0 |
| | 200 | 3,524 | 3,423 | 0,247 | 0,497 | 2,509 | 4,921 | 14,1 |
| | 240 | 3,778 | 3,752 | 0,220 | 0,469 | 2,732 | 4,765 | 12,4 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,174 | 2,119 | 0,267 | 0,517 | 1,694 | 4,902 | 23,8 |
| | 160 | 5,303 | 4,733 | 5,085 | 2,255 | 2,601 | 13,551 | 42,5 |
| | 200 | 5,658 | 4,926 | 6,687 | 2,586 | 2,629 | 14,223 | 45,7 |
| | 240 | 6,485 | 5,819 | 6,148 | 2,480 | 2,641 | 14,428 | 38,2 |
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,332 | 1,286 | 0,017 | 0,130 | 1,137 | 1,740 | 9,8 |
| | 160 | 2,252 | 2,207 | 0,136 | 0,369 | 1,725 | 3,453 | 16,4 |
| | 200 | 2,397 | 2,298 | 0,163 | 0,404 | 1,804 | 3,444 | 16,8 |
| | 240 | 2,619 | 2,592 | 0,163 | 0,404 | 1,861 | 3,342 | 15,4 |
| mND | 0 | 0,227 | 0,208 | 0,006 | 0,080 | 0,109 | 0,559 | 35,5 |
| | 160 | 0,585 | 0,581 | 0,011 | 0,106 | 0,367 | 0,836 | 18,1 |
| | 200 | 0,604 | 0,600 | 0,013 | 0,112 | 0,377 | 0,840 | 18,6 |
| | 240 | 0,650 | 0,657 | 0,010 | 0,101 | 0,385 | 0,835 | 15,5 |
| Red/Green | 0 | 0,885 | 0,885 | 0,001 | 0,035 | 0,728 | 0,928 | 4,0 |
| | 160 | 0,764 | 0,765 | 0,005 | 0,068 | 0,583 | 0,891 | 8,9 |
| | 200 | 0,769 | 0,789 | 0,006 | 0,079 | 0,567 | 0,892 | 10,3 |
| | 240 | 0,749 | 0,763 | 0,005 | 0,069 | 0,560 | 0,917 | 9,2 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,473 | 0,470 | 0,005 | 0,073 | 0,211 | 0,575 | 15,4 |
| | 160 | 0,216 | 0,216 | 0,004 | 0,065 | 0,079 | 0,376 | 30,3 |
| | 200 | 0,207 | 0,203 | 0,005 | 0,070 | 0,076 | 0,379 | 33,9 |
| | 240 | 0,178 | 0,172 | 0,004 | 0,060 | 0,077 | 0,371 | 33,9 |
| PSSR _a | 0 | 2,174 | 2,119 | 0,267 | 0,517 | 1,694 | 4,902 | 23,8 |
| | 160 | 5,303 | 4,733 | 5,085 | 2,255 | 2,601 | 13,551 | 42,5 |
| | 200 | 5,658 | 4,926 | 6,687 | 2,586 | 2,629 | 14,223 | 45,7 |
| | 240 | 6,485 | 5,819 | 6,148 | 2,480 | 2,641 | 14,428 | 38,2 |
| PSSR _b | 0 | 1,960 | 1,883 | 0,156 | 0,394 | 1,525 | 3,876 | 20,1 |
| | 160 | 4,940 | 4,486 | 4,175 | 2,043 | 2,538 | 12,658 | 41,4 |
| | 200 | 5,312 | 4,751 | 5,367 | 2,317 | 2,568 | 13,214 | 43,6 |
| | 240 | 6,092 | 5,584 | 4,853 | 2,203 | 2,593 | 12,467 | 36,2 |
| PSND _a | 0 | 0,358 | 0,359 | 0,006 | 0,077 | 0,258 | 0,661 | 21,4 |
| | 160 | 0,653 | 0,651 | 0,008 | 0,091 | 0,445 | 0,863 | 14,0 |
| | 200 | 0,665 | 0,662 | 0,010 | 0,100 | 0,449 | 0,869 | 15,0 |
| | 240 | 0,707 | 0,707 | 0,008 | 0,087 | 0,451 | 0,870 | 12,3 |
| PSND _b | 0 | 0,287 | 0,275 | 0,005 | 0,069 | 0,180 | 0,539 | 24,0 |
| | 160 | 0,607 | 0,607 | 0,008 | 0,090 | 0,418 | 0,826 | 14,9 |
| | 200 | 0,626 | 0,629 | 0,009 | 0,094 | 0,425 | 0,829 | 15,0 |
| | 240 | 0,669 | 0,674 | 0,007 | 0,085 | 0,432 | 0,818 | 12,8 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|-----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| NPCI | 0 | 0,077 | 0,073 | 0,000 | 0,016 | 0,055 | 0,138 | 21,1 |
| | 160 | 0,063 | 0,058 | 0,000 | 0,019 | 0,031 | 0,122 | 30,5 |
| | 200 | 0,057 | 0,052 | 0,000 | 0,018 | 0,024 | 0,110 | 31,9 |
| | 240 | 0,050 | 0,047 | 0,000 | 0,016 | 0,026 | 0,103 | 30,9 |
| SRPI | 0 | 0,857 | 0,864 | 0,001 | 0,027 | 0,758 | 0,896 | 3,2 |
| | 160 | 0,882 | 0,890 | 0,001 | 0,033 | 0,782 | 0,939 | 3,8 |
| | 200 | 0,893 | 0,901 | 0,001 | 0,032 | 0,802 | 0,953 | 3,6 |
| | 240 | 0,904 | 0,910 | 0,001 | 0,028 | 0,814 | 0,949 | 3,1 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0 | 0,295 | 0,281 | 0,003 | 0,057 | 0,186 | 0,466 | 19,2 |
| | 160 | 0,544 | 0,542 | 0,003 | 0,059 | 0,421 | 0,683 | 10,8 |
| | 200 | 0,569 | 0,570 | 0,003 | 0,052 | 0,448 | 0,686 | 9,2 |
| | 240 | 0,568 | 0,569 | 0,004 | 0,060 | 0,440 | 0,693 | 10,5 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 1,521 | 1,467 | 0,030 | 0,173 | 1,293 | 2,149 | 11,4 |
| | 160 | 2,812 | 2,748 | 0,335 | 0,579 | 2,000 | 4,755 | 20,6 |
| | 200 | 3,017 | 2,850 | 0,417 | 0,646 | 2,048 | 4,804 | 21,4 |
| | 240 | 3,352 | 3,292 | 0,405 | 0,637 | 2,159 | 4,563 | 19,0 |
| NPQI | 0 | -0,025 | -0,024 | 0,000 | 0,005 | -0,047 | -0,018 | 18,7 |
| | 160 | -0,024 | -0,022 | 0,000 | 0,006 | -0,044 | -0,015 | 26,1 |
| | 200 | -0,021 | -0,019 | 0,000 | 0,006 | -0,041 | -0,012 | 29,1 |
| | 240 | -0,020 | -0,020 | 0,000 | 0,007 | -0,039 | -0,008 | 33,2 |
| OCAR | 0 | 1,182 | 1,163 | 0,006 | 0,075 | 1,096 | 1,485 | 6,3 |
| | 160 | 1,195 | 1,183 | 0,007 | 0,083 | 1,073 | 1,439 | 6,9 |
| | 200 | 1,176 | 1,138 | 0,010 | 0,100 | 1,064 | 1,449 | 8,5 |
| | 240 | 1,183 | 1,166 | 0,007 | 0,081 | 1,050 | 1,475 | 6,8 |
| YCAR | 0 | 1,270 | 1,242 | 0,012 | 0,108 | 1,151 | 1,753 | 8,5 |
| | 160 | 1,364 | 1,343 | 0,023 | 0,152 | 1,141 | 1,844 | 11,1 |
| | 200 | 1,341 | 1,280 | 0,034 | 0,185 | 1,127 | 1,807 | 13,8 |
| | 240 | 1,358 | 1,317 | 0,024 | 0,154 | 1,095 | 1,926 | 11,4 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 1,822 | 1,786 | 0,324 | 0,569 | 0,884 | 3,254 | 31,2 |
| | 160 | 1,419 | 1,178 | 0,285 | 0,534 | 0,902 | 2,733 | 37,6 |
| | 200 | 1,019 | 1,030 | 0,015 | 0,122 | 0,773 | 1,326 | 12,0 |
| | 240 | 0,970 | 0,969 | 0,011 | 0,105 | 0,789 | 1,263 | 10,8 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,519 | 0,443 | 0,064 | 0,252 | 0,202 | 1,159 | 48,6 |
| | 160 | 0,718 | 0,777 | 0,071 | 0,267 | 0,243 | 1,112 | 37,1 |
| | 200 | 0,974 | 0,935 | 0,026 | 0,161 | 0,659 | 1,392 | 16,5 |
| | 240 | 1,042 | 1,027 | 0,021 | 0,146 | 0,713 | 1,358 | 14,1 |
| BmSR | 0 | 0,456 | 0,467 | 0,066 | 0,257 | -0,194 | 0,852 | 56,4 |
| | 160 | 0,622 | 0,735 | 0,064 | 0,253 | -0,026 | 0,850 | 40,7 |
| | 200 | 0,809 | 0,817 | 0,002 | 0,048 | 0,656 | 0,902 | 5,9 |
| | 240 | 0,828 | 0,832 | 0,001 | 0,037 | 0,702 | 0,889 | 4,4 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0 | 0,065 | 0,045 | 0,002 | 0,045 | 0,020 | 0,190 | 69,5 |
| | 160 | 0,101 | 0,106 | 0,002 | 0,046 | 0,031 | 0,182 | 45,6 |
| | 200 | 0,150 | 0,144 | 0,002 | 0,043 | 0,067 | 0,276 | 28,6 |
| | 240 | 0,173 | 0,166 | 0,002 | 0,040 | 0,088 | 0,283 | 23,3 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,746 | 0,716 | 0,026 | 0,162 | 0,474 | 1,102 | 21,7 |
| | 160 | 0,871 | 0,926 | 0,028 | 0,168 | 0,532 | 1,085 | 19,3 |
| | 200 | 1,018 | 1,003 | 0,005 | 0,074 | 0,856 | 1,198 | 7,3 |
| | 240 | 1,048 | 1,045 | 0,004 | 0,065 | 0,887 | 1,179 | 6,2 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 2236,0 | 2069,9 | 804679,9 | 897,0 | 926,3 | 4733,8 | 40,1 |
| | 160 | 3482,0 | 3234,7 | 1240196,7 | 1113,6 | 1549,5 | 6721,4 | 32,0 |
| | 200 | 3793,5 | 3513,6 | 1589355,7 | 1260,7 | 2184,5 | 8761,6 | 33,2 |
| | 240 | 4981,3 | 5333,2 | 2164577,3 | 1471,3 | 1772,4 | 9134,4 | 29,5 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 1052,9 | 664,8 | 629310,2 | 793,3 | 315,8 | 3553,1 | 75,3 |
| | 160 | 1111,7 | 1012,9 | 122499,2 | 350,0 | 471,9 | 2189,8 | 31,5 |
| | 200 | 1233,2 | 1137,2 | 190409,2 | 436,4 | 648,1 | 2672,6 | 35,4 |
| | 240 | 1704,1 | 1729,9 | 233192,3 | 482,9 | 1002,2 | 3100,2 | 28,3 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------|---------------|--------|---------|-----------|------------------------|--------|---------|-------------|
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 2147,0 | 2016,4 | 913091,0 | 955,6 | 854,8 | 4677,6 | 44,5 |
| | 160 | 4593,7 | 4209,0 | 2110659,2 | 1452,8 | 2021,4 | 8832,5 | 31,6 |
| | 200 | 5026,7 | 4620,1 | 2833641,2 | 1683,3 | 2883,8 | 11434,2 | 33,5 |
| | 240 | 6685,4 | 6959,9 | 3347279,6 | 1829,6 | 3618,9 | 11914,4 | 27,4 |
| Nitrógeno (%) | 0 | 0,951 | 0,893 | 0,034 | 0,184 | 0,772 | 1,245 | 19,3 |
| | 160 | 1,724 | 1,623 | 0,036 | 0,190 | 1,601 | 2,050 | 11,0 |
| | 200 | 1,833 | 1,848 | 0,053 | 0,230 | 1,497 | 2,136 | 12,5 |
| | 240 | 2,449 | 2,437 | 0,005 | 0,073 | 2,374 | 2,549 | 3,0 |

Estadísticas descriptivas para la floración.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|----------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|-------|-------------|
| RES | 0 | 0,743 | 0,739 | 0,003 | 0,056 | 0,588 | 0,858 | 7,6 |
| | 160 | 0,502 | 0,490 | 0,002 | 0,046 | 0,404 | 0,606 | 9,2 |
| | 200 | 0,490 | 0,495 | 0,001 | 0,032 | 0,386 | 0,548 | 6,6 |
| | 240 | 0,476 | 0,471 | 0,002 | 0,042 | 0,409 | 0,623 | 8,7 |
| NDVI1 | 0 | 0,389 | 0,362 | 0,014 | 0,119 | 0,202 | 0,604 | 30,5 |
| | 160 | 0,715 | 0,727 | 0,015 | 0,123 | 0,367 | 0,884 | 17,2 |
| | 200 | 0,811 | 0,826 | 0,005 | 0,068 | 0,559 | 0,890 | 8,4 |
| | 240 | 0,834 | 0,854 | 0,003 | 0,053 | 0,646 | 0,891 | 6,3 |
| NDVI2 | 0 | 0,166 | 0,156 | 0,003 | 0,058 | 0,078 | 0,287 | 34,8 |
| | 160 | 0,459 | 0,458 | 0,007 | 0,084 | 0,215 | 0,602 | 18,4 |
| | 200 | 0,522 | 0,520 | 0,003 | 0,054 | 0,353 | 0,641 | 10,3 |
| | 240 | 0,547 | 0,553 | 0,003 | 0,053 | 0,347 | 0,629 | 9,8 |
| GNDVI | 0 | 0,220 | 0,202 | 0,004 | 0,066 | 0,121 | 0,357 | 30,1 |
| | 160 | 0,528 | 0,531 | 0,009 | 0,095 | 0,261 | 0,676 | 18,1 |
| | 200 | 0,601 | 0,602 | 0,003 | 0,059 | 0,405 | 0,710 | 9,8 |
| | 240 | 0,632 | 0,644 | 0,003 | 0,051 | 0,466 | 0,715 | 8,0 |
| PPR | 0 | 0,212 | 0,192 | 0,006 | 0,077 | 0,094 | 0,389 | 36,4 |
| | 160 | 0,308 | 0,314 | 0,013 | 0,116 | 0,123 | 0,543 | 37,6 |
| | 200 | 0,407 | 0,416 | 0,008 | 0,087 | 0,182 | 0,582 | 21,3 |
| | 240 | 0,416 | 0,433 | 0,005 | 0,073 | 0,254 | 0,572 | 17,5 |
| SIPI | 0 | 1,059 | 1,053 | 0,001 | 0,038 | 1,005 | 1,163 | 3,6 |
| | 160 | 1,000 | 0,998 | 0,000 | 0,008 | 0,989 | 1,029 | 0,8 |
| | 200 | 1,001 | 1,000 | 0,000 | 0,006 | 0,991 | 1,019 | 0,6 |
| | 240 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,006 | 0,989 | 1,027 | 0,6 |
| REArea | 0 | 0,476 | 0,473 | 0,008 | 0,089 | 0,306 | 0,632 | 18,8 |
| | 160 | 0,679 | 0,694 | 0,004 | 0,064 | 0,478 | 0,761 | 9,5 |
| | 200 | 0,712 | 0,717 | 0,001 | 0,035 | 0,586 | 0,767 | 4,9 |
| | 240 | 0,724 | 0,728 | 0,001 | 0,025 | 0,649 | 0,766 | 3,4 |
| DDI | 0 | -0,075 | -0,073 | 0,003 | 0,054 | -0,200 | 0,064 | 72,0 |
| | 160 | 0,181 | 0,188 | 0,003 | 0,052 | 0,047 | 0,269 | 28,8 |
| | 200 | 0,201 | 0,196 | 0,001 | 0,036 | 0,131 | 0,293 | 18,0 |
| | 240 | 0,220 | 0,218 | 0,002 | 0,046 | 0,053 | 0,293 | 21,0 |
| TACRI | 0 | 0,748 | 0,721 | 0,070 | 0,264 | 0,298 | 1,234 | 35,3 |
| | 160 | 0,605 | 0,565 | 0,045 | 0,213 | 0,318 | 1,178 | 35,2 |
| | 200 | 0,737 | 0,710 | 0,038 | 0,194 | 0,414 | 1,421 | 26,3 |
| | 240 | 0,725 | 0,698 | 0,027 | 0,164 | 0,453 | 1,354 | 22,6 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,690 | 0,702 | 0,011 | 0,104 | 0,498 | 0,871 | 15,0 |
| | 160 | 0,557 | 0,538 | 0,018 | 0,135 | 0,301 | 0,804 | 24,3 |
| | 200 | 0,445 | 0,431 | 0,008 | 0,089 | 0,288 | 0,712 | 20,1 |
| | 240 | 0,424 | 0,407 | 0,005 | 0,070 | 0,285 | 0,588 | 16,6 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,121 | 1,112 | 0,002 | 0,047 | 1,051 | 1,226 | 4,2 |
| | 160 | 1,482 | 1,472 | 0,014 | 0,117 | 1,189 | 1,700 | 7,9 |
| | 200 | 1,559 | 1,546 | 0,008 | 0,089 | 1,343 | 1,841 | 5,7 |
| | 240 | 1,603 | 1,620 | 0,010 | 0,098 | 1,294 | 1,793 | 6,1 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,776 | 0,783 | 0,005 | 0,071 | 0,632 | 0,889 | 9,1 |
| | 160 | 0,446 | 0,439 | 0,006 | 0,080 | 0,322 | 0,698 | 18,0 |
| | 200 | 0,392 | 0,396 | 0,002 | 0,048 | 0,280 | 0,540 | 12,2 |
| | 240 | 0,370 | 0,359 | 0,003 | 0,050 | 0,295 | 0,569 | 13,5 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,563 | 0,590 | 0,012 | 0,110 | 0,362 | 0,742 | 19,5 |
| | 160 | 0,229 | 0,224 | 0,008 | 0,091 | 0,109 | 0,524 | 39,5 |
| | 200 | 0,164 | 0,153 | 0,002 | 0,046 | 0,102 | 0,340 | 28,1 |
| | 240 | 0,145 | 0,134 | 0,001 | 0,038 | 0,098 | 0,299 | 26,3 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,279 | 1,245 | 0,018 | 0,135 | 1,082 | 1,566 | 10,6 |
| | 160 | 1,468 | 1,445 | 0,072 | 0,268 | 1,128 | 2,221 | 18,2 |
| | 200 | 1,681 | 1,671 | 0,051 | 0,226 | 1,207 | 2,289 | 13,4 |
| | 240 | 1,716 | 1,735 | 0,037 | 0,193 | 1,350 | 2,245 | 11,3 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,410 | 1,369 | 0,030 | 0,173 | 1,170 | 1,805 | 12,3 |
| | 160 | 2,782 | 2,689 | 0,309 | 0,556 | 1,547 | 4,025 | 20,0 |
| | 200 | 3,231 | 3,167 | 0,219 | 0,468 | 2,093 | 4,571 | 14,5 |
| | 240 | 3,466 | 3,469 | 0,228 | 0,478 | 2,062 | 4,392 | 13,8 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 2,523 | 2,310 | 0,557 | 0,747 | 1,605 | 4,544 | 29,6 |
| | 160 | 11,278 | 10,291 | 24,189 | 4,918 | 2,869 | 23,613 | 43,6 |
| | 200 | 15,750 | 14,924 | 27,116 | 5,207 | 5,779 | 34,293 | 33,1 |
| | 240 | 18,449 | 18,376 | 26,752 | 5,172 | 6,066 | 30,746 | 28,0 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 1,048 | 1,037 | 0,011 | 0,104 | 0,867 | 1,365 | 9,9 |
| | 160 | 1,512 | 1,523 | 0,060 | 0,245 | 1,020 | 2,126 | 16,2 |
| | 200 | 1,419 | 1,413 | 0,052 | 0,228 | 0,826 | 2,001 | 16,1 |
| | 240 | 1,458 | 1,444 | 0,049 | 0,221 | 0,844 | 2,000 | 15,1 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,410 | 0,415 | 0,005 | 0,073 | 0,252 | 0,597 | 17,7 |
| | 160 | 0,676 | 0,689 | 0,002 | 0,043 | 0,571 | 0,759 | 6,4 |
| | 200 | 0,688 | 0,682 | 0,001 | 0,030 | 0,631 | 0,779 | 4,4 |
| | 240 | 0,700 | 0,704 | 0,002 | 0,039 | 0,553 | 0,759 | 5,5 |
| NDRE1 | 0 | 0,071 | 0,067 | 0,001 | 0,026 | 0,032 | 0,130 | 37,0 |
| | 160 | 0,247 | 0,243 | 0,003 | 0,050 | 0,109 | 0,333 | 20,3 |
| | 200 | 0,278 | 0,274 | 0,001 | 0,036 | 0,189 | 0,386 | 12,9 |
| | 240 | 0,295 | 0,301 | 0,002 | 0,040 | 0,158 | 0,364 | 13,5 |
| NDRE2 | 0 | 0,160 | 0,146 | 0,004 | 0,063 | 0,069 | 0,296 | 39,3 |
| | 160 | 0,484 | 0,480 | 0,009 | 0,097 | 0,208 | 0,643 | 20,0 |
| | 200 | 0,556 | 0,560 | 0,004 | 0,060 | 0,362 | 0,683 | 10,9 |
| | 240 | 0,583 | 0,592 | 0,004 | 0,059 | 0,356 | 0,669 | 10,1 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅ -740)-1 | 0 | -0,973 | -0,973 | 0,000 | 0,002 | -0,976 | -0,969 | 0,2 |
| | 160 | -0,960 | -0,960 | 0,000 | 0,004 | -0,971 | -0,952 | 0,5 |
| | 200 | -0,957 | -0,957 | 0,000 | 0,003 | -0,965 | -0,946 | 0,4 |
| | 240 | -0,955 | -0,955 | 0,000 | 0,004 | -0,967 | -0,949 | 0,4 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀ -725)-1 | 0 | -0,961 | -0,962 | 0,000 | 0,005 | -0,967 | -0,950 | 0,5 |
| | 160 | -0,928 | -0,930 | 0,000 | 0,013 | -0,958 | -0,901 | 1,4 |
| | 200 | -0,918 | -0,919 | 0,000 | 0,010 | -0,944 | -0,888 | 1,1 |
| | 240 | -0,913 | -0,912 | 0,000 | 0,010 | -0,945 | -0,893 | 1,1 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|-------|--------|-------------|
| mSR | 0 | 1,983 | 1,983 | 0,101 | 0,317 | 1,422 | 2,995 | 16,0 |
| | 160 | 4,252 | 4,363 | 0,387 | 0,622 | 2,864 | 5,787 | 14,6 |
| | 200 | 4,369 | 4,249 | 0,259 | 0,509 | 3,473 | 6,272 | 11,6 |
| | 240 | 4,619 | 4,640 | 0,358 | 0,599 | 2,914 | 5,907 | 13,0 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,415 | 2,134 | 0,576 | 0,759 | 1,506 | 4,055 | 31,4 |
| | 160 | 7,375 | 6,332 | 13,107 | 3,620 | 2,161 | 16,183 | 49,1 |
| | 200 | 10,613 | 10,505 | 10,684 | 3,269 | 3,536 | 17,180 | 30,8 |
| | 240 | 11,960 | 12,695 | 10,053 | 3,171 | 4,645 | 17,312 | 26,5 |
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,410 | 1,369 | 0,030 | 0,173 | 1,170 | 1,805 | 12,3 |
| | 160 | 2,782 | 2,689 | 0,309 | 0,556 | 1,547 | 4,025 | 20,0 |
| | 200 | 3,231 | 3,167 | 0,219 | 0,468 | 2,093 | 4,571 | 14,5 |
| | 240 | 3,466 | 3,469 | 0,228 | 0,478 | 2,062 | 4,392 | 13,8 |
| mND | 0 | 0,260 | 0,224 | 0,012 | 0,109 | 0,109 | 0,481 | 41,7 |
| | 160 | 0,649 | 0,656 | 0,019 | 0,139 | 0,279 | 0,849 | 21,4 |
| | 200 | 0,760 | 0,779 | 0,007 | 0,083 | 0,472 | 0,853 | 10,9 |
| | 240 | 0,788 | 0,809 | 0,004 | 0,067 | 0,544 | 0,860 | 8,5 |
| Red/Green | 0 | 0,861 | 0,881 | 0,004 | 0,060 | 0,756 | 0,966 | 6,9 |
| | 160 | 0,726 | 0,723 | 0,008 | 0,092 | 0,549 | 0,905 | 12,7 |
| | 200 | 0,648 | 0,648 | 0,004 | 0,066 | 0,530 | 0,833 | 10,1 |
| | 240 | 0,635 | 0,625 | 0,003 | 0,057 | 0,526 | 0,781 | 9,0 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,460 | 0,484 | 0,013 | 0,112 | 0,255 | 0,641 | 24,5 |
| | 160 | 0,182 | 0,167 | 0,008 | 0,092 | 0,069 | 0,467 | 50,4 |
| | 200 | 0,115 | 0,103 | 0,002 | 0,046 | 0,067 | 0,295 | 40,3 |
| | 240 | 0,099 | 0,087 | 0,001 | 0,034 | 0,063 | 0,223 | 34,2 |
| PSSR _a | 0 | 2,415 | 2,134 | 0,576 | 0,759 | 1,506 | 4,055 | 31,4 |
| | 160 | 7,375 | 6,332 | 13,107 | 3,620 | 2,161 | 16,183 | 49,1 |
| | 200 | 10,613 | 10,505 | 10,684 | 3,269 | 3,536 | 17,180 | 30,8 |
| | 240 | 11,960 | 12,695 | 10,053 | 3,171 | 4,645 | 17,312 | 26,5 |
| PSSR _b | 0 | 2,183 | 1,954 | 0,373 | 0,611 | 1,470 | 3,493 | 28,0 |
| | 160 | 7,017 | 6,010 | 11,280 | 3,359 | 2,118 | 15,227 | 47,9 |
| | 200 | 9,979 | 9,986 | 9,196 | 3,033 | 3,425 | 15,962 | 30,4 |
| | 240 | 11,427 | 11,985 | 9,220 | 3,036 | 4,562 | 17,162 | 26,6 |
| PSND _a | 0 | 0,389 | 0,362 | 0,014 | 0,119 | 0,202 | 0,604 | 30,5 |
| | 160 | 0,715 | 0,727 | 0,015 | 0,123 | 0,367 | 0,884 | 17,2 |
| | 200 | 0,811 | 0,826 | 0,005 | 0,068 | 0,559 | 0,890 | 8,4 |
| | 240 | 0,834 | 0,854 | 0,003 | 0,053 | 0,646 | 0,891 | 6,3 |
| PSND _b | 0 | 0,322 | 0,291 | 0,010 | 0,102 | 0,172 | 0,513 | 31,6 |
| | 160 | 0,683 | 0,690 | 0,014 | 0,119 | 0,343 | 0,854 | 17,5 |
| | 200 | 0,775 | 0,790 | 0,005 | 0,068 | 0,529 | 0,860 | 8,7 |
| | 240 | 0,803 | 0,822 | 0,003 | 0,054 | 0,611 | 0,872 | 6,7 |
| SRPI | 0 | 0,921 | 0,925 | 0,001 | 0,030 | 0,840 | 0,974 | 3,2 |
| | 160 | 0,995 | 1,007 | 0,002 | 0,046 | 0,852 | 1,069 | 4,6 |
| | 200 | 0,981 | 0,998 | 0,003 | 0,055 | 0,843 | 1,052 | 5,6 |
| | 240 | 0,994 | 1,003 | 0,003 | 0,057 | 0,832 | 1,089 | 5,7 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 0,317 | 0,303 | 0,005 | 0,068 | 0,205 | 0,450 | 21,5 |
| | 160 | 0,587 | 0,594 | 0,004 | 0,065 | 0,382 | 0,679 | 11,1 |
| | 200 | 0,623 | 0,621 | 0,001 | 0,038 | 0,492 | 0,681 | 6,0 |
| | 240 | 0,644 | 0,645 | 0,001 | 0,033 | 0,559 | 0,709 | 5,1 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 1,603 | 1,522 | 0,058 | 0,240 | 1,286 | 2,161 | 15,0 |
| | 160 | 3,550 | 3,389 | 0,818 | 0,904 | 1,733 | 5,498 | 25,5 |
| | 200 | 4,320 | 4,225 | 0,606 | 0,778 | 2,439 | 6,392 | 18,0 |
| | 240 | 4,778 | 4,853 | 0,590 | 0,768 | 2,799 | 6,437 | 16,1 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|-----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| OCAR | 0 | 1,185 | 1,162 | 0,009 | 0,094 | 1,047 | 1,378 | 7,9 |
| | 160 | 1,179 | 1,162 | 0,008 | 0,090 | 1,059 | 1,380 | 7,6 |
| | 200 | 1,255 | 1,248 | 0,008 | 0,091 | 1,098 | 1,520 | 7,2 |
| | 240 | 1,245 | 1,232 | 0,008 | 0,089 | 1,114 | 1,529 | 7,2 |
| YCAR | 0 | 1,277 | 1,245 | 0,019 | 0,139 | 1,071 | 1,552 | 10,9 |
| | 160 | 1,360 | 1,330 | 0,037 | 0,192 | 1,103 | 1,822 | 14,1 |
| | 200 | 1,524 | 1,517 | 0,033 | 0,181 | 1,175 | 2,051 | 11,9 |
| | 240 | 1,523 | 1,513 | 0,028 | 0,167 | 1,244 | 2,038 | 11,0 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 1,883 | 1,809 | 0,123 | 0,350 | 1,179 | 2,764 | 18,6 |
| | 160 | 0,926 | 0,895 | 0,015 | 0,124 | 0,698 | 1,212 | 13,3 |
| | 200 | 0,894 | 0,902 | 0,006 | 0,076 | 0,669 | 1,030 | 8,5 |
| | 240 | 0,868 | 0,852 | 0,012 | 0,111 | 0,709 | 1,319 | 12,8 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,436 | 0,441 | 0,012 | 0,109 | 0,251 | 0,792 | 25,1 |
| | 160 | 1,121 | 1,153 | 0,037 | 0,192 | 0,756 | 1,591 | 17,1 |
| | 200 | 1,161 | 1,132 | 0,022 | 0,148 | 0,938 | 1,708 | 12,8 |
| | 240 | 1,220 | 1,222 | 0,032 | 0,180 | 0,689 | 1,556 | 14,7 |
| BND | 0 | -0,362 | -0,350 | 0,013 | 0,112 | -0,590 | -0,052 | 30,9 |
| | 160 | 0,099 | 0,124 | 0,007 | 0,083 | -0,094 | 0,262 | 84,0 |
| | 200 | 0,120 | 0,110 | 0,003 | 0,058 | 0,014 | 0,302 | 48,6 |
| | 240 | 0,142 | 0,151 | 0,006 | 0,076 | -0,135 | 0,263 | 53,1 |
| BmSR | 0 | 0,420 | 0,462 | 0,035 | 0,186 | -0,076 | 0,781 | 44,3 |
| | 160 | 0,853 | 0,860 | 0,001 | 0,035 | 0,757 | 0,904 | 4,1 |
| | 200 | 0,859 | 0,858 | 0,001 | 0,027 | 0,807 | 0,928 | 3,1 |
| | 240 | 0,877 | 0,882 | 0,001 | 0,026 | 0,819 | 0,927 | 3,0 |
| BmND | 0 | -0,508 | -0,456 | 0,046 | 0,215 | -1,130 | -0,059 | 42,4 |
| | 160 | 0,107 | 0,135 | 0,008 | 0,090 | -0,108 | 0,280 | 84,4 |
| | 200 | 0,130 | 0,120 | 0,004 | 0,062 | 0,016 | 0,318 | 47,2 |
| | 240 | 0,153 | 0,164 | 0,007 | 0,081 | -0,148 | 0,280 | 52,7 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0 | 0,050 | 0,047 | 0,000 | 0,018 | 0,023 | 0,118 | 36,4 |
| | 160 | 0,193 | 0,199 | 0,003 | 0,055 | 0,091 | 0,345 | 28,8 |
| | 200 | 0,207 | 0,196 | 0,002 | 0,050 | 0,134 | 0,409 | 24,1 |
| | 240 | 0,227 | 0,226 | 0,003 | 0,055 | 0,082 | 0,334 | 24,2 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,698 | 0,708 | 0,007 | 0,084 | 0,535 | 0,931 | 12,0 |
| | 160 | 1,079 | 1,093 | 0,007 | 0,081 | 0,906 | 1,249 | 7,5 |
| | 200 | 1,099 | 1,090 | 0,003 | 0,059 | 1,003 | 1,298 | 5,4 |
| | 240 | 1,122 | 1,129 | 0,006 | 0,075 | 0,864 | 1,249 | 6,7 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 1466,7 | 1554,6 | 216892,8 | 465,7 | 488,3 | 2662,7 | 31,8 |
| | 160 | 3392,8 | 3377,2 | 280015,1 | 529,2 | 2568,5 | 5348,3 | 15,6 |
| | 200 | 3475,6 | 3468,8 | 176357,4 | 419,9 | 2357,2 | 4469,0 | 12,1 |
| | 240 | 3818,6 | 3771,5 | 498602,6 | 706,1 | 2541,8 | 6479,0 | 18,5 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 584,7 | 583,2 | 50089,8 | 223,8 | 128,4 | 1000,9 | 38,3 |
| | 160 | 1195,0 | 1154,8 | 58135,7 | 241,1 | 768,2 | 1864,4 | 20,2 |
| | 200 | 1222,9 | 1210,2 | 27259,7 | 165,1 | 791,4 | 1644,9 | 13,5 |
| | 240 | 1311,4 | 1305,8 | 107210,2 | 327,4 | 807,1 | 2707,4 | 25,0 |
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 2051,4 | 2156,1 | 419643,6 | 647,8 | 616,6 | 3625,6 | 31,6 |
| | 160 | 4587,9 | 4499,0 | 548940,0 | 740,9 | 3381,3 | 7212,8 | 16,1 |
| | 200 | 4698,5 | 4685,9 | 327491,7 | 572,3 | 3148,6 | 6014,2 | 12,2 |
| | 240 | 5130,0 | 5027,9 | 1050922,4 | 1025,1 | 3509,8 | 9186,4 | 20,0 |
| Nitrógeno (%) | 0 | 0,659 | 0,668 | 0,003 | 0,056 | 0,582 | 0,719 | 8,5 |
| | 160 | 1,610 | 1,623 | 0,034 | 0,184 | 1,401 | 1,794 | 11,4 |
| | 200 | 2,030 | 2,004 | 0,015 | 0,124 | 1,895 | 2,214 | 6,1 |
| | 240 | 1,772 | 1,726 | 0,016 | 0,128 | 1,654 | 1,981 | 7,2 |

Estadísticas descriptivas para el grano lechoso.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|-------|-------------|
| RES | 0 | 0,767 | 0,771 | 0,001 | 0,038 | 0,656 | 0,820 | 5,0 |
| | 160 | 0,585 | 0,594 | 0,001 | 0,038 | 0,496 | 0,642 | 6,5 |
| | 200 | 0,554 | 0,551 | 0,002 | 0,041 | 0,444 | 0,622 | 7,4 |
| | 240 | 0,526 | 0,529 | 0,002 | 0,039 | 0,468 | 0,606 | 7,4 |
| NDVI1 | 0 | 0,385 | 0,375 | 0,018 | 0,135 | 0,207 | 0,828 | 35,0 |
| | 160 | 0,742 | 0,780 | 0,012 | 0,111 | 0,440 | 0,852 | 15,0 |
| | 200 | 0,800 | 0,812 | 0,005 | 0,067 | 0,572 | 0,868 | 8,4 |
| | 240 | 0,841 | 0,845 | 0,001 | 0,023 | 0,784 | 0,867 | 2,7 |
| NDVI2 | 0 | 0,153 | 0,142 | 0,004 | 0,066 | 0,071 | 0,387 | 43,0 |
| | 160 | 0,406 | 0,416 | 0,003 | 0,056 | 0,243 | 0,495 | 13,7 |
| | 200 | 0,462 | 0,471 | 0,003 | 0,056 | 0,313 | 0,596 | 12,2 |
| | 240 | 0,503 | 0,501 | 0,001 | 0,035 | 0,436 | 0,564 | 7,0 |
| GNDVI | 0 | 0,221 | 0,210 | 0,006 | 0,076 | 0,123 | 0,490 | 34,7 |
| | 160 | 0,516 | 0,530 | 0,004 | 0,067 | 0,319 | 0,608 | 13,0 |
| | 200 | 0,580 | 0,588 | 0,004 | 0,060 | 0,410 | 0,702 | 10,4 |
| | 240 | 0,622 | 0,611 | 0,001 | 0,034 | 0,552 | 0,686 | 5,4 |
| PPR | 0 | 0,229 | 0,220 | 0,009 | 0,093 | 0,136 | 0,585 | 40,8 |
| | 160 | 0,408 | 0,437 | 0,020 | 0,141 | 0,155 | 0,614 | 34,6 |
| | 200 | 0,437 | 0,433 | 0,008 | 0,087 | 0,214 | 0,564 | 19,8 |
| | 240 | 0,478 | 0,491 | 0,004 | 0,059 | 0,357 | 0,584 | 12,4 |
| PRI | 0 | -0,013 | -0,012 | 0,000 | 0,006 | -0,021 | 0,007 | 46,7 |
| | 160 | 0,011 | 0,012 | 0,000 | 0,009 | -0,006 | 0,032 | 80,4 |
| | 200 | 0,019 | 0,020 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,039 | 50,1 |
| | 240 | 0,024 | 0,025 | 0,000 | 0,006 | 0,014 | 0,034 | 24,0 |
| SIPI | 0 | 1,098 | 1,083 | 0,003 | 0,058 | 1,010 | 1,231 | 5,3 |
| | 160 | 1,014 | 1,013 | 0,000 | 0,008 | 0,999 | 1,040 | 0,8 |
| | 200 | 1,009 | 1,009 | 0,000 | 0,005 | 1,001 | 1,017 | 0,5 |
| | 240 | 1,009 | 1,010 | 0,000 | 0,004 | 0,999 | 1,013 | 0,4 |
| REArea | 0 | 0,469 | 0,469 | 0,009 | 0,094 | 0,313 | 0,722 | 20,1 |
| | 160 | 0,689 | 0,704 | 0,004 | 0,066 | 0,487 | 0,756 | 9,5 |
| | 200 | 0,702 | 0,710 | 0,002 | 0,039 | 0,599 | 0,763 | 5,5 |
| | 240 | 0,724 | 0,732 | 0,001 | 0,032 | 0,646 | 0,766 | 4,4 |
| DDI | 0 | -0,098 | -0,098 | 0,001 | 0,037 | -0,164 | 0,008 | 37,3 |
| | 160 | 0,087 | 0,079 | 0,002 | 0,043 | 0,017 | 0,165 | 49,9 |
| | 200 | 0,127 | 0,127 | 0,002 | 0,048 | 0,046 | 0,250 | 37,8 |
| | 240 | 0,160 | 0,163 | 0,002 | 0,044 | 0,069 | 0,234 | 27,6 |
| TACRI | 0 | 0,821 | 0,776 | 0,100 | 0,317 | 0,476 | 1,963 | 38,6 |
| | 160 | 1,124 | 1,119 | 0,242 | 0,492 | 0,356 | 2,102 | 43,7 |
| | 200 | 1,037 | 0,976 | 0,090 | 0,299 | 0,611 | 1,758 | 28,9 |
| | 240 | 1,086 | 1,061 | 0,082 | 0,287 | 0,525 | 1,691 | 26,4 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,671 | 0,676 | 0,013 | 0,114 | 0,282 | 0,809 | 17,1 |
| | 160 | 0,440 | 0,398 | 0,022 | 0,147 | 0,260 | 0,745 | 33,5 |
| | 200 | 0,395 | 0,389 | 0,007 | 0,082 | 0,281 | 0,633 | 20,7 |
| | 240 | 0,355 | 0,345 | 0,003 | 0,052 | 0,279 | 0,507 | 14,6 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,110 | 1,100 | 0,003 | 0,054 | 1,048 | 1,313 | 4,9 |
| | 160 | 1,374 | 1,381 | 0,004 | 0,060 | 1,209 | 1,482 | 4,4 |
| | 200 | 1,452 | 1,459 | 0,007 | 0,085 | 1,271 | 1,694 | 5,8 |
| | 240 | 1,517 | 1,511 | 0,005 | 0,070 | 1,388 | 1,639 | 4,6 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,794 | 0,805 | 0,006 | 0,076 | 0,537 | 0,899 | 9,6 |
| | 160 | 0,506 | 0,498 | 0,003 | 0,052 | 0,422 | 0,666 | 10,3 |
| | 200 | 0,452 | 0,445 | 0,003 | 0,054 | 0,326 | 0,595 | 12,0 |
| | 240 | 0,413 | 0,413 | 0,001 | 0,036 | 0,355 | 0,485 | 8,7 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,582 | 0,588 | 0,014 | 0,119 | 0,218 | 0,765 | 20,5 |
| | 160 | 0,243 | 0,221 | 0,005 | 0,072 | 0,169 | 0,466 | 29,7 |
| | 200 | 0,193 | 0,181 | 0,002 | 0,049 | 0,116 | 0,356 | 25,4 |
| | 240 | 0,160 | 0,164 | 0,000 | 0,019 | 0,130 | 0,189 | 11,6 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,327 | 1,282 | 0,060 | 0,246 | 1,144 | 2,369 | 18,5 |
| | 160 | 1,825 | 1,828 | 0,181 | 0,426 | 1,180 | 2,619 | 23,3 |
| | 200 | 1,874 | 1,829 | 0,074 | 0,272 | 1,308 | 2,391 | 14,5 |
| | 240 | 2,005 | 2,001 | 0,046 | 0,215 | 1,498 | 2,407 | 10,7 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,377 | 1,330 | 0,050 | 0,224 | 1,152 | 2,264 | 16,3 |
| | 160 | 2,394 | 2,424 | 0,089 | 0,298 | 1,642 | 2,963 | 12,4 |
| | 200 | 2,758 | 2,783 | 0,157 | 0,396 | 1,912 | 3,952 | 14,3 |
| | 240 | 3,044 | 3,005 | 0,086 | 0,293 | 2,543 | 3,583 | 9,6 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 2,543 | 2,262 | 1,419 | 1,191 | 1,601 | 7,591 | 46,8 |
| | 160 | 8,891 | 9,052 | 5,402 | 2,324 | 3,876 | 13,780 | 26,1 |
| | 200 | 12,660 | 12,490 | 17,366 | 4,167 | 5,268 | 27,029 | 32,9 |
| | 240 | 15,414 | 14,819 | 10,135 | 3,184 | 10,512 | 21,395 | 20,7 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 1,023 | 1,048 | 0,009 | 0,095 | 0,680 | 1,168 | 9,3 |
| | 160 | 1,148 | 1,119 | 0,087 | 0,295 | 0,704 | 1,735 | 25,7 |
| | 200 | 1,222 | 1,231 | 0,051 | 0,226 | 0,805 | 1,725 | 18,5 |
| | 240 | 1,214 | 1,167 | 0,075 | 0,274 | 0,829 | 1,882 | 22,5 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,383 | 0,378 | 0,002 | 0,050 | 0,313 | 0,519 | 13,0 |
| | 160 | 0,593 | 0,588 | 0,002 | 0,040 | 0,531 | 0,682 | 6,7 |
| | 200 | 0,626 | 0,629 | 0,002 | 0,041 | 0,555 | 0,734 | 6,6 |
| | 240 | 0,652 | 0,649 | 0,001 | 0,038 | 0,572 | 0,708 | 5,8 |
| NDRE1 | 0 | 0,065 | 0,060 | 0,001 | 0,029 | 0,030 | 0,170 | 44,3 |
| | 160 | 0,198 | 0,203 | 0,001 | 0,027 | 0,125 | 0,248 | 13,5 |
| | 200 | 0,232 | 0,234 | 0,001 | 0,036 | 0,152 | 0,329 | 15,7 |
| | 240 | 0,259 | 0,255 | 0,001 | 0,029 | 0,203 | 0,303 | 11,1 |
| NDRE2 | 0 | 0,149 | 0,135 | 0,006 | 0,075 | 0,062 | 0,426 | 50,4 |
| | 160 | 0,436 | 0,444 | 0,004 | 0,066 | 0,244 | 0,528 | 15,1 |
| | 200 | 0,498 | 0,505 | 0,004 | 0,063 | 0,321 | 0,634 | 12,6 |
| | 240 | 0,545 | 0,540 | 0,001 | 0,036 | 0,478 | 0,603 | 6,5 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0 | -0,973 | -0,974 | 0,000 | 0,002 | -0,976 | -0,965 | 0,2 |
| | 160 | -0,963 | -0,963 | 0,000 | 0,002 | -0,970 | -0,959 | 0,2 |
| | 200 | -0,961 | -0,960 | 0,000 | 0,003 | -0,967 | -0,952 | 0,3 |
| | 240 | -0,958 | -0,959 | 0,000 | 0,002 | -0,963 | -0,955 | 0,2 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0 | -0,961 | -0,962 | 0,000 | 0,006 | -0,967 | -0,939 | 0,6 |
| | 160 | -0,936 | -0,936 | 0,000 | 0,007 | -0,955 | -0,924 | 0,7 |
| | 200 | -0,928 | -0,927 | 0,000 | 0,009 | -0,948 | -0,903 | 1,0 |
| | 240 | -0,921 | -0,923 | 0,000 | 0,006 | -0,932 | -0,910 | 0,7 |
| mSR | 0 | 1,794 | 1,767 | 0,058 | 0,241 | 1,461 | 2,577 | 13,5 |
| | 160 | 3,114 | 3,025 | 0,160 | 0,400 | 2,578 | 3,925 | 12,9 |
| | 200 | 3,463 | 3,456 | 0,246 | 0,496 | 2,763 | 5,124 | 14,3 |
| | 240 | 3,733 | 3,652 | 0,203 | 0,451 | 2,919 | 4,462 | 12,1 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,585 | 2,199 | 3,257 | 1,805 | 1,523 | 10,653 | 69,8 |
| | 160 | 7,961 | 8,114 | 9,600 | 3,098 | 2,572 | 12,488 | 38,9 |
| | 200 | 9,810 | 9,631 | 7,089 | 2,663 | 3,668 | 14,192 | 27,1 |
| | 240 | 11,828 | 11,940 | 2,728 | 1,652 | 8,269 | 14,013 | 14,0 |
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,377 | 1,330 | 0,050 | 0,224 | 1,152 | 2,264 | 16,3 |
| | 160 | 2,394 | 2,424 | 0,089 | 0,298 | 1,642 | 2,963 | 12,4 |
| | 200 | 2,758 | 2,783 | 0,157 | 0,396 | 1,912 | 3,952 | 14,3 |
| | 240 | 3,044 | 3,005 | 0,086 | 0,293 | 2,543 | 3,583 | 9,6 |
| mND | 0 | 0,254 | 0,233 | 0,019 | 0,137 | 0,102 | 0,761 | 53,8 |
| | 160 | 0,679 | 0,716 | 0,016 | 0,128 | 0,343 | 0,819 | 18,9 |
| | 200 | 0,748 | 0,756 | 0,007 | 0,085 | 0,469 | 0,839 | 11,4 |
| | 240 | 0,804 | 0,810 | 0,001 | 0,029 | 0,741 | 0,838 | 3,6 |
| Red/Green | 0 | 0,874 | 0,884 | 0,006 | 0,077 | 0,591 | 0,956 | 8,9 |
| | 160 | 0,699 | 0,676 | 0,009 | 0,097 | 0,578 | 0,903 | 13,8 |
| | 200 | 0,666 | 0,661 | 0,003 | 0,058 | 0,586 | 0,837 | 8,7 |
| | 240 | 0,632 | 0,624 | 0,002 | 0,041 | 0,581 | 0,736 | 6,5 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,455 | 0,461 | 0,013 | 0,115 | 0,115 | 0,635 | 25,3 |
| | 160 | 0,160 | 0,132 | 0,006 | 0,078 | 0,085 | 0,385 | 48,8 |
| | 200 | 0,119 | 0,113 | 0,002 | 0,046 | 0,073 | 0,278 | 38,7 |
| | 240 | 0,090 | 0,087 | 0,000 | 0,014 | 0,073 | 0,124 | 15,1 |
| PSSR _a | 0 | 2,585 | 2,199 | 3,257 | 1,805 | 1,523 | 10,653 | 69,8 |
| | 160 | 7,961 | 8,114 | 9,600 | 3,098 | 2,572 | 12,488 | 38,9 |
| | 200 | 9,810 | 9,631 | 7,089 | 2,663 | 3,668 | 14,192 | 27,1 |
| | 240 | 11,828 | 11,940 | 2,728 | 1,652 | 8,269 | 14,013 | 14,0 |
| PSSR _b | 0 | 2,252 | 1,982 | 1,517 | 1,231 | 1,435 | 7,662 | 54,7 |
| | 160 | 7,087 | 7,134 | 6,212 | 2,492 | 2,475 | 10,822 | 35,2 |
| | 200 | 9,077 | 8,806 | 6,216 | 2,493 | 3,521 | 14,529 | 27,5 |
| | 240 | 11,072 | 11,087 | 2,744 | 1,657 | 7,720 | 13,986 | 15,0 |
| PSND _a | 0 | 0,385 | 0,375 | 0,018 | 0,135 | 0,207 | 0,828 | 35,0 |
| | 160 | 0,742 | 0,780 | 0,012 | 0,111 | 0,440 | 0,852 | 15,0 |
| | 200 | 0,800 | 0,812 | 0,005 | 0,067 | 0,572 | 0,868 | 8,4 |
| | 240 | 0,841 | 0,845 | 0,001 | 0,023 | 0,784 | 0,867 | 2,7 |
| PSND _b | 0 | 0,312 | 0,300 | 0,014 | 0,117 | 0,161 | 0,713 | 37,4 |
| | 160 | 0,684 | 0,708 | 0,010 | 0,099 | 0,403 | 0,788 | 14,5 |
| | 200 | 0,750 | 0,763 | 0,005 | 0,068 | 0,528 | 0,850 | 9,0 |
| | 240 | 0,796 | 0,796 | 0,001 | 0,026 | 0,747 | 0,841 | 3,3 |
| NPCI | 0 | 0,066 | 0,066 | 0,000 | 0,011 | 0,044 | 0,080 | 16,0 |
| | 160 | 0,057 | 0,051 | 0,001 | 0,036 | -0,004 | 0,134 | 63,8 |
| | 200 | 0,051 | 0,047 | 0,001 | 0,030 | 0,011 | 0,112 | 59,1 |
| | 240 | 0,056 | 0,061 | 0,001 | 0,025 | -0,001 | 0,108 | 44,4 |
| SRPI | 0 | 0,877 | 0,876 | 0,000 | 0,019 | 0,852 | 0,916 | 2,1 |
| | 160 | 0,894 | 0,903 | 0,004 | 0,064 | 0,763 | 1,008 | 7,2 |
| | 200 | 0,905 | 0,910 | 0,003 | 0,054 | 0,798 | 0,977 | 6,0 |
| | 240 | 0,895 | 0,885 | 0,002 | 0,045 | 0,806 | 1,002 | 5,0 |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0 | 0,317 | 0,303 | 0,005 | 0,071 | 0,206 | 0,540 | 22,6 |
| | 160 | 0,570 | 0,579 | 0,002 | 0,050 | 0,407 | 0,636 | 8,8 |
| | 200 | 0,599 | 0,608 | 0,002 | 0,043 | 0,497 | 0,660 | 7,1 |
| | 240 | 0,629 | 0,625 | 0,001 | 0,031 | 0,585 | 0,687 | 4,9 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 1,618 | 1,549 | 0,119 | 0,344 | 1,290 | 3,008 | 21,3 |
| | 160 | 3,307 | 3,354 | 0,299 | 0,547 | 1,993 | 4,295 | 16,5 |
| | 200 | 4,002 | 4,009 | 0,524 | 0,724 | 2,453 | 6,077 | 18,1 |
| | 240 | 4,520 | 4,313 | 0,283 | 0,532 | 3,602 | 5,623 | 11,8 |
| NPQI | 0 | -0,021 | -0,020 | 0,000 | 0,006 | -0,048 | -0,014 | 29,0 |
| | 160 | -0,017 | -0,014 | 0,000 | 0,009 | -0,044 | -0,003 | 54,8 |
| | 200 | -0,015 | -0,012 | 0,000 | 0,010 | -0,047 | -0,005 | 64,1 |
| | 240 | -0,017 | -0,016 | 0,000 | 0,010 | -0,034 | -0,001 | 62,2 |
| OCAR | 0 | 1,212 | 1,193 | 0,022 | 0,148 | 1,084 | 1,821 | 12,2 |
| | 160 | 1,354 | 1,341 | 0,035 | 0,187 | 1,064 | 1,693 | 13,8 |
| | 200 | 1,337 | 1,319 | 0,016 | 0,126 | 1,143 | 1,617 | 9,4 |
| | 240 | 1,352 | 1,367 | 0,015 | 0,123 | 1,147 | 1,584 | 9,1 |
| YCAR | 0 | 1,311 | 1,279 | 0,059 | 0,244 | 1,118 | 2,344 | 18,6 |
| | 160 | 1,607 | 1,600 | 0,104 | 0,322 | 1,116 | 2,172 | 20,0 |
| | 200 | 1,605 | 1,570 | 0,043 | 0,208 | 1,224 | 2,038 | 13,0 |
| | 240 | 1,667 | 1,693 | 0,037 | 0,191 | 1,328 | 1,982 | 11,5 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 1,964 | 1,948 | 0,043 | 0,208 | 1,410 | 2,278 | 10,6 |
| | 160 | 1,141 | 1,167 | 0,013 | 0,113 | 0,888 | 1,313 | 9,9 |
| | 200 | 1,051 | 1,033 | 0,014 | 0,116 | 0,776 | 1,271 | 11,1 |
| | 240 | 0,970 | 0,968 | 0,011 | 0,106 | 0,823 | 1,206 | 11,0 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,385 | 0,378 | 0,005 | 0,068 | 0,305 | 0,610 | 17,7 |
| | 160 | 0,822 | 0,787 | 0,015 | 0,122 | 0,664 | 1,140 | 14,8 |
| | 200 | 0,922 | 0,926 | 0,022 | 0,148 | 0,703 | 1,376 | 16,1 |
| | 240 | 1,023 | 1,007 | 0,022 | 0,147 | 0,754 | 1,255 | 14,4 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| BmSR | 0 | 0,348 | 0,345 | 0,019 | 0,139 | 0,069 | 0,655 | 40,0 |
| | 160 | 0,781 | 0,795 | 0,002 | 0,049 | 0,693 | 0,861 | 6,3 |
| | 200 | 0,817 | 0,815 | 0,002 | 0,042 | 0,722 | 0,911 | 5,2 |
| | 240 | 0,839 | 0,837 | 0,001 | 0,037 | 0,755 | 0,910 | 4,4 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0 | 0,048 | 0,044 | 0,000 | 0,011 | 0,036 | 0,080 | 23,8 |
| | 160 | 0,116 | 0,111 | 0,001 | 0,028 | 0,079 | 0,192 | 24,1 |
| | 200 | 0,141 | 0,137 | 0,001 | 0,037 | 0,093 | 0,263 | 26,4 |
| | 240 | 0,163 | 0,152 | 0,001 | 0,039 | 0,100 | 0,259 | 23,8 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,666 | 0,666 | 0,003 | 0,052 | 0,593 | 0,828 | 7,8 |
| | 160 | 0,943 | 0,925 | 0,004 | 0,062 | 0,858 | 1,092 | 6,6 |
| | 200 | 0,992 | 0,993 | 0,005 | 0,070 | 0,879 | 1,193 | 7,1 |
| | 240 | 1,038 | 1,033 | 0,004 | 0,066 | 0,904 | 1,137 | 6,4 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 921,8 | 913,0 | 53788,8 | 231,9 | 522,8 | 1598,9 | 25,2 |
| | 160 | 1833,5 | 1741,6 | 229152,7 | 478,7 | 1156,1 | 3148,6 | 26,1 |
| | 200 | 1933,2 | 1967,4 | 148420,3 | 385,3 | 1290,4 | 2752,9 | 19,9 |
| | 240 | 2253,9 | 2157,4 | 257619,9 | 507,6 | 1031,7 | 3373,4 | 22,5 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 399,9 | 372,0 | 14856,2 | 121,9 | 256,9 | 822,0 | 30,5 |
| | 160 | 862,0 | 820,1 | 49546,1 | 222,6 | 531,3 | 1352,4 | 25,8 |
| | 200 | 891,1 | 861,8 | 52250,6 | 228,6 | 577,2 | 1322,3 | 25,7 |
| | 240 | 944,8 | 921,6 | 36366,3 | 190,7 | 497,6 | 1289,6 | 20,2 |
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 1321,7 | 1274,6 | 106231,4 | 325,9 | 887,8 | 2420,9 | 24,7 |
| | 160 | 2695,5 | 2604,5 | 461117,1 | 679,1 | 1749,1 | 4422,8 | 25,2 |
| | 200 | 2824,3 | 2765,8 | 345391,8 | 587,7 | 1867,6 | 4016,3 | 20,8 |
| | 240 | 3198,8 | 3031,2 | 457306,8 | 676,2 | 1529,3 | 4663,0 | 21,1 |

Estadísticas descriptivas para grano maduro.

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|----------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| RES | 0 | 0,846 | 0,863 | 0,003 | 0,052 | 0,687 | 0,903 | 6,2 |
| | 160 | 0,774 | 0,778 | 0,002 | 0,040 | 0,682 | 0,832 | 5,1 |
| | 200 | 0,726 | 0,733 | 0,002 | 0,043 | 0,636 | 0,790 | 5,9 |
| | 240 | 0,689 | 0,702 | 0,005 | 0,070 | 0,548 | 0,816 | 10,1 |
| NDVI1 | 0 | 0,324 | 0,304 | 0,009 | 0,096 | 0,179 | 0,564 | 29,5 |
| | 160 | 0,692 | 0,705 | 0,008 | 0,089 | 0,394 | 0,790 | 12,8 |
| | 200 | 0,736 | 0,758 | 0,006 | 0,081 | 0,521 | 0,824 | 10,9 |
| | 240 | 0,781 | 0,786 | 0,002 | 0,048 | 0,649 | 0,849 | 6,1 |
| NDVI2 | 0 | 0,091 | 0,075 | 0,002 | 0,048 | 0,045 | 0,225 | 52,7 |
| | 160 | 0,228 | 0,228 | 0,002 | 0,046 | 0,114 | 0,308 | 20,3 |
| | 200 | 0,287 | 0,277 | 0,003 | 0,058 | 0,182 | 0,399 | 20,4 |
| | 240 | 0,332 | 0,322 | 0,006 | 0,076 | 0,183 | 0,452 | 22,8 |
| GNDVI | 0 | 0,183 | 0,172 | 0,002 | 0,049 | 0,107 | 0,294 | 26,7 |
| | 160 | 0,431 | 0,446 | 0,003 | 0,054 | 0,254 | 0,521 | 12,6 |
| | 200 | 0,480 | 0,490 | 0,004 | 0,060 | 0,324 | 0,574 | 12,6 |
| | 240 | 0,530 | 0,540 | 0,002 | 0,047 | 0,426 | 0,626 | 8,9 |
| PPR | 0 | 0,240 | 0,234 | 0,004 | 0,060 | 0,154 | 0,403 | 25,1 |
| | 160 | 0,501 | 0,521 | 0,011 | 0,107 | 0,225 | 0,614 | 21,3 |
| | 200 | 0,476 | 0,513 | 0,008 | 0,090 | 0,276 | 0,603 | 18,9 |
| | 240 | 0,504 | 0,512 | 0,002 | 0,046 | 0,413 | 0,593 | 9,2 |
| PRI | 0 | -0,034 | -0,037 | 0,000 | 0,014 | -0,063 | -0,007 | 41,8 |
| | 160 | -0,059 | -0,064 | 0,001 | 0,023 | -0,113 | -0,011 | 39,2 |
| | 200 | -0,040 | -0,040 | 0,000 | 0,017 | -0,073 | 0,002 | 41,5 |
| | 240 | -0,035 | -0,035 | 0,001 | 0,029 | -0,090 | 0,008 | 82,6 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|---------|----------|------------------------|-------|--------|-------------|
| SIPI | 0 | 1,223 | 1,224 | 0,012 | 0,110 | 1,040 | 1,393 | 9,0 |
| | 160 | 1,066 | 1,055 | 0,002 | 0,040 | 1,027 | 1,210 | 3,8 |
| | 200 | 1,035 | 1,032 | 0,000 | 0,017 | 1,012 | 1,088 | 1,6 |
| | 240 | 1,032 | 1,024 | 0,001 | 0,025 | 0,998 | 1,115 | 2,5 |
| REArea | 0 | 0,416 | 0,408 | 0,007 | 0,084 | 0,272 | 0,604 | 20,2 |
| | 160 | 0,658 | 0,666 | 0,003 | 0,050 | 0,486 | 0,729 | 7,6 |
| | 200 | 0,668 | 0,672 | 0,003 | 0,055 | 0,523 | 0,746 | 8,2 |
| | 240 | 0,674 | 0,675 | 0,001 | 0,036 | 0,569 | 0,732 | 5,4 |
| TACRI | 0 | 0,929 | 0,937 | 0,074 | 0,272 | 0,527 | 1,692 | 29,3 |
| | 160 | 2,246 | 2,363 | 0,356 | 0,597 | 0,850 | 3,118 | 26,6 |
| | 200 | 1,926 | 1,987 | 0,197 | 0,444 | 1,086 | 3,048 | 23,0 |
| | 240 | 1,899 | 1,882 | 0,234 | 0,484 | 0,948 | 3,077 | 25,5 |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | 0 | 0,664 | 0,668 | 0,006 | 0,080 | 0,455 | 0,797 | 12,0 |
| | 160 | 0,346 | 0,318 | 0,008 | 0,091 | 0,248 | 0,604 | 26,4 |
| | 200 | 0,338 | 0,315 | 0,005 | 0,074 | 0,250 | 0,535 | 21,7 |
| | 240 | 0,310 | 0,301 | 0,001 | 0,037 | 0,258 | 0,400 | 11,9 |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | 0 | 1,061 | 1,046 | 0,001 | 0,038 | 1,029 | 1,180 | 3,6 |
| | 160 | 1,162 | 1,158 | 0,002 | 0,040 | 1,074 | 1,234 | 3,4 |
| | 200 | 1,215 | 1,201 | 0,003 | 0,058 | 1,122 | 1,335 | 4,7 |
| | 240 | 1,269 | 1,246 | 0,008 | 0,087 | 1,125 | 1,450 | 6,9 |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | 0 | 0,874 | 0,897 | 0,004 | 0,063 | 0,697 | 0,934 | 7,2 |
| | 160 | 0,708 | 0,708 | 0,003 | 0,054 | 0,618 | 0,844 | 7,6 |
| | 200 | 0,642 | 0,652 | 0,004 | 0,064 | 0,523 | 0,760 | 9,9 |
| | 240 | 0,593 | 0,604 | 0,007 | 0,084 | 0,454 | 0,760 | 14,1 |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | 0 | 0,696 | 0,709 | 0,011 | 0,104 | 0,464 | 0,826 | 14,9 |
| | 160 | 0,395 | 0,394 | 0,005 | 0,074 | 0,295 | 0,626 | 18,7 |
| | 200 | 0,322 | 0,318 | 0,005 | 0,071 | 0,215 | 0,485 | 22,0 |
| | 240 | 0,279 | 0,272 | 0,005 | 0,073 | 0,180 | 0,460 | 26,2 |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | 0 | 1,347 | 1,341 | 0,016 | 0,126 | 1,171 | 1,734 | 9,4 |
| | 160 | 2,234 | 2,326 | 0,132 | 0,364 | 1,410 | 2,773 | 16,3 |
| | 200 | 2,189 | 2,242 | 0,101 | 0,317 | 1,515 | 2,769 | 14,5 |
| | 240 | 2,300 | 2,338 | 0,051 | 0,225 | 1,811 | 2,708 | 9,8 |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | 0 | 1,207 | 1,163 | 0,016 | 0,127 | 1,095 | 1,582 | 10,6 |
| | 160 | 1,600 | 1,590 | 0,024 | 0,154 | 1,256 | 1,891 | 9,6 |
| | 200 | 1,825 | 1,768 | 0,058 | 0,240 | 1,444 | 2,326 | 13,2 |
| | 240 | 2,032 | 1,951 | 0,118 | 0,343 | 1,449 | 2,650 | 16,9 |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 2,021 | 1,897 | 0,203 | 0,451 | 1,502 | 3,294 | 22,3 |
| | 160 | 4,868 | 4,848 | 0,947 | 0,973 | 2,412 | 7,019 | 20,0 |
| | 200 | 6,432 | 6,163 | 2,953 | 1,718 | 3,563 | 10,071 | 26,7 |
| | 240 | 8,366 | 8,167 | 5,389 | 2,321 | 4,292 | 13,337 | 27,7 |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | 0 | 0,997 | 1,016 | 0,005 | 0,069 | 0,809 | 1,152 | 7,0 |
| | 160 | 0,825 | 0,794 | 0,029 | 0,170 | 0,632 | 1,237 | 20,6 |
| | 200 | 0,881 | 0,832 | 0,018 | 0,133 | 0,632 | 1,161 | 15,1 |
| | 240 | 0,929 | 0,904 | 0,024 | 0,154 | 0,717 | 1,329 | 16,6 |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | 0 | 0,275 | 0,251 | 0,005 | 0,071 | 0,193 | 0,480 | 25,7 |
| | 160 | 0,375 | 0,373 | 0,003 | 0,051 | 0,297 | 0,488 | 13,6 |
| | 200 | 0,439 | 0,432 | 0,003 | 0,052 | 0,357 | 0,543 | 11,8 |
| | 240 | 0,480 | 0,470 | 0,007 | 0,083 | 0,317 | 0,630 | 17,2 |
| NDRE1 | 0 | 0,039 | 0,031 | 0,000 | 0,021 | 0,021 | 0,104 | 52,6 |
| | 160 | 0,096 | 0,097 | 0,000 | 0,020 | 0,048 | 0,134 | 21,1 |
| | 200 | 0,125 | 0,121 | 0,001 | 0,028 | 0,077 | 0,181 | 22,7 |
| | 240 | 0,151 | 0,142 | 0,002 | 0,043 | 0,076 | 0,236 | 28,3 |
| NDRE2 | 0 | 0,088 | 0,072 | 0,002 | 0,050 | 0,040 | 0,226 | 56,5 |
| | 160 | 0,252 | 0,258 | 0,003 | 0,053 | 0,112 | 0,341 | 20,9 |
| | 200 | 0,317 | 0,307 | 0,004 | 0,067 | 0,186 | 0,437 | 21,1 |
| | 240 | 0,369 | 0,361 | 0,007 | 0,082 | 0,201 | 0,495 | 22,2 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|---------------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | 0 | -0,975 | -0,976 | 0,000 | 0,002 | -0,977 | -0,971 | 0,2 |
| | 160 | -0,971 | -0,971 | 0,000 | 0,002 | -0,975 | -0,968 | 0,2 |
| | 200 | -0,968 | -0,969 | 0,000 | 0,002 | -0,972 | -0,964 | 0,2 |
| | 240 | -0,967 | -0,967 | 0,000 | 0,003 | -0,972 | -0,961 | 0,3 |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | 0 | -0,966 | -0,966 | 0,000 | 0,003 | -0,969 | -0,956 | 0,4 |
| | 160 | -0,954 | -0,954 | 0,000 | 0,004 | -0,964 | -0,947 | 0,4 |
| | 200 | -0,949 | -0,950 | 0,000 | 0,006 | -0,959 | -0,937 | 0,6 |
| | 240 | -0,944 | -0,945 | 0,000 | 0,008 | -0,958 | -0,929 | 0,9 |
| mSR | 0 | 1,421 | 1,335 | 0,061 | 0,248 | 1,188 | 2,231 | 17,4 |
| | 160 | 1,772 | 1,745 | 0,050 | 0,224 | 1,453 | 2,297 | 12,6 |
| | 200 | 2,061 | 2,009 | 0,077 | 0,277 | 1,663 | 2,701 | 13,4 |
| | 240 | 2,304 | 2,168 | 0,223 | 0,472 | 1,548 | 3,323 | 20,5 |
| SR ₆₈₀ | 0 | 2,026 | 1,874 | 0,261 | 0,511 | 1,435 | 3,590 | 25,2 |
| | 160 | 5,899 | 5,783 | 2,458 | 1,568 | 2,302 | 8,518 | 26,6 |
| | 200 | 7,156 | 7,276 | 4,224 | 2,055 | 3,171 | 10,369 | 28,7 |
| | 240 | 8,478 | 8,338 | 3,200 | 1,789 | 4,700 | 12,220 | 21,1 |
| SR ₇₀₅ | 0 | 1,207 | 1,163 | 0,016 | 0,127 | 1,095 | 1,582 | 10,6 |
| | 160 | 1,600 | 1,590 | 0,024 | 0,154 | 1,256 | 1,891 | 9,6 |
| | 200 | 1,825 | 1,768 | 0,058 | 0,240 | 1,444 | 2,326 | 13,2 |
| | 240 | 2,032 | 1,951 | 0,118 | 0,343 | 1,449 | 2,650 | 16,9 |
| mND | 0 | 0,167 | 0,154 | 0,008 | 0,088 | 0,069 | 0,386 | 52,3 |
| | 160 | 0,588 | 0,604 | 0,012 | 0,109 | 0,215 | 0,716 | 18,5 |
| | 200 | 0,639 | 0,664 | 0,013 | 0,114 | 0,348 | 0,775 | 17,8 |
| | 240 | 0,707 | 0,720 | 0,004 | 0,064 | 0,552 | 0,814 | 9,0 |
| Red/Green | 0 | 0,943 | 0,958 | 0,003 | 0,058 | 0,816 | 1,016 | 6,1 |
| | 160 | 0,819 | 0,810 | 0,008 | 0,089 | 0,706 | 1,128 | 10,9 |
| | 200 | 0,762 | 0,753 | 0,005 | 0,067 | 0,646 | 0,880 | 8,8 |
| | 240 | 0,739 | 0,746 | 0,006 | 0,079 | 0,615 | 0,930 | 10,7 |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | 0 | 0,487 | 0,505 | 0,008 | 0,089 | 0,284 | 0,653 | 18,2 |
| | 160 | 0,175 | 0,158 | 0,004 | 0,063 | 0,123 | 0,416 | 36,3 |
| | 200 | 0,155 | 0,137 | 0,003 | 0,055 | 0,100 | 0,317 | 35,4 |
| | 240 | 0,122 | 0,120 | 0,000 | 0,022 | 0,081 | 0,177 | 17,7 |
| PSSR _a | 0 | 2,026 | 1,874 | 0,261 | 0,511 | 1,435 | 3,590 | 25,2 |
| | 160 | 5,899 | 5,783 | 2,458 | 1,568 | 2,302 | 8,518 | 26,6 |
| | 200 | 7,156 | 7,276 | 4,224 | 2,055 | 3,171 | 10,369 | 28,7 |
| | 240 | 8,478 | 8,338 | 3,200 | 1,789 | 4,700 | 12,220 | 21,1 |
| PSSR _b | 0 | 1,755 | 1,667 | 0,159 | 0,398 | 1,326 | 2,765 | 22,7 |
| | 160 | 4,370 | 4,133 | 1,081 | 1,040 | 2,009 | 6,064 | 23,8 |
| | 200 | 5,669 | 5,442 | 2,646 | 1,627 | 2,754 | 8,397 | 28,7 |
| | 240 | 6,921 | 6,824 | 3,259 | 1,805 | 3,465 | 11,153 | 26,1 |
| PSND _a | 0 | 0,324 | 0,304 | 0,009 | 0,096 | 0,179 | 0,564 | 29,5 |
| | 160 | 0,692 | 0,705 | 0,008 | 0,089 | 0,394 | 0,790 | 12,8 |
| | 200 | 0,736 | 0,758 | 0,006 | 0,081 | 0,521 | 0,824 | 10,9 |
| | 240 | 0,781 | 0,786 | 0,002 | 0,048 | 0,649 | 0,849 | 6,1 |
| PSND _b | 0 | 0,230 | 0,221 | 0,007 | 0,083 | 0,124 | 0,411 | 36,1 |
| | 160 | 0,538 | 0,539 | 0,006 | 0,078 | 0,291 | 0,651 | 14,5 |
| | 200 | 0,614 | 0,615 | 0,007 | 0,084 | 0,413 | 0,734 | 13,7 |
| | 240 | 0,670 | 0,682 | 0,006 | 0,076 | 0,476 | 0,790 | 11,4 |
| NPCI | 0 | 0,122 | 0,117 | 0,002 | 0,042 | 0,049 | 0,226 | 34,3 |
| | 160 | 0,193 | 0,195 | 0,008 | 0,087 | 0,050 | 0,423 | 45,2 |
| | 200 | 0,122 | 0,119 | 0,002 | 0,050 | 0,057 | 0,221 | 40,5 |
| | 240 | 0,128 | 0,119 | 0,004 | 0,067 | -0,006 | 0,295 | 52,0 |
| SRPI | 0 | 0,786 | 0,791 | 0,004 | 0,065 | 0,631 | 0,907 | 8,3 |
| | 160 | 0,685 | 0,674 | 0,014 | 0,120 | 0,405 | 0,905 | 17,5 |
| | 200 | 0,785 | 0,787 | 0,006 | 0,078 | 0,637 | 0,892 | 9,9 |
| | 240 | 0,778 | 0,787 | 0,010 | 0,102 | 0,544 | 1,011 | 13,1 |

(Continuación)

| Variable | Tr (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|------------------------------------|---------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|--------|-------------|
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | 0 | 0,275 | 0,265 | 0,003 | 0,055 | 0,182 | 0,396 | 19,9 |
| | 160 | 0,499 | 0,501 | 0,002 | 0,043 | 0,361 | 0,570 | 8,5 |
| | 200 | 0,528 | 0,528 | 0,003 | 0,051 | 0,389 | 0,607 | 9,7 |
| | 240 | 0,550 | 0,558 | 0,001 | 0,039 | 0,472 | 0,631 | 7,0 |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | 0 | 1,475 | 1,430 | 0,026 | 0,162 | 1,251 | 1,864 | 11,0 |
| | 160 | 2,602 | 2,680 | 0,104 | 0,322 | 1,707 | 3,264 | 12,4 |
| | 200 | 2,980 | 3,008 | 0,215 | 0,463 | 1,998 | 3,814 | 15,6 |
| | 240 | 3,410 | 3,466 | 0,215 | 0,464 | 2,530 | 4,527 | 13,6 |
| NPQI | 0 | -0,028 | -0,026 | 0,000 | 0,007 | -0,047 | -0,015 | 24,6 |
| | 160 | -0,028 | -0,026 | 0,000 | 0,012 | -0,051 | -0,009 | 43,8 |
| | 200 | -0,017 | -0,014 | 0,000 | 0,013 | -0,043 | 0,003 | 74,8 |
| | 240 | -0,019 | -0,018 | 0,000 | 0,011 | -0,050 | -0,003 | 56,3 |
| OCAR | 0 | 1,239 | 1,233 | 0,009 | 0,093 | 1,106 | 1,511 | 7,5 |
| | 160 | 1,724 | 1,752 | 0,053 | 0,230 | 1,166 | 2,060 | 13,3 |
| | 200 | 1,643 | 1,687 | 0,029 | 0,170 | 1,332 | 1,880 | 10,3 |
| | 240 | 1,639 | 1,665 | 0,019 | 0,137 | 1,366 | 1,909 | 8,4 |
| YCAR | 0 | 1,299 | 1,275 | 0,015 | 0,123 | 1,133 | 1,697 | 9,5 |
| | 160 | 1,945 | 1,960 | 0,098 | 0,313 | 1,249 | 2,416 | 16,1 |
| | 200 | 1,891 | 1,902 | 0,059 | 0,244 | 1,425 | 2,196 | 12,9 |
| | 240 | 1,913 | 1,934 | 0,024 | 0,155 | 1,611 | 2,160 | 8,1 |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | 0 | 2,596 | 2,726 | 0,173 | 0,416 | 1,503 | 3,101 | 16,0 |
| | 160 | 2,016 | 2,043 | 0,059 | 0,244 | 1,495 | 2,459 | 12,1 |
| | 200 | 1,774 | 1,793 | 0,053 | 0,230 | 1,337 | 2,156 | 13,0 |
| | 240 | 1,583 | 1,577 | 0,106 | 0,325 | 1,015 | 2,320 | 20,6 |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | 0 | 0,277 | 0,248 | 0,007 | 0,082 | 0,209 | 0,559 | 29,5 |
| | 160 | 0,383 | 0,368 | 0,005 | 0,069 | 0,291 | 0,559 | 18,1 |
| | 200 | 0,462 | 0,446 | 0,008 | 0,090 | 0,347 | 0,658 | 19,4 |
| | 240 | 0,554 | 0,517 | 0,025 | 0,157 | 0,310 | 0,941 | 28,3 |
| BND | 0 | -0,564 | -0,602 | 0,010 | 0,101 | -0,654 | -0,250 | 17,9 |
| | 160 | -0,427 | -0,440 | 0,006 | 0,078 | -0,544 | -0,243 | 18,2 |
| | 200 | -0,340 | -0,350 | 0,008 | 0,087 | -0,458 | -0,158 | 25,5 |
| | 240 | -0,265 | -0,287 | 0,018 | 0,133 | -0,508 | 0,001 | 50,1 |
| BmND | 0 | -1,242 | -1,173 | 0,343 | 0,586 | -2,729 | -0,314 | 47,2 |
| | 160 | -0,558 | -0,556 | 0,017 | 0,130 | -0,784 | -0,281 | 23,4 |
| | 200 | -0,413 | -0,422 | 0,014 | 0,117 | -0,593 | -0,180 | 28,2 |
| | 240 | -0,317 | -0,330 | 0,030 | 0,172 | -0,655 | 0,001 | 54,2 |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | 0 | 0,041 | 0,040 | 0,000 | 0,008 | 0,031 | 0,066 | 19,1 |
| | 160 | 0,050 | 0,050 | 0,000 | 0,009 | 0,038 | 0,074 | 17,3 |
| | 200 | 0,063 | 0,060 | 0,000 | 0,013 | 0,039 | 0,092 | 21,0 |
| | 240 | 0,077 | 0,068 | 0,001 | 0,028 | 0,032 | 0,152 | 36,7 |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | 0 | 0,556 | 0,529 | 0,005 | 0,073 | 0,489 | 0,785 | 13,1 |
| | 160 | 0,656 | 0,644 | 0,003 | 0,055 | 0,573 | 0,787 | 8,4 |
| | 200 | 0,717 | 0,708 | 0,004 | 0,065 | 0,628 | 0,854 | 9,0 |
| | 240 | 0,776 | 0,759 | 0,010 | 0,102 | 0,591 | 0,996 | 13,2 |
| Clorofila A µg /mg | 0 | 532,9 | 498,1 | 54511,9 | 233,5 | 187,0 | 1065,0 | 43,8 |
| | 160 | 644,7 | 620,9 | 32534,1 | 180,4 | 326,8 | 1156,1 | 28,0 |
| | 200 | 744,0 | 744,5 | 43713,1 | 209,1 | 358,9 | 1212,9 | 28,1 |
| | 240 | 1045,6 | 964,7 | 165968,4 | 407,4 | 340,3 | 2006,1 | 39,0 |
| Clorofila B µg /mg | 0 | 371,1 | 373,3 | 22548,5 | 150,2 | 135,1 | 646,5 | 40,5 |
| | 160 | 430,7 | 410,0 | 22307,6 | 149,4 | 206,2 | 797,1 | 34,7 |
| | 200 | 460,3 | 427,4 | 20073,5 | 141,7 | 240,2 | 751,6 | 30,8 |
| | 240 | 617,1 | 574,6 | 58448,7 | 241,8 | 224,6 | 1089,2 | 39,2 |
| Clorofila Total µg /mg | 0 | 904,0 | 933,3 | 125713,1 | 354,6 | 322,1 | 1664,5 | 39,2 |
| | 160 | 1075,4 | 1093,5 | 99396,7 | 315,3 | 533,0 | 1953,2 | 29,3 |
| | 200 | 1204,3 | 1211,5 | 113898,3 | 337,5 | 649,2 | 1964,5 | 28,0 |
| | 240 | 1662,7 | 1609,6 | 402986,5 | 634,8 | 564,9 | 3067,6 | 38,2 |

Estadística descriptiva para el rendimiento

| Variable Kg- N/ha | Rendimiento (kg/ha) | Media | Mediana | Varianza | Desviación estándar | Min | Max | Cv(%) |
|----------------------|------------------------|-------|---------|----------|------------------------|------|------|-------|
| 0 | 1932 | 3095 | 3299 | 675239 | 822 | 1932 | 3850 | 27 |
| | 3398 | | | | | | | |
| | 3200 | | | | | | | |
| | 3850 | | | | | | | |
| 160 | 7843 | 7857 | 7797 | 105991 | 326 | 7531 | 8304 | 4 |
| | 8304 | | | | | | | |
| | 7531 | | | | | | | |
| | 7750 | | | | | | | |
| 200 | 8670 | 7480 | 7235 | 692855 | 832 | 6779 | 8670 | 11 |
| | 7076 | | | | | | | |
| | 7393 | | | | | | | |
| | 6779 | | | | | | | |
| 240 | 6672 | 7165 | 7151 | 172080 | 415 | 6672 | 7686 | 6 |
| | 7176 | | | | | | | |
| | 7686 | | | | | | | |
| | 7126 | | | | | | | |

B. Anexo: Análisis de varianza (ANOVA multifactorial)

Análisis de varianza para el macollamiento.

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|----------|-------------------|-------------|----|--------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 0,0386717 | 3 | 0,0128906 | 8,64 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,132834 | 89 | 0,00149252 | | |
| | Total (corregido) | 0,182935 | 95 | | | |
| | Error | 0,00788595 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 0,0395603 | 3 | 0,0131868 | 1,29 | 0,2835 |
| | Residuo | 0,911343 | 89 | 0,0102398 | | |
| | Total (corregido) | 0,988399 | 95 | | | |
| | Error | 0,0206557 | | | | |
| NDVI2 | Tratamiento | 0,00549242 | 3 | 0,00183081 | 0,60 | 0,6179 |
| | Residuo | 0,272421 | 89 | 0,00306091 | | |
| | Total (corregido) | 0,281993 | 95 | | | |
| | Error | 0,0112933 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 0,00785869 | 3 | 0,00261956 | 0,69 | 0,5610 |
| | Residuo | 0,338256 | 89 | 0,00380063 | | |
| | Total (corregido) | 0,353117 | 95 | | | |
| | Error | 0,0125841 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 0,0315705 | 3 | 0,0105235 | 3,54 | 0,0179 |
| | Residuo | 0,26466 | 89 | 0,0029737 | | |
| | Total (corregido) | 0,311609 | 95 | | | |
| | Error | 0,0111312 | | | | |
| PRI | Tratamiento | 0,000027646 | 3 | 0,0000092156 | 0,50 | 0,6862 |
| | Residuo | 0,00165456 | 89 | 0,0000185906 | | |
| | Total (corregido) | 0,00170776 | 95 | | | |
| | Error | 0,000880117 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,000569691 | 3 | 0,000189897 | 0,36 | 0,7847 |
| | Residuo | 0,0474312 | 89 | 0,000532935 | | |
| | Total (corregido) | 0,0500465 | 95 | | | |
| | Error | 0,00471228 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 0,0219269 | 3 | 0,00730896 | 1,09 | 0,3578 |
| | Residuo | 0,59706 | 89 | 0,00670853 | | |
| | Total (corregido) | 0,641618 | 95 | | | |
| | Error | 0,0167189 | | | | |
| DDI | Tratamiento | 0,0245639 | 3 | 0,00818796 | 6,16 | 0,0007 |
| | Residuo | 0,118282 | 89 | 0,00132901 | | |
| | Total (corregido) | 0,148441 | 95 | | | |
| | Error | 0,00744147 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 0,351434 | 3 | 0,117145 | 4,40 | 0,0062 |
| | Residuo | 2,37112 | 89 | 0,0266419 | | |
| | Total (corregido) | 2,92519 | 95 | | | |
| | Error | 0,0333178 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----|--------------|-----------|---------------|
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 0,0619879 | 3 | 0,0206626 | 3,08 | 0,0314 |
| | Residuo | 0,596505 | 89 | 0,00670231 | | |
| | Total (corregido) | 0,701228 | 95 | | | |
| | Error | 0,0167112 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 0,00730318 | 3 | 0,00243439 | 0,82 | 0,4888 |
| | Residuo | 0,265756 | 89 | 0,00298602 | | |
| | Total (corregido) | 0,274258 | 95 | | | |
| | Error | 0,0111543 | | | | |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 0,0080504 | 3 | 0,00268347 | 0,69 | 0,5581 |
| | Residuo | 0,344091 | 89 | 0,0038662 | | |
| | Total (corregido) | 0,354988 | 95 | | | |
| | Error | 0,0126922 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 0,0220498 | 3 | 0,00734992 | 0,90 | 0,4462 |
| | Residuo | 0,729574 | 89 | 0,00819746 | | |
| | Total (corregido) | 0,773384 | 95 | | | |
| | Error | 0,0184814 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 0,0734774 | 3 | 0,0244925 | 3,19 | 0,0274 |
| | Residuo | 0,682585 | 89 | 0,00766949 | | |
| | Total (corregido) | 0,803475 | 95 | | | |
| | Error | 0,0178763 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 0,0637547 | 3 | 0,0212516 | 0,53 | 0,6611 |
| | Residuo | 3,55147 | 89 | 0,0399041 | | |
| | Total (corregido) | 3,66858 | 95 | | | |
| | Error | 0,0407759 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 1,5757 | 3 | 0,525234 | 0,61 | 0,6071 |
| | Residuo | 76,0126 | 89 | 0,854074 | | |
| | Total (corregido) | 78,958 | 95 | | | |
| | Error | 0,188644 | | | | |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 0,176255 | 3 | 0,0587516 | 5,41 | 0,0018 |
| | Residuo | 0,966273 | 89 | 0,010857 | | |
| | Total (corregido) | 1,17903 | 95 | | | |
| | Error | 0,0212691 | | | | |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | Tratamiento | 0,0418977 | 3 | 0,0139659 | 8,53 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,145695 | 89 | 0,00163703 | | |
| | Total (corregido) | 0,200072 | 95 | | | |
| | Error | 0,0082589 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 0,00288177 | 3 | 0,000960589 | 1,18 | 0,3210 |
| | Residuo | 0,0722888 | 89 | 0,000812234 | | |
| | Total (corregido) | 0,0753594 | 95 | | | |
| | Error | 0,00581748 | | | | |
| NDRE2 | Tratamiento | 0,00691326 | 3 | 0,00230442 | 0,61 | 0,6074 |
| | Residuo | 0,333803 | 89 | 0,0037506 | | |
| | Total (corregido) | 0,345749 | 95 | | | |
| | Error | 0,012501 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | Tratamiento | 0,000009487 | 3 | 0,0000031625 | 0,66 | 0,5786 |
| | Residuo | 0,000426223 | 89 | 0,0000047890 | | |
| | Total (corregido) | 0,000439627 | 95 | | | |
| | Error | 0,000446702 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | Tratamiento | 0,000045867 | 3 | 0,0000152892 | 0,55 | 0,6469 |
| | Residuo | 0,00245718 | 89 | 0,0000276087 | | |
| | Total (corregido) | 0,0025412 | 95 | | | |
| | Error | 0,00107255 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 3,00601 | 3 | 1,002 | 5,74 | 0,0012 |
| | Residuo | 15,5369 | 89 | 0,174571 | | |
| | Total (corregido) | 18,8915 | 95 | | | |
| | Error | 0,0852866 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|----|--------------|-----------|-----------|
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 2,14822 | 3 | 0,716073 | 1,38 | 0,2532 |
| | Residuo | 46,0823 | 89 | 0,517779 | | |
| | Total (corregido) | 50,0928 | 95 | | | |
| | Error | 0,146881 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 0,0637547 | 3 | 0,0212516 | 0,53 | 0,6611 |
| | Residuo | 3,55147 | 89 | 0,0399041 | | |
| | Total (corregido) | 3,66858 | 95 | | | |
| | Error | 0,0407759 | | | | |
| mND | Tratamiento | 0,0240462 | 3 | 0,00801541 | 1,01 | 0,3930 |
| | Residuo | 0,707572 | 89 | 0,00795025 | | |
| | Total (corregido) | 0,751459 | 95 | | | |
| | Error | 0,0182006 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,000202418 | 3 | 0,0000674726 | 0,74 | 0,5286 |
| | Residuo | 0,00807067 | 89 | 0,0000906817 | | |
| | Total (corregido) | 0,00892691 | 95 | | | |
| | Error | 0,00194381 | | | | |
| Red/Green | Tratamiento | 0,0176965 | 3 | 0,00589883 | 2,30 | 0,0825 |
| | Residuo | 0,228001 | 89 | 0,00256181 | | |
| | Total (corregido) | 0,260609 | 95 | | | |
| | Error | 0,0103316 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 0,0322735 | 3 | 0,0107578 | 1,27 | 0,2883 |
| | Residuo | 0,751621 | 89 | 0,00844518 | | |
| | Total (corregido) | 0,811679 | 95 | | | |
| | Error | 0,0187585 | | | | |
| PSSR _a | Tratamiento | 2,14822 | 3 | 0,716073 | 1,38 | 0,2532 |
| | Residuo | 46,0823 | 89 | 0,517779 | | |
| | Total (corregido) | 50,0928 | 95 | | | |
| | Error | 0,146881 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 1,24991 | 3 | 0,416635 | 1,12 | 0,3459 |
| | Residuo | 33,1467 | 89 | 0,372435 | | |
| | Total (corregido) | 35,5589 | 95 | | | |
| | Error | 0,124572 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 0,0395603 | 3 | 0,0131868 | 1,29 | 0,2835 |
| | Residuo | 0,911343 | 89 | 0,0102398 | | |
| | Total (corregido) | 0,988399 | 95 | | | |
| | Error | 0,0206557 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 0,0232342 | 3 | 0,00774472 | 0,97 | 0,4124 |
| | Residuo | 0,713475 | 89 | 0,00801657 | | |
| | Total (corregido) | 0,759878 | 95 | | | |
| | Error | 0,0182763 | | | | |
| NPCI | Tratamiento | 0,000315944 | 3 | 0,000105315 | 0,41 | 0,7465 |
| | Residuo | 0,0228809 | 89 | 0,000257089 | | |
| | Total (corregido) | 0,0242178 | 95 | | | |
| | Error | 0,00327292 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,00117165 | 3 | 0,000390549 | 0,39 | 0,7623 |
| | Residuo | 0,089701 | 89 | 0,00100788 | | |
| | Total (corregido) | 0,0948472 | 95 | | | |
| | Error | 0,00648034 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 0,0042635 | 3 | 0,00142117 | 0,38 | 0,7698 |
| | Residuo | 0,33552 | 89 | 0,00376989 | | |
| | Total (corregido) | 0,344089 | 95 | | | |
| | Error | 0,0125331 | | | | |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 0,128455 | 3 | 0,0428183 | 0,58 | 0,6292 |
| | Residuo | 6,56277 | 89 | 0,073739 | | |
| | Total (corregido) | 6,81394 | 95 | | | |
| | Error | 0,0554298 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|----|--------------|-----------|---------------|
| NPQI | Tratamiento | 0,000091402 | 3 | 0,0000304675 | 3,63 | 0,0159 |
| | Residuo | 0,000746051 | 89 | 0,0000083826 | | |
| | Total (corregido) | 0,000857082 | 95 | | | |
| | Error | 0,000590995 | | | | |
| OCAR | Tratamiento | 0,0352413 | 3 | 0,0117471 | 3,58 | 0,0170 |
| | Residuo | 0,292239 | 89 | 0,00328359 | | |
| | Total (corregido) | 0,35025 | 95 | | | |
| | Error | 0,0116968 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 0,0853587 | 3 | 0,0284529 | 3,32 | 0,0234 |
| | Residuo | 0,762692 | 89 | 0,00856957 | | |
| | Total (corregido) | 0,904122 | 95 | | | |
| | Error | 0,0188962 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 0,393943 | 3 | 0,131314 | 8,81 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,32693 | 89 | 0,0149093 | | |
| | Total (corregido) | 1,85181 | 95 | | | |
| | Error | 0,0249243 | | | | |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 0,334878 | 3 | 0,111626 | 8,49 | 0,0001 |
| | Residuo | 1,17075 | 89 | 0,0131545 | | |
| | Total (corregido) | 1,59738 | 95 | | | |
| | Error | 0,0234116 | | | | |
| BND | Tratamiento | 0,122639 | 3 | 0,0408798 | 8,00 | 0,0001 |
| | Residuo | 0,454961 | 89 | 0,00511192 | | |
| | Total (corregido) | 0,61335 | 95 | | | |
| | Error | 0,0145944 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 0,0657557 | 3 | 0,0219186 | 7,87 | 0,0001 |
| | Residuo | 0,248024 | 89 | 0,00278679 | | |
| | Total (corregido) | 0,319474 | 95 | | | |
| | Error | 0,0107757 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 0,170958 | 3 | 0,0569859 | 8,05 | 0,0001 |
| | Residuo | 0,630138 | 89 | 0,0070802 | | |
| | Total (corregido) | 0,849886 | 95 | | | |
| | Error | 0,0171758 | | | | |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,0295326 | 3 | 0,00984419 | 8,67 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,101062 | 89 | 0,00113553 | | |
| | Total (corregido) | 0,137804 | 95 | | | |
| | Error | 0,00687851 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 0,0943821 | 3 | 0,0314607 | 8,77 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,319167 | 89 | 0,00358615 | | |
| | Total (corregido) | 0,440563 | 95 | | | |
| | Error | 0,0122239 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 2,66805E6 | 3 | 889349, | 6,46 | 0,0005 |
| | Residuo | 1,22569E7 | 89 | 137718, | | |
| | Total (corregido) | 1,6906E7 | 95 | | | |
| | Error | 75,7512 | | | | |
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 234045, | 3 | 78014,9 | 4,50 | 0,0055 |
| | Residuo | 1,54464E6 | 89 | 17355,5 | | |
| | Total (corregido) | 1,86304E6 | 95 | | | |
| | Error | 26,8913 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 4,46815E6 | 3 | 1,48938E6 | 6,15 | 0,0008 |
| | Residuo | 2,15374E7 | 89 | 241993, | | |
| | Total (corregido) | 2,86224E7 | 95 | | | |
| | Error | 100,414 | | | | |

Análisis de varianza para el máximo macollamiento.

| Variable | fuerce | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----|-------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 1,68107 | 3 | 0,560356 | 298,18 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,353301 | 188 | 0,00187926 | | |
| | Total (corregido) | 2,03437 | 191 | | | |
| | Error | 0,0062571 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 2,17052 | 3 | 0,723508 | 105,43 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,29016 | 188 | 0,00686254 | | |
| | Total (corregido) | 3,46068 | 191 | | | |
| | Error | 0,011957 | | | | |
| NDVI2 | Tratamiento | 2,21828 | 3 | 0,739427 | 261,18 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,532241 | 188 | 0,00283107 | | |
| | Total (corregido) | 2,75052 | 191 | | | |
| | Error | 0,00767988 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 2,28388 | 3 | 0,761293 | 233,06 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,614106 | 188 | 0,00326652 | | |
| | Total (corregido) | 2,89798 | 191 | | | |
| | Error | 0,00824939 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 0,189771 | 3 | 0,0632571 | 10,37 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,14701 | 188 | 0,00610113 | | |
| | Total (corregido) | 1,33678 | 191 | | | |
| | Error | 0,0112742 | | | | |
| PRI | Tratamiento | 0,0266539 | 3 | 0,00888463 | 113,67 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0146948 | 188 | 0,000078163 | | |
| | Total (corregido) | 0,0413486 | 191 | | | |
| | Error | 0,00127609 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,0794157 | 3 | 0,0264719 | 45,50 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,109369 | 188 | 0,000581749 | | |
| | Total (corregido) | 0,188784 | 191 | | | |
| | Error | 0,00348134 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 0,656481 | 3 | 0,218827 | 85,12 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,483314 | 188 | 0,00257082 | | |
| | Total (corregido) | 1,13979 | 191 | | | |
| | Error | 0,00731838 | | | | |
| DDI | Tratamiento | 1,94258 | 3 | 0,647526 | 298,93 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,407233 | 188 | 0,00216613 | | |
| | Total (corregido) | 2,34981 | 191 | | | |
| | Error | 0,00671772 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 3,03056 | 3 | 1,01019 | 19,00 | 0,0000 |
| | Residuo | 9,99482 | 188 | 0,0531639 | | |
| | Total (corregido) | 13,0254 | 191 | | | |
| | Error | 0,0332804 | | | | |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 0,229704 | 3 | 0,0765679 | 8,49 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,69482 | 188 | 0,00901498 | | |
| | Total (corregido) | 1,92452 | 191 | | | |
| | Error | 0,0137045 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 3,70253 | 3 | 1,23418 | 214,75 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,08046 | 188 | 0,00574712 | | |
| | Total (corregido) | 4,78299 | 191 | | | |
| | Error | 0,0109422 | | | | |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 2,79359 | 3 | 0,931196 | 310,64 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,563568 | 188 | 0,0029977 | | |
| | Total (corregido) | 3,35715 | 191 | | | |
| | Error | 0,00790267 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----|-------------|-----------|---------------|
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 2,36702 | 3 | 0,789007 | 195,71 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,757928 | 188 | 0,00403153 | | |
| | Total (corregido) | 3,12495 | 191 | | | |
| | Error | 0,00916462 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 0,361799 | 3 | 0,1206 | 3,84 | 0,0107 |
| | Residuo | 5,9069 | 188 | 0,0314197 | | |
| | Total (corregido) | 6,26869 | 191 | | | |
| | Error | 0,0255847 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 50,6282 | 3 | 16,8761 | 159,25 | 0,0000 |
| | Residuo | 19,9227 | 188 | 0,105972 | | |
| | Total (corregido) | 70,5509 | 191 | | | |
| | Error | 0,0469867 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 2175,91 | 3 | 725,304 | 98,01 | 0,0000 |
| | Residuo | 1391,31 | 188 | 7,40056 | | |
| | Total (corregido) | 3567,22 | 191 | | | |
| | Error | 0,392656 | | | | |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 11,0272 | 3 | 3,67573 | 67,04 | 0,0000 |
| | Residuo | 10,3081 | 188 | 0,0548301 | | |
| | Total (corregido) | 21,3353 | 191 | | | |
| | Error | 0,0337978 | | | | |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | Tratamiento | 1,9318 | 3 | 0,643933 | 303,91 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,398334 | 188 | 0,0021188 | | |
| | Total (corregido) | 2,33013 | 191 | | | |
| | Error | 0,00664392 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 0,864046 | 3 | 0,288015 | 263,32 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,205635 | 188 | 0,0010938 | | |
| | Total (corregido) | 1,06968 | 191 | | | |
| | Error | 0,00477363 | | | | |
| NDRE2 | Tratamiento | 2,69966 | 3 | 0,899888 | 247,64 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,683178 | 188 | 0,00363393 | | |
| | Total (corregido) | 3,38284 | 191 | | | |
| | Error | 0,00870096 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | Tratamiento | 0,00474247 | 3 | 0,00158082 | 212,11 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00140116 | 188 | 0,000007452 | | |
| | Total (corregido) | 0,00614362 | 191 | | | |
| | Error | 0,000394043 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | Tratamiento | 0,0288664 | 3 | 0,00962212 | 167,62 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0107921 | 188 | 0,000057404 | | |
| | Total (corregido) | 0,0396584 | 191 | | | |
| | Error | 0,00109359 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 131,027 | 3 | 43,6758 | 202,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 40,6394 | 188 | 0,216167 | | |
| | Total (corregido) | 171,667 | 191 | | | |
| | Error | 0,067108 | | | | |
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 493,121 | 3 | 164,374 | 45,78 | 0,0000 |
| | Residuo | 675,013 | 188 | 3,59049 | | |
| | Total (corregido) | 1168,13 | 191 | | | |
| | Error | 0,273499 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 50,6282 | 3 | 16,8761 | 159,25 | 0,0000 |
| | Residuo | 19,9227 | 188 | 0,105972 | | |
| | Total (corregido) | 70,5509 | 191 | | | |
| | Error | 0,0469867 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuerza | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-----|-------------|-----------|---------------|
| mND | Tratamiento | 3,62014 | 3 | 1,20671 | 156,25 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,4519 | 188 | 0,00772287 | | |
| | Total (corregido) | 5,07204 | 191 | | | |
| | Error | 0,0126844 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,000064870 | 3 | 0,000021623 | 0,16 | 0,9244 |
| | Residuo | 0,0257168 | 188 | 0,000136792 | | |
| | Total (corregido) | 0,0257817 | 191 | | | |
| | Error | 0,00168814 | | | | |
| Red/Green | Tratamiento | 0,310913 | 3 | 0,103638 | 22,87 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,851765 | 188 | 0,00453067 | | |
| | Total (corregido) | 1,16268 | 191 | | | |
| | Error | 0,00971539 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 1,42204 | 3 | 0,474015 | 122,50 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,727489 | 188 | 0,00386962 | | |
| | Total (corregido) | 2,14953 | 191 | | | |
| | Error | 0,0089787 | | | | |
| PSSR _a | Tratamiento | 493,121 | 3 | 164,374 | 45,78 | 0,0000 |
| | Residuo | 675,013 | 188 | 3,59049 | | |
| | Total (corregido) | 1168,13 | 191 | | | |
| | Error | 0,273499 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 478,454 | 3 | 159,485 | 59,63 | 0,0000 |
| | Residuo | 502,829 | 188 | 2,67462 | | |
| | Total (corregido) | 981,283 | 191 | | | |
| | Error | 0,236054 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 2,17052 | 3 | 0,723508 | 105,43 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,29016 | 188 | 0,00686254 | | |
| | Total (corregido) | 3,46068 | 191 | | | |
| | Error | 0,011957 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 2,91193 | 3 | 0,970644 | 169,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,0787 | 188 | 0,00573774 | | |
| | Total (corregido) | 3,99063 | 191 | | | |
| | Error | 0,0109333 | | | | |
| NPCI | Tratamiento | 0,0166328 | 3 | 0,00554428 | 3,42 | 0,0184 |
| | Residuo | 0,304808 | 188 | 0,00162132 | | |
| | Total (corregido) | 0,321441 | 191 | | | |
| | Error | 0,00581184 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,055304 | 3 | 0,0184347 | 3,76 | 0,0118 |
| | Residuo | 0,922123 | 188 | 0,00490491 | | |
| | Total (corregido) | 0,977427 | 191 | | | |
| | Error | 0,0101087 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 1,50985 | 3 | 0,503282 | 249,39 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,379394 | 188 | 0,00201805 | | |
| | Total (corregido) | 1,88924 | 191 | | | |
| | Error | 0,00648404 | | | | |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 97,786 | 3 | 32,5953 | 136,93 | 0,0000 |
| | Residuo | 44,7513 | 188 | 0,238039 | | |
| | Total (corregido) | 142,537 | 191 | | | |
| | Error | 0,0704212 | | | | |
| NPQI | Tratamiento | 0,00136472 | 3 | 0,000454906 | 5,71 | 0,0009 |
| | Residuo | 0,0149684 | 188 | 0,000079619 | | |
| | Total (corregido) | 0,0163331 | 191 | | | |
| | Error | 0,00128792 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----|------------|-----------|---------------|
| OCAR | Tratamiento | 0,12948 | 3 | 0,0431599 | 4,27 | 0,0060 |
| | Residuo | 1,89835 | 188 | 0,0100976 | | |
| | Total (corregido) | 2,02783 | 191 | | | |
| | Error | 0,0247109 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 0,111837 | 3 | 0,037279 | 1,27 | 0,2854 |
| | Residuo | 5,51033 | 188 | 0,0293103 | | |
| | Total (corregido) | 5,62217 | 191 | | | |
| | Error | 0,0188962 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 24,5286 | 3 | 8,1762 | 254,38 | 0,0000 |
| | Residuo | 6,04272 | 188 | 0,0321421 | | |
| | Total (corregido) | 30,5713 | 191 | | | |
| | Error | 0,0258772 | | | | |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 14,7671 | 3 | 4,92238 | 214,93 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,30556 | 188 | 0,0229019 | | |
| | Total (corregido) | 19,0727 | 191 | | | |
| | Error | 0,0218432 | | | | |
| BND | Tratamiento | 6,23333 | 3 | 2,07778 | 308,47 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,26633 | 188 | 0,00673581 | | |
| | Total (corregido) | 7,49967 | 191 | | | |
| | Error | 0,0118461 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 3,91596 | 3 | 1,30532 | 215,15 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,14058 | 188 | 0,00606692 | | |
| | Total (corregido) | 5,05654 | 191 | | | |
| | Error | 0,0112425 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 9,78926 | 3 | 3,26309 | 286,87 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,13845 | 188 | 0,0113747 | | |
| | Total (corregido) | 11,9277 | 191 | | | |
| | Error | 0,0153939 | | | | |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,679865 | 3 | 0,226622 | 134,92 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,315787 | 188 | 0,00167972 | | |
| | Total (corregido) | 0,995652 | 191 | | | |
| | Error | 0,00591558 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 4,37464 | 3 | 1,45821 | 279,57 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,980585 | 188 | 0,00521588 | | |
| | Total (corregido) | 5,35522 | 191 | | | |
| | Error | 0,0104242 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 7,74234E7 | 3 | 2,58078E7 | 98,63 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,78852E7 | 183 | 261668, | | |
| | Total (corregido) | 1,26285E8 | 189 | | | |
| | Error | 73,8337 | | | | |
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 3,8491E6 | 3 | 1,28303E6 | 24,14 | 0,0000 |
| | Residuo | 9,72815E6 | 183 | 53159,3 | | |
| | Total (corregido) | 1,63426E7 | 189 | | | |
| | Error | 33,2789 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 1,14769E8 | 3 | 3,82563E7 | 84,35 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,30003E7 | 183 | 453553, | | |
| | Total (corregido) | 2,04231E8 | 189 | | | |
| | Error | 97,2061 | | | | |

Análisis de varianza para el desarrollo de la panícula.

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----|--------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 1,97666 | 3 | 0,658888 | 299,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,414049 | 188 | 0,00220239 | | |
| | Total (corregido) | 2,39071 | 191 | | | |
| | Error | 0,00677371 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 3,69021 | 3 | 1,23007 | 155,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,49146 | 188 | 0,00793331 | | |
| | Total (corregido) | 5,18167 | 191 | | | |
| | Error | 0,012856 | | | | |
| NDVI2 | Tratamiento | 2,66805 | 3 | 0,889349 | 246,87 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,677271 | 188 | 0,0036025 | | |
| | Total (corregido) | 3,34532 | 191 | | | |
| | Error | 0,00866326 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 3,00077 | 3 | 1,00026 | 232,69 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,80814 | 188 | 0,00429862 | | |
| | Total (corregido) | 3,80891 | 191 | | | |
| | Error | 0,00946333 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 0,347861 | 3 | 0,115954 | 16,16 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,34913 | 188 | 0,00717623 | | |
| | Total (corregido) | 1,69699 | 191 | | | |
| | Error | 0,0122272 | | | | |
| PRI | Tratamiento | 0,0305098 | 3 | 0,0101699 | 160,60 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0119052 | 188 | 0,0000633258 | | |
| | Total (corregido) | 0,042415 | 191 | | | |
| | Error | 0,0011486 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,276853 | 3 | 0,0922844 | 262,51 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0660895 | 188 | 0,00035154 | | |
| | Total (corregido) | 0,342943 | 191 | | | |
| | Error | 0,00270624 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 1,61471 | 3 | 0,538236 | 149,21 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,678166 | 188 | 0,00360726 | | |
| | Total (corregido) | 2,29287 | 191 | | | |
| | Error | 0,00866899 | | | | |
| DDI | Tratamiento | 2,06994 | 3 | 0,689979 | 261,32 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,496393 | 188 | 0,00264039 | | |
| | Total (corregido) | 2,56633 | 191 | | | |
| | Error | 0,00741675 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 0,75343 | 3 | 0,251143 | 5,64 | 0,0010 |
| | Residuo | 8,3642 | 188 | 0,0444904 | | |
| | Total (corregido) | 9,11763 | 191 | | | |
| | Error | 0,0304448 | | | | |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 0,572557 | 3 | 0,190852 | 20,65 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,73781 | 188 | 0,00924366 | | |
| | Total (corregido) | 2,31036 | 191 | | | |
| | Error | 0,0138772 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 3,46424 | 3 | 1,15475 | 195,35 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,1113 | 188 | 0,0059112 | | |
| | Total (corregido) | 4,57555 | 191 | | | |
| | Error | 0,0110973 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuerate | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----|--------------|-----------|---------------|
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 3,61403 | 3 | 1,20468 | 322,82 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,70157 | 188 | 0,00373176 | | |
| | Total (corregido) | 4,3156 | 191 | | | |
| | Error | 0,00881731 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 4,10705 | 3 | 1,36902 | 278,69 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,923512 | 188 | 0,0049123 | | |
| | Total (corregido) | 5,03056 | 191 | | | |
| | Error | 0,0101163 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 0,881026 | 3 | 0,293675 | 8,95 | 0,0000 |
| | Residuo | 6,17197 | 188 | 0,0328296 | | |
| | Total (corregido) | 7,05299 | 191 | | | |
| | Error | 0,0261524 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 46,0737 | 3 | 15,3579 | 128,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 22,5099 | 188 | 0,119734 | | |
| | Total (corregido) | 68,5836 | 191 | | | |
| | Error | 0,0499445 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 1595,34 | 3 | 531,778 | 74,88 | 0,0000 |
| | Residuo | 1335,13 | 188 | 7,10175 | | |
| | Total (corregido) | 2930,46 | 191 | | | |
| | Error | 0,384647 | | | | |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 6,75654 | 3 | 2,25218 | 60,48 | 0,0000 |
| | Residuo | 7,00123 | 188 | 0,0372406 | | |
| | Total (corregido) | 13,7578 | 191 | | | |
| | Error | 0,027854 | | | | |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | Tratamiento | 2,54343 | 3 | 0,847809 | 313,82 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,507889 | 188 | 0,00270154 | | |
| | Total (corregido) | 3,05132 | 191 | | | |
| | Error | 0,00750214 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 0,874483 | 3 | 0,291494 | 242,33 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,226146 | 188 | 0,0012029 | | |
| | Total (corregido) | 1,10063 | 191 | | | |
| | Error | 0,00500604 | | | | |
| NDRE2 | Tratamiento | 3,2444 | 3 | 1,08147 | 234,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,868693 | 188 | 0,00462071 | | |
| | Total (corregido) | 4,11309 | 191 | | | |
| | Error | 0,00981146 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | Tratamiento | 0,0046397 | 3 | 0,00154657 | 186,47 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00155924 | 188 | 0,0000082938 | | |
| | Total (corregido) | 0,00619895 | 191 | | | |
| | Error | 0,000415678 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | Tratamiento | 0,0272628 | 3 | 0,00908761 | 140,88 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0121274 | 188 | 0,0000645074 | | |
| | Total (corregido) | 0,0393902 | 191 | | | |
| | Error | 0,00115927 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 116,78 | 3 | 38,9266 | 210,70 | 0,0000 |
| | Residuo | 34,7329 | 188 | 0,184749 | | |
| | Total (corregido) | 151,513 | 191 | | | |
| | Error | 0,0620399 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-----|-------------|-----------|---------------|
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 512,668 | 3 | 170,889 | 37,58 | 0,0000 |
| | Residuo | 854,821 | 188 | 4,54692 | | |
| | Total (corregido) | 1367,49 | 191 | | | |
| | Error | 0,307778 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 46,0737 | 3 | 15,3579 | 128,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 22,5099 | 188 | 0,119734 | | |
| | Total (corregido) | 68,5836 | 191 | | | |
| | Error | 0,0499445 | | | | |
| mND | Tratamiento | 5,48099 | 3 | 1,827 | 180,66 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,90125 | 188 | 0,010113 | | |
| | Total (corregido) | 7,38223 | 191 | | | |
| | Error | 0,0145151 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,00149605 | 3 | 0,000498684 | 18,99 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00493725 | 188 | 0,000026262 | | |
| | Total (corregido) | 0,0064333 | 191 | | | |
| | Error | 0,000739679 | | | | |
| Red/Green | Tratamiento | 0,566202 | 3 | 0,188734 | 44,66 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,794549 | 188 | 0,00422633 | | |
| | Total (corregido) | 1,36075 | 191 | | | |
| | Error | 0,00938341 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 2,71712 | 3 | 0,905707 | 199,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,854505 | 188 | 0,00454524 | | |
| | Total (corregido) | 3,57163 | 191 | | | |
| | Error | 0,009731 | | | | |
| PSSR _a | Tratamiento | 512,668 | 3 | 170,889 | 37,58 | 0,0000 |
| | Residuo | 854,821 | 188 | 4,54692 | | |
| | Total (corregido) | 1367,49 | 191 | | | |
| | Error | 0,307778 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 471,115 | 3 | 157,038 | 43,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 683,889 | 188 | 3,63771 | | |
| | Total (corregido) | 1155,0 | 191 | | | |
| | Error | 0,275292 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 3,69021 | 3 | 1,23007 | 155,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,49146 | 188 | 0,00793331 | | |
| | Total (corregido) | 5,18167 | 191 | | | |
| | Error | 0,012856 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 4,4146 | 3 | 1,47153 | 203,58 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,35894 | 188 | 0,00722838 | | |
| | Total (corregido) | 5,77354 | 191 | | | |
| | Error | 0,0122716 | | | | |
| NPCI | Tratamiento | 0,0187493 | 3 | 0,00624976 | 20,80 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0564801 | 188 | 0,000300426 | | |
| | Total (corregido) | 0,0752293 | 191 | | | |
| | Error | 0,00250177 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,0585315 | 3 | 0,0195105 | 21,29 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,172262 | 188 | 0,000916289 | | |
| | Total (corregido) | 0,230794 | 191 | | | |
| | Error | 0,00436914 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 2,54714 | 3 | 0,849047 | 261,41 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,610613 | 188 | 0,00324794 | | |
| | Total (corregido) | 3,15775 | 191 | | | |
| | Error | 0,0082259 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-----|--------------|-----------|---------------|
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 92,3898 | 3 | 30,7966 | 103,79 | 0,0000 |
| | Residuo | 55,7838 | 188 | 0,296722 | | |
| | Total (corregido) | 148,174 | 191 | | | |
| | Error | 0,0786239 | | | | |
| NPQI | Tratamiento | 0,000609067 | 3 | 0,000203022 | 5,60 | 0,0011 |
| | Residuo | 0,00681403 | 188 | 0,0000362449 | | |
| | Total (corregido) | 0,0074231 | 191 | | | |
| | Error | 0,000868966 | | | | |
| OCAR | Tratamiento | 0,00951259 | 3 | 0,00317086 | 0,44 | 0,7264 |
| | Residuo | 1,36229 | 188 | 0,00724624 | | |
| | Total (corregido) | 1,37181 | 191 | | | |
| | Error | 0,0122867 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 0,272916 | 3 | 0,0909721 | 3,93 | 0,0095 |
| | Residuo | 4,35522 | 188 | 0,0231661 | | |
| | Total (corregido) | 4,62814 | 191 | | | |
| | Error | 0,0219688 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 22,8038 | 3 | 7,60127 | 47,91 | 0,0000 |
| | Residuo | 29,8245 | 188 | 0,158641 | | |
| | Total (corregido) | 52,6283 | 191 | | | |
| | Error | 0,0574893 | | | | |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 8,34852 | 3 | 2,78284 | 61,10 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,56254 | 188 | 0,0455454 | | |
| | Total (corregido) | 16,9111 | 191 | | | |
| | Error | 0,0308036 | | | | |
| BND | Tratamiento | 4,37614 | 3 | 1,45871 | 57,84 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,7411 | 188 | 0,0252186 | | |
| | Total (corregido) | 9,11725 | 191 | | | |
| | Error | 0,0229213 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 4,43518 | 3 | 1,47839 | 44,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 6,27889 | 188 | 0,0333983 | | |
| | Total (corregido) | 10,7141 | 191 | | | |
| | Error | 0,026378 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 8,41148 | 3 | 2,80383 | 49,35 | 0,0000 |
| | Residuo | 10,6802 | 188 | 0,0568098 | | |
| | Total (corregido) | 19,0917 | 191 | | | |
| | Error | 0,0344026 | | | | |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,33955 | 3 | 0,113183 | 59,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,356516 | 188 | 0,00189636 | | |
| | Total (corregido) | 0,696066 | 191 | | | |
| | Error | 0,0062855 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 2,81837 | 3 | 0,939458 | 58,66 | 0,0000 |
| | Residuo | 3,01076 | 188 | 0,0160147 | | |
| | Total (corregido) | 5,82913 | 191 | | | |
| | Error | 0,0182658 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 1,8324E8 | 3 | 6,10798E7 | 42,72 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,64528E8 | 185 | 1,42988E6 | | |
| | Total (corregido) | 4,55784E8 | 191 | | | |
| | Error | 172,595 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|---------------------------|-------------------|-----------|-----|-----------|-----------|---------------|
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 1,2571E7 | 3 | 4,19033E6 | 17,58 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,40951E7 | 185 | 238352, | | |
| | Total (corregido) | 6,78154E7 | 191 | | | |
| | Error | 70,4675 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 5,06271E8 | 3 | 1,68757E8 | 74,33 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,20003E8 | 185 | 2,27028E6 | | |
| | Total (corregido) | 9,3889E8 | 191 | | | |
| | Error | 217,48 | | | | |
| Nitrógeno (%) | Tratamiento | 54,4923 | 3 | 18,1641 | 1617,32 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,07773 | 185 | 0,011231 | | |
| | Total (corregido) | 60,5157 | 191 | | | |
| | Error | 0,0152964 | | | | |

Análisis de varianza para la floración.

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|----------|-------------------|------------|-----|--------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 2,3245 | 3 | 0,774834 | 383,41 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,379926 | 188 | 0,00202088 | | |
| | Total (corregido) | 2,70443 | 191 | | | |
| | Error | 0,00648858 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 6,0685 | 3 | 2,02283 | 221,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,71877 | 188 | 0,0091424 | | |
| | Total (corregido) | 7,78727 | 191 | | | |
| | Error | 0,013801 | | | | |
| NDVI2 | Tratamiento | 4,43519 | 3 | 1,4784 | 364,86 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,761778 | 188 | 0,00405201 | | |
| | Total (corregido) | 5,19697 | 191 | | | |
| | Error | 0,00918787 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 5,11084 | 3 | 1,70361 | 349,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,917018 | 188 | 0,00487776 | | |
| | Total (corregido) | 6,02786 | 191 | | | |
| | Error | 0,0100807 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 1,32639 | 3 | 0,442128 | 54,98 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,51184 | 188 | 0,00804168 | | |
| | Total (corregido) | 2,83822 | 191 | | | |
| | Error | 0,0129435 | | | | |
| PRI | Tratamiento | 0,0609752 | 3 | 0,0203251 | 272,44 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0140253 | 188 | 0,0000746025 | | |
| | Total (corregido) | 0,0750004 | 191 | | | |
| | Error | 0,00124668 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,12436 | 3 | 0,0414534 | 103,60 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0752256 | 188 | 0,000400136 | | |
| | Total (corregido) | 0,199586 | 191 | | | |
| | Error | 0,00288724 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 1,94142 | 3 | 0,647139 | 185,21 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,656885 | 188 | 0,00349407 | | |
| | Total (corregido) | 2,5983 | 191 | | | |
| | Error | 0,00853189 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuerate | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-----|------------|-----------|---------------|
| DDI | Tratamiento | 2,76967 | 3 | 0,923225 | 407,35 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,42609 | 188 | 0,00226644 | | |
| | Total (corregido) | 3,19576 | 191 | | | |
| | Error | 0,00687149 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 0,640587 | 3 | 0,213529 | 4,75 | 0,0032 |
| | Residuo | 8,44346 | 188 | 0,044912 | | |
| | Total (corregido) | 9,08405 | 191 | | | |
| | Error | 0,0305887 | | | | |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 2,14421 | 3 | 0,714736 | 68,13 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,97219 | 188 | 0,0104904 | | |
| | Total (corregido) | 4,11639 | 191 | | | |
| | Error | 0,0147834 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 6,9133 | 3 | 2,30443 | 275,03 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,57523 | 188 | 0,00837888 | | |
| | Total (corregido) | 8,48853 | 191 | | | |
| | Error | 0,0132121 | | | | |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 5,17589 | 3 | 1,7253 | 425,40 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,762477 | 188 | 0,00405573 | | |
| | Total (corregido) | 5,93837 | 191 | | | |
| | Error | 0,00919208 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 5,4824 | 3 | 1,82747 | 306,18 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,12208 | 188 | 0,00596851 | | |
| | Total (corregido) | 6,60448 | 191 | | | |
| | Error | 0,011151 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 5,95448 | 3 | 1,98483 | 44,46 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,39309 | 188 | 0,0446441 | | |
| | Total (corregido) | 14,3476 | 191 | | | |
| | Error | 0,0304973 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 121,869 | 3 | 40,6229 | 206,69 | 0,0000 |
| | Residuo | 36,9497 | 188 | 0,196541 | | |
| | Total (corregido) | 158,818 | 191 | | | |
| | Error | 0,0639891 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 7007,19 | 3 | 2335,73 | 118,85 | 0,0000 |
| | Residuo | 3694,86 | 188 | 19,6535 | | |
| | Total (corregido) | 10702,1 | 191 | | | |
| | Error | 0,639882 | | | | |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 6,41479 | 3 | 2,13826 | 49,83 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,06803 | 188 | 0,042915 | | |
| | Total (corregido) | 14,4828 | 191 | | | |
| | Error | 0,0299009 | | | | |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | Tratamiento | 2,78924 | 3 | 0,929747 | 389,88 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,448328 | 188 | 0,00238472 | | |
| | Total (corregido) | 3,23757 | 191 | | | |
| | Error | 0,00704853 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 1,53236 | 3 | 0,510787 | 336,71 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,285199 | 188 | 0,00151701 | | |
| | Total (corregido) | 1,81756 | 191 | | | |
| | Error | 0,00562179 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuerza | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------|-----|--------------|-----------|---------------|
| NDRE2 | Tratamiento | 5,47499 | 3 | 1,825 | 356,97 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,961156 | 188 | 0,00511253 | | |
| | Total (corregido) | 6,43614 | 191 | | | |
| | Error | 0,0103204 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | Tratamiento | 0,00957068 | 3 | 0,00319023 | 270,21 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0022196 | 188 | 0,0000118064 | | |
| | Total (corregido) | 0,0117903 | 191 | | | |
| | Error | 0,00049595 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | Tratamiento | 0,0667464 | 3 | 0,0222488 | 222,91 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0187642 | 188 | 0,0000998094 | | |
| | Total (corregido) | 0,0855106 | 191 | | | |
| | Error | 0,001442 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 216,078 | 3 | 72,0259 | 260,71 | 0,0000 |
| | Residuo | 51,9389 | 188 | 0,276271 | | |
| | Total (corregido) | 268,017 | 191 | | | |
| | Error | 0,075866 | | | | |
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 2594,82 | 3 | 864,939 | 100,51 | 0,0000 |
| | Residuo | 1617,77 | 188 | 8,60514 | | |
| | Total (corregido) | 4212,58 | 191 | | | |
| | Error | 0,423407 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 121,869 | 3 | 40,6229 | 206,69 | 0,0000 |
| | Residuo | 36,9497 | 188 | 0,196541 | | |
| | Total (corregido) | 158,818 | 191 | | | |
| | Error | 0,0639891 | | | | |
| mND | Tratamiento | 8,54414 | 3 | 2,84805 | 269,00 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,99049 | 188 | 0,0105877 | | |
| | Total (corregido) | 10,5346 | 191 | | | |
| | Error | 0,0148518 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,000222668 | 3 | 0,0000742227 | 1,58 | 0,1956 |
| | Residuo | 0,00883062 | 188 | 0,0000469714 | | |
| | Total (corregido) | 0,00905329 | 191 | | | |
| | Error | 0,000989227 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 4,05034 | 3 | 1,35011 | 221,54 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,14573 | 188 | 0,00609432 | | |
| | Total (corregido) | 5,19608 | 191 | | | |
| | Error | 0,0112679 | | | | |
| PSSR _a | Tratamiento | 2594,82 | 3 | 864,939 | 100,51 | 0,0000 |
| | Residuo | 1617,77 | 188 | 8,60514 | | |
| | Total (corregido) | 4212,58 | 191 | | | |
| | Error | 0,423407 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 2399,28 | 3 | 799,761 | 106,39 | 0,0000 |
| | Residuo | 1413,26 | 188 | 7,51737 | | |
| | Total (corregido) | 3812,55 | 191 | | | |
| | Error | 0,395742 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 6,0685 | 3 | 2,02283 | 221,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,71877 | 188 | 0,0091424 | | |
| | Total (corregido) | 7,78727 | 191 | | | |
| | Error | 0,013801 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 7,06753 | 3 | 2,35584 | 293,59 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,50858 | 188 | 0,00802437 | | |
| | Total (corregido) | 8,57612 | 191 | | | |
| | Error | 0,0129296 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----|--------------|--------------|---------------|
| NPCI | Tratamiento | 0,0466564 | 3 | 0,0155521 | 24,88 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,117528 | 188 | 0,000625152 | | |
| | Total (corregido) | 0,164185 | 191 | | | |
| | Error | 0,00360888 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,175125 | 3 | 0,0583752 | 25,29 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,433925 | 188 | 0,00230811 | | |
| | Total (corregido) | 0,60905 | 191 | | | |
| | Error | 0,00693438 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 3,34796 | 3 | 1,11599 | 391,01 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,53657 | 188 | 0,0028541 | | |
| | Total (corregido) | 3,88453 | 191 | | | |
| | Error | 0,00771105 | | | | |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 282,822 | 3 | 94,274 | 182,02 | 0,0000 |
| | Residuo | 97,3737 | 188 | 0,517945 | | |
| | Total (corregido) | 380,196 | 191 | | | |
| | Error | 0,103877 | | | | |
| NPQI | Tratamiento | 0,00106868 | 3 | 0,000356225 | 4,69 | 0,0035 |
| | Residuo | 0,0142683 | 188 | 0,0000758952 | | |
| | Total (corregido) | 0,015337 | 191 | | | |
| | Error | 0,00125744 | | | | |
| OCAR | Tratamiento | 0,223585 | 3 | 0,0745282 | 9,02 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,55335 | 188 | 0,00826248 | | |
| | Total (corregido) | 1,77693 | 191 | | | |
| | Error | 0,01312 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 2,18339 | 3 | 0,727798 | 24,92 | 0,0000 |
| | Residuo | 5,49083 | 188 | 0,0292066 | | |
| | Total (corregido) | 7,67423 | 191 | | | |
| | Error | 0,0246672 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 35,1401 | 3 | 11,7134 | 300,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 7,33926 | 188 | 0,0390386 | | |
| | Total (corregido) | 42,4793 | 191 | | | |
| | Error | 0,0285185 | | | | |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 19,4935 | 3 | 6,49784 | 252,14 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,84481 | 188 | 0,0257703 | | |
| | Total (corregido) | 24,3383 | 191 | | | |
| | Error | 0,0231707 | | | | |
| BND | Tratamiento | 8,43519 | 3 | 2,81173 | 393,79 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,34234 | 188 | 0,00714011 | | |
| | Total (corregido) | 9,77753 | 191 | | | |
| | Error | 0,0121964 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 7,09034 | 3 | 2,36345 | 254,19 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,74803 | 188 | 0,00929805 | | |
| | Total (corregido) | 8,83837 | 191 | | | |
| | Error | 0,013918 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 14,7081 | 3 | 4,90269 | 302,38 | 0,0000 |
| | Residuo | 3,04818 | 188 | 0,0162137 | | |
| | Total (corregido) | 17,7563 | 191 | | | |
| | Error | 0,0183789 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----|------------|-----------|---------------|
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,934702 | 3 | 0,311567 | 139,57 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,419673 | 188 | 0,0022323 | | |
| | Total (corregido) | 1,35437 | 191 | | | |
| | Error | 0,00681955 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 5,86333 | 3 | 1,95444 | 342,87 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,07164 | 188 | 0,00570024 | | |
| | Total (corregido) | 6,93497 | 191 | | | |
| | Error | 0,0108975 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 1,62999E8 | 3 | 5,43332E7 | 190,62 | 0,0000 |
| | Residuo | 5,27304E7 | 185 | 285029, | | |
| | Total (corregido) | 2,18077E8 | 191 | | | |
| | Error | 77,0591 | | | | |
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 1,59596E7 | 3 | 5,31987E6 | 97,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,01281E7 | 185 | 54746,7 | | |
| | Total (corregido) | 2,73663E7 | 191 | | | |
| | Error | 33,7721 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 2,80933E8 | 3 | 9,36444E7 | 167,51 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,03425E8 | 185 | 559053, | | |
| | Total (corregido) | 3,91242E8 | 191 | | | |
| | Error | 107,921 | | | | |
| Nitrógeno (%) | Tratamiento | 51,4799 | 3 | 17,16 | 1072,19 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,96086 | 185 | 0,0160046 | | |
| | Total (corregido) | 54,707 | 191 | | | |
| | Error | 0,0182601 | | | | |

Análisis de varianza para el grano lechoso

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|----------|-------------------|------------|----|------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 0,848109 | 3 | 0,282703 | 184,77 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,140762 | 92 | 0,00153002 | | |
| | Total (corregido) | 0,988871 | 95 | | | |
| | Error | 0,00798442 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 3,14146 | 3 | 1,04715 | 117,86 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,817393 | 92 | 0,00888471 | | |
| | Total (corregido) | 3,95886 | 95 | | | |
| | Error | 0,0192405 | | | | |
| NDVI2 | Tratamiento | 1,77996 | 3 | 0,593318 | 200,23 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,27261 | 92 | 0,00296315 | | |
| | Total (corregido) | 2,05257 | 95 | | | |
| | Error | 0,0111115 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 2,36227 | 3 | 0,787425 | 209,02 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,346586 | 92 | 0,00376724 | | |
| | Total (corregido) | 2,70886 | 95 | | | |
| | Error | 0,0125287 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 0,871543 | 3 | 0,290514 | 29,36 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,910251 | 92 | 0,00989403 | | |
| | Total (corregido) | 1,78179 | 95 | | | |
| | Error | 0,020304 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|---------------------------------------------------------|-------------------|------------|----|--------------|-----------|---------------|
| PRI | Tratamiento | 0,0193438 | 3 | 0,00644793 | 105,13 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00564274 | 92 | 0,0000613342 | | |
| | Total (corregido) | 0,0249865 | 95 | | | |
| | Error | 0,00159862 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,136487 | 3 | 0,0454957 | 52,24 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0801297 | 92 | 0,000870975 | | |
| | Total (corregido) | 0,216617 | 95 | | | |
| | Error | 0,00602417 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 1,01456 | 3 | 0,338187 | 86,03 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,361639 | 92 | 0,00393086 | | |
| | Total (corregido) | 1,3762 | 95 | | | |
| | Error | 0,0127979 | | | | |
| DDI | Tratamiento | 0,957036 | 3 | 0,319012 | 170,58 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,172051 | 92 | 0,00187012 | | |
| | Total (corregido) | 1,12909 | 95 | | | |
| | Error | 0,00882732 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 1,32124 | 3 | 0,440413 | 3,43 | 0,0204 |
| | Residuo | 11,8242 | 92 | 0,128524 | | |
| | Total (corregido) | 13,1455 | 95 | | | |
| | Error | 0,073179 | | | | |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 1,44594 | 3 | 0,481979 | 43,62 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,01664 | 92 | 0,0110504 | | |
| | Total (corregido) | 2,46258 | 95 | | | |
| | Error | 0,0214577 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 2,29906 | 3 | 0,766355 | 165,15 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,426924 | 92 | 0,00464048 | | |
| | Total (corregido) | 2,72599 | 95 | | | |
| | Error | 0,0139052 | | | | |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 2,15366 | 3 | 0,717885 | 224,99 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,293542 | 92 | 0,00319068 | | |
| | Total (corregido) | 2,4472 | 95 | | | |
| | Error | 0,0115302 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 2,72425 | 3 | 0,908083 | 163,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,511737 | 92 | 0,00556236 | | |
| | Total (corregido) | 3,23599 | 95 | | | |
| | Error | 0,0152238 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 6,34912 | 3 | 2,11637 | 23,36 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,33411 | 92 | 0,0905881 | | |
| | Total (corregido) | 14,6832 | 95 | | | |
| | Error | 0,061437 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 38,1349 | 3 | 12,7116 | 133,34 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,77068 | 92 | 0,0953335 | | |
| | Total (corregido) | 46,9056 | 95 | | | |
| | Error | 0,0630256 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 2236,04 | 3 | 745,345 | 86,86 | 0,0000 |
| | Residuo | 789,435 | 92 | 8,58081 | | |
| | Total (corregido) | 3025,47 | 95 | | | |
| | Error | 0,597941 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|---------------------------------------|-------------------|-------------|----|--------------|-----------|---------------|
| $R_{672}/(R_{550} \cdot R_{708})$ | Tratamiento | 0,607285 | 3 | 0,202428 | 3,65 | 0,0155 |
| | Residuo | 5,10666 | 92 | 0,0555071 | | |
| | Total (corregido) | 5,71394 | 95 | | | |
| | Error | 0,0480916 | | | | |
| $(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})$ | Tratamiento | 1,08701 | 3 | 0,362336 | 201,97 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,165049 | 92 | 0,00179401 | | |
| | Total (corregido) | 1,25206 | 95 | | | |
| | Error | 0,00864582 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 0,530366 | 3 | 0,176789 | 191,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0848523 | 92 | 0,000922307 | | |
| | Total (corregido) | 0,615218 | 95 | | | |
| | Error | 0,00619915 | | | | |
| NDRE2 | Tratamiento | 2,27381 | 3 | 0,757938 | 199,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,349917 | 92 | 0,00380345 | | |
| | Total (corregido) | 2,62373 | 95 | | | |
| | Error | 0,0125888 | | | | |
| $(R_{790}/R_{695-740})-1$ | Tratamiento | 0,00320117 | 3 | 0,00106706 | 167,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,000586922 | 92 | 0,0000063795 | | |
| | Total (corregido) | 0,00378809 | 95 | | | |
| | Error | 0,000515574 | | | | |
| $(R_{790}/R_{690-725})-1$ | Tratamiento | 0,0219748 | 3 | 0,00732494 | 146,25 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00460795 | 92 | 0,0000500864 | | |
| | Total (corregido) | 0,0265828 | 95 | | | |
| | Error | 0,00144462 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 53,1909 | 3 | 17,7303 | 106,23 | 0,0000 |
| | Residuo | 15,3545 | 92 | 0,166897 | | |
| | Total (corregido) | 68,5454 | 95 | | | |
| | Error | 0,0833909 | | | | |
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 1133,99 | 3 | 377,996 | 66,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 521,499 | 92 | 5,66846 | | |
| | Total (corregido) | 1655,49 | 95 | | | |
| | Error | 0,48599 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 38,1349 | 3 | 12,7116 | 133,34 | 0,0000 |
| | Residuo | 8,77068 | 92 | 0,0953335 | | |
| | Total (corregido) | 46,9056 | 95 | | | |
| | Error | 0,0630256 | | | | |
| mND | Tratamiento | 4,50211 | 3 | 1,5007 | 138,56 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,996418 | 92 | 0,0108306 | | |
| | Total (corregido) | 5,49853 | 95 | | | |
| | Error | 0,0212433 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,000952706 | 3 | 0,000317569 | 4,84 | 0,0036 |
| | Residuo | 0,00603627 | 92 | 0,0000656116 | | |
| | Total (corregido) | 0,00698898 | 95 | | | |
| | Error | 0,00165343 | | | | |
| Red/Green | Tratamiento | 0,829613 | 3 | 0,276538 | 54,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,468824 | 92 | 0,00509592 | | |
| | Total (corregido) | 1,29844 | 95 | | | |
| | Error | 0,0145715 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 2,04571 | 3 | 0,681902 | 125,83 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,498587 | 92 | 0,00541943 | | |
| | Total (corregido) | 2,54429 | 95 | | | |
| | Error | 0,015027 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|-------------|----|--------------|--------------|---------------|
| PSSR _a | Tratamiento | 1133,99 | 3 | 377,996 | 66,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 521,499 | 92 | 5,66846 | | |
| | Total (corregido) | 1655,49 | 95 | | | |
| | Error | 0,48599 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 1029,35 | 3 | 343,117 | 82,24 | 0,0000 |
| | Residuo | 383,856 | 92 | 4,17235 | | |
| | Total (corregido) | 1413,21 | 95 | | | |
| | Error | 0,416951 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 3,14146 | 3 | 1,04715 | 117,86 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,817393 | 92 | 0,00888471 | | |
| | Total (corregido) | 3,95886 | 95 | | | |
| | Error | 0,0192405 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 3,49666 | 3 | 1,16555 | 162,20 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,661111 | 92 | 0,00718599 | | |
| | Total (corregido) | 4,15777 | 95 | | | |
| | Error | 0,0173037 | | | | |
| NPCI | Tratamiento | 0,00280984 | 3 | 0,000936613 | 1,27 | 0,2892 |
| | Residuo | 0,0678236 | 92 | 0,000737213 | | |
| | Total (corregido) | 0,0706334 | 95 | | | |
| | Error | 0,00554231 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,00988749 | 3 | 0,00329583 | 1,41 | 0,2460 |
| | Residuo | 0,215633 | 92 | 0,00234383 | | |
| | Total (corregido) | 0,22552 | 95 | | | |
| | Error | 0,00988229 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 1,48161 | 3 | 0,493869 | 190,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,238278 | 92 | 0,00258998 | | |
| | Total (corregido) | 1,71989 | 95 | | | |
| | Error | 0,0103882 | | | | |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 115,073 | 3 | 38,3575 | 125,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 28,1688 | 92 | 0,306182 | | |
| | Total (corregido) | 143,241 | 95 | | | |
| | Error | 0,11295 | | | | |
| NPQI | Tratamiento | 0,000402988 | 3 | 0,000134329 | 1,63 | 0,1885 |
| | Residuo | 0,00759539 | 92 | 0,0000825586 | | |
| | Total (corregido) | 0,00799838 | 95 | | | |
| | Error | 0,00185471 | | | | |
| OCAR | Tratamiento | 0,335767 | 3 | 0,111922 | 5,12 | 0,0025 |
| | Residuo | 2,01055 | 92 | 0,0218538 | | |
| | Total (corregido) | 2,34632 | 95 | | | |
| | Error | 0,0301757 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 1,85132 | 3 | 0,617107 | 10,16 | 0,0000 |
| | Residuo | 5,58709 | 92 | 0,0607293 | | |
| | Total (corregido) | 7,43841 | 95 | | | |
| | Error | 0,0503029 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 15,2565 | 3 | 5,0855 | 251,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,85896 | 92 | 0,0202061 | | |
| | Total (corregido) | 17,1155 | 95 | | | |
| | Error | 0,0290159 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|----|-------------|-----------|---------------|
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 5,67595 | 3 | 1,89198 | 120,09 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,44947 | 92 | 0,0157551 | | |
| | Total (corregido) | 7,12542 | 95 | | | |
| | Error | 0,0256215 | | | | |
| BND | Tratamiento | 3,11646 | 3 | 1,03882 | 193,11 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,494895 | 92 | 0,0053793 | | |
| | Total (corregido) | 3,61135 | 95 | | | |
| | Error | 0,0149712 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 3,92157 | 3 | 1,30719 | 209,25 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,57473 | 92 | 0,00624707 | | |
| | Total (corregido) | 4,4963 | 95 | | | |
| | Error | 0,0161336 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 6,21499 | 3 | 2,07166 | 197,11 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,96694 | 92 | 0,0105102 | | |
| | Total (corregido) | 7,18193 | 95 | | | |
| | Error | 0,0209267 | | | | |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,180534 | 3 | 0,060178 | 63,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0875044 | 92 | 0,000951135 | | |
| | Total (corregido) | 0,268038 | 95 | | | |
| | Error | 0,00629529 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 2,00341 | 3 | 0,667803 | 168,24 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,365177 | 92 | 0,00396931 | | |
| | Total (corregido) | 2,36859 | 95 | | | |
| | Error | 0,0128603 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 2,35096E7 | 3 | 7,83653E6 | 47,41 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,47117E7 | 89 | 165300, | | |
| | Total (corregido) | 3,93562E7 | 95 | | | |
| | Error | 82,9911 | | | | |
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 4,57444E6 | 3 | 1,52481E6 | 41,31 | 0,0000 |
| | Residuo | 3,2853E6 | 89 | 36913,5 | | |
| | Total (corregido) | 8,09388E6 | 95 | | | |
| | Error | 39,2182 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 4,84724E7 | 3 | 1,61575E7 | 49,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,918E7 | 89 | 327865, | | |
| | Total (corregido) | 7,99835E7 | 95 | | | |
| | Error | 116,881 | | | | |

Análisis de varianza para el grano maduro.

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|----------|-------------------|-----------|----|------------|-----------|---------------|
| RES | Tratamiento | 0,330314 | 3 | 0,110105 | 39,83 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,254304 | 92 | 0,00276417 | | |
| | Total (corregido) | 0,584618 | 95 | | | |
| | Error | 0,0107319 | | | | |
| NDVI1 | Tratamiento | 3,15395 | 3 | 1,05132 | 163,22 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,592587 | 92 | 0,00644116 | | |
| | Total (corregido) | 3,74654 | 95 | | | |
| | Error | 0,0163824 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|----|-------------|-----------|---------------|
| NDVI2 | Tratamiento | 0,789036 | 3 | 0,263012 | 77,26 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,313193 | 92 | 0,00340427 | | |
| | Total (corregido) | 1,10223 | 95 | | | |
| | Error | 0,0119098 | | | | |
| GNDVI | Tratamiento | 1,70949 | 3 | 0,56983 | 203,54 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,257565 | 92 | 0,00279962 | | |
| | Total (corregido) | 1,96706 | 95 | | | |
| | Error | 0,0108005 | | | | |
| PPR | Tratamiento | 1,17285 | 3 | 0,390948 | 61,95 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,580573 | 92 | 0,00631057 | | |
| | Total (corregido) | 1,75342 | 95 | | | |
| | Error | 0,0162154 | | | | |
| PRI | Tratamiento | 0,0100536 | 3 | 0,00335121 | 7,23 | 0,0002 |
| | Residuo | 0,0426524 | 92 | 0,000463613 | | |
| | Total (corregido) | 0,052706 | 95 | | | |
| | Error | 0,00439513 | | | | |
| SIPI | Tratamiento | 0,592698 | 3 | 0,197566 | 53,73 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,338307 | 92 | 0,00367725 | | |
| | Total (corregido) | 0,931005 | 95 | | | |
| | Error | 0,0123781 | | | | |
| REArea | Tratamiento | 1,1298 | 3 | 0,3766 | 107,98 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,320866 | 92 | 0,00348767 | | |
| | Total (corregido) | 1,45066 | 95 | | | |
| | Error | 0,0120549 | | | | |
| DDI | Tratamiento | 0,272807 | 3 | 0,0909357 | 20,35 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,411163 | 92 | 0,00446917 | | |
| | Total (corregido) | 0,68397 | 95 | | | |
| | Error | 0,0136461 | | | | |
| TACRI | Tratamiento | 23,3585 | 3 | 7,78616 | 36,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 19,8026 | 92 | 0,215245 | | |
| | Total (corregido) | 43,161 | 95 | | | |
| | Error | 0,0947024 | | | | |
| R ₆₇₅ /R ₇₀₀ | Tratamiento | 2,00983 | 3 | 0,669944 | 125,09 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,492734 | 92 | 0,0053558 | | |
| | Total (corregido) | 2,50257 | 95 | | | |
| | Error | 0,0149385 | | | | |
| R ₇₄₀ /R ₇₂₀ | Tratamiento | 0,568707 | 3 | 0,189569 | 54,57 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,319598 | 92 | 0,00347389 | | |
| | Total (corregido) | 0,888305 | 95 | | | |
| | Error | 0,012031 | | | | |
| R ₇₁₀ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 1,08422 | 3 | 0,361406 | 80,85 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,411259 | 92 | 0,00447021 | | |
| | Total (corregido) | 1,49548 | 95 | | | |
| | Error | 0,0136477 | | | | |
| R ₆₉₅ /R ₇₆₀ | Tratamiento | 2,55358 | 3 | 0,851193 | 127,86 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,612471 | 92 | 0,00665729 | | |
| | Total (corregido) | 3,16605 | 95 | | | |
| | Error | 0,0166549 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----|---------------|-----------|---------------|
| R ₆₉₅ /R ₆₇₀ | Tratamiento | 14,5508 | 3 | 4,85026 | 64,74 | 0,0000 |
| | Residuo | 6,89303 | 92 | 0,0749243 | | |
| | Total (corregido) | 21,4438 | 95 | | | |
| | Error | 0,0558735 | | | | |
| R ₇₅₀ /R ₇₀₅ | Tratamiento | 8,97236 | 3 | 2,99079 | 55,56 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,95267 | 92 | 0,0538334 | | |
| | Total (corregido) | 13,925 | 95 | | | |
| | Error | 0,0473609 | | | | |
| R ₈₆₀ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 517,405 | 3 | 172,468 | 72,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 218,306 | 92 | 2,37289 | | |
| | Total (corregido) | 735,711 | 95 | | | |
| | Error | 0,314437 | | | | |
| R ₆₇₂ /(R ₅₅₀ *R ₇₀₈) | Tratamiento | 0,382117 | 3 | 0,127372 | 6,80 | 0,0003 |
| | Residuo | 1,72204 | 92 | 0,0187178 | | |
| | Total (corregido) | 2,10415 | 95 | | | |
| | Error | 0,0279268 | | | | |
| (R ₈₅₀ -R ₇₁₀)/(R ₈₅₀ -R ₆₈₀) | Tratamiento | 0,574009 | 3 | 0,191336 | 44,75 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,39337 | 92 | 0,00427576 | | |
| | Total (corregido) | 0,967379 | 95 | | | |
| | Error | 0,0133475 | | | | |
| NDRE1 | Tratamiento | 0,16477 | 3 | 0,0549232 | 63,30 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,079826 | 92 | 0,000867674 | | |
| | Total (corregido) | 0,244596 | 95 | | | |
| | Error | 0,00601274 | | | | |
| NDRE2 | Tratamiento | 1,07424 | 3 | 0,358081 | 86,85 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,379315 | 92 | 0,00412299 | | |
| | Total (corregido) | 1,45356 | 95 | | | |
| | Error | 0,0131069 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₅₋₇₄₀)-1 | Tratamiento | 0,00101584 | 3 | 0,000338615 | 68,81 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,00045274 | 92 | 0,00000492109 | | |
| | Total (corregido) | 0,00146858 | 95 | | | |
| | Error | 0,000452819 | | | | |
| (R ₇₉₀ /R ₆₉₀₋₇₂₅)-1 | Tratamiento | 0,00640615 | 3 | 0,00213538 | 67,70 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,002902 | 92 | 0,0000315435 | | |
| | Total (corregido) | 0,00930815 | 95 | | | |
| | Error | 0,00114643 | | | | |
| mSR | Tratamiento | 10,441 | 3 | 3,48033 | 33,91 | 0,0000 |
| | Residuo | 9,44238 | 92 | 0,102635 | | |
| | Total (corregido) | 19,8834 | 95 | | | |
| | Error | 0,0653945 | | | | |
| SR ₆₈₀ | Tratamiento | 557,448 | 3 | 185,816 | 73,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 233,276 | 92 | 2,53561 | | |
| | Total (corregido) | 790,724 | 95 | | | |
| | Error | 0,325039 | | | | |
| SR ₇₀₅ | Tratamiento | 8,97236 | 3 | 2,99079 | 55,56 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,95267 | 92 | 0,0538334 | | |
| | Total (corregido) | 13,925 | 95 | | | |
| | Error | 0,0473609 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|----|-------------|--------------|---------------|
| mND | Tratamiento | 4,27746 | 3 | 1,42582 | 155,71 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,842432 | 92 | 0,00915687 | | |
| | Total (corregido) | 5,11989 | 95 | | | |
| | Error | 0,019533 | | | | |
| PSRI | Tratamiento | 0,0147395 | 3 | 0,00491318 | 12,68 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0356512 | 92 | 0,000387513 | | |
| | Total (corregido) | 0,0503907 | 95 | | | |
| | Error | 0,00401825 | | | | |
| Red/Green | Tratamiento | 0,598925 | 3 | 0,199642 | 36,18 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,507712 | 92 | 0,00551861 | | |
| | Total (corregido) | 1,10664 | 95 | | | |
| | Error | 0,0151638 | | | | |
| R ₅₅₀ /R ₈₀₀ | Tratamiento | 2,07129 | 3 | 0,690431 | 180,17 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,35255 | 92 | 0,00383207 | | |
| | Total (corregido) | 2,42384 | 95 | | | |
| | Error | 0,012636 | | | | |
| PSSR _a | Tratamiento | 557,448 | 3 | 185,816 | 73,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 233,276 | 92 | 2,53561 | | |
| | Total (corregido) | 790,724 | 95 | | | |
| | Error | 0,325039 | | | | |
| PSSR _b | Tratamiento | 351,69 | 3 | 117,23 | 65,64 | 0,0000 |
| | Residuo | 164,31 | 92 | 1,78597 | | |
| | Total (corregido) | 515,999 | 95 | | | |
| | Error | 0,272792 | | | | |
| PSND _a | Tratamiento | 3,15395 | 3 | 1,05132 | 163,22 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,592587 | 92 | 0,00644116 | | |
| | Total (corregido) | 3,74654 | 95 | | | |
| | Error | 0,0163824 | | | | |
| PSND _b | Tratamiento | 2,77757 | 3 | 0,925858 | 143,14 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,595073 | 92 | 0,00646819 | | |
| | Total (corregido) | 3,37265 | 95 | | | |
| | Error | 0,0164167 | | | | |
| NPCI | Tratamiento | 0,085266 | 3 | 0,028422 | 7,00 | 0,0003 |
| | Residuo | 0,373694 | 92 | 0,00406189 | | |
| | Total (corregido) | 0,45896 | 95 | | | |
| | Error | 0,0130094 | | | | |
| SRPI | Tratamiento | 0,172595 | 3 | 0,0575318 | 6,56 | 0,0005 |
| | Residuo | 0,807336 | 92 | 0,00877539 | | |
| | Total (corregido) | 0,979932 | 95 | | | |
| | Error | 0,0191218 | | | | |
| R ₈₀₀ -R ₅₅₀ | Tratamiento | 1,16019 | 3 | 0,386731 | 173,27 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,205337 | 92 | 0,00223193 | | |
| | Total (corregido) | 1,36553 | 95 | | | |
| | Error | 0,00964349 | | | | |
| R ₈₀₀ /R ₅₅₀ | Tratamiento | 49,5233 | 3 | 16,5078 | 117,87 | 0,0000 |
| | Residuo | 12,8844 | 92 | 0,140048 | | |
| | Total (corregido) | 62,4077 | 95 | | | |
| | Error | 0,0763892 | | | | |

(Continuación)

| Variable | fuelle | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|------------------------------------|-------------------|------------|----|-------------|-----------|---------------|
| NPQI | Tratamiento | 0,00230955 | 3 | 0,000769851 | 6,56 | 0,0005 |
| | Residuo | 0,0107933 | 92 | 0,000117318 | | |
| | Total (corregido) | 0,0131028 | 95 | | | |
| | Error | 0,00221094 | | | | |
| OCAR | Tratamiento | 3,43812 | 3 | 1,14604 | 41,91 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,51547 | 92 | 0,0273421 | | |
| | Total (corregido) | 5,95359 | 95 | | | |
| | Error | 0,0337528 | | | | |
| YCAR | Tratamiento | 6,88956 | 3 | 2,29652 | 46,67 | 0,0000 |
| | Residuo | 4,52676 | 92 | 0,0492039 | | |
| | Total (corregido) | 11,4163 | 95 | | | |
| | Error | 0,0452787 | | | | |
| D ₇₀₅ /D ₇₂₂ | Tratamiento | 13,9351 | 3 | 4,64505 | 47,48 | 0,0000 |
| | Residuo | 9,00133 | 92 | 0,0978405 | | |
| | Total (corregido) | 22,9365 | 95 | | | |
| | Error | 0,0638489 | | | | |
| D ₇₂₅ /D ₇₀₂ | Tratamiento | 1,00089 | 3 | 0,333631 | 30,32 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,01227 | 92 | 0,0110029 | | |
| | Total (corregido) | 2,01316 | 95 | | | |
| | Error | 0,0214115 | | | | |
| BND | Tratamiento | 1,1889 | 3 | 0,396299 | 38,28 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,952406 | 92 | 0,0103522 | | |
| | Total (corregido) | 2,1413 | 95 | | | |
| | Error | 0,0207688 | | | | |
| BmSR | Tratamiento | 7,00231 | 3 | 2,3341 | 85,99 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,49733 | 92 | 0,0271449 | | |
| | Total (corregido) | 9,49964 | 95 | | | |
| | Error | 0,0336309 | | | | |
| BmND | Tratamiento | 12,5745 | 3 | 4,19149 | 41,56 | 0,0000 |
| | Residuo | 9,2789 | 92 | 0,100858 | | |
| | Total (corregido) | 21,8534 | 95 | | | |
| | Error | 0,0648259 | | | | |
| D ₇₅₄ /D ₇₀₄ | Tratamiento | 0,0174499 | 3 | 0,00581665 | 21,05 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,0254225 | 92 | 0,000276331 | | |
| | Total (corregido) | 0,0428724 | 95 | | | |
| | Error | 0,0033932 | | | | |
| D ₇₁₅ /D ₇₀₅ | Tratamiento | 0,63667 | 3 | 0,212223 | 36,85 | 0,0000 |
| | Residuo | 0,529892 | 92 | 0,0057597 | | |
| | Total (corregido) | 1,16656 | 95 | | | |
| | Error | 0,0154915 | | | | |
| Clorofila A µg /mg | Tratamiento | 3,48988E6 | 3 | 1,16329E6 | 17,13 | 0,0000 |
| | Residuo | 6,04272E6 | 89 | 67895,7 | | |
| | Total (corregido) | 1,03146E7 | 95 | | | |
| | Error | 53,1882 | | | | |
| Clorofila B µg /mg | Tratamiento | 793003, | 3 | 264334, | 10,36 | 0,0000 |
| | Residuo | 2,27069E6 | 89 | 25513,4 | | |
| | Total (corregido) | 3,63071E6 | 95 | | | |
| | Error | 32,6046 | | | | |
| Clorofila Total µg /mg | Tratamiento | 7,60154E6 | 3 | 2,53385E6 | 15,57 | 0,0000 |
| | Residuo | 1,44796E7 | 89 | 162692, | | |
| | Total (corregido) | 2,46674E7 | 95 | | | |
| | Error | 82,3337 | | | | |

Análisis de varianza para el rendimiento

| Variable | fuente | SC | GL | MC | Razón - F | Razón - P |
|-------------|-------------------|-----------|----|-----------|--------------|---------------|
| Rendimiento | Tratamiento | 5,91857E7 | 3 | 1,97286E7 | 36,73 | 0,0000 |
| | Bloque | 102920, | 3 | 34306,8 | 0,06 | 0,9776 |
| | Residuo | 4,83465E6 | 9 | 537184, | | |
| | Total (corregido) | 6,41232E7 | 15 | | | |
| | Error | 366,464 | | | | |

Bibliografía

- Afandi, S. D., Herdiyeni, Y., Prasetyo, L. B., Hasbi, W., Arai, K., & Okumura, H. (2016). Nitrogen Content Estimation of Rice Crop Based on Near Infrared (NIR) Reflectance Using Artificial Neural Network (ANN). *Procedia Environmental Sciences*, 33, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.057>
- Aguilar, C. G. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja , Ecuador. *CEDEMAZ*, 5(1), 30–41. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265040339_Using_High_Spatial_Resolution_Multispectral_Data_to_Classify_Corn_and_Soybean_Crops?enrichId=rgreq-c901c1e0a6ac75d3022f3cb351600d22-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NTA0MDMzOTtBUzoxNzc1ODAyNTg4OTc5MjBAMTQ
- Aparicio, J., Asunci, M., & Morales, J. (n.d.). *Modelos Lineales Aplicados en R*.
- Barbazán, M. (1998). *Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Facultad de Agronomía*. Retrieved from <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/AnPlantas.pdf>
- Botero, J. M. (2009). *Determinación del nivel foliar de nutrientes mediante espectroscopia de reflectancia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.4067/S0071-17132000003500023>
- Botero Herrera, J., Parra Sánchez, L., & Cabrera Torres, K. (2009). Determinación del Nivel de Nutrición Foliar en Banano por Espectrometría de Reflectancia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5089–5098. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24919>
- Bridhikitti, A., & Overcamp, T. J. (2012). Estimation of Southeast Asian rice paddy areas with different ecosystems from moderate-resolution satellite imagery. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146(1), 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.016>

- Cao, Q., Miao, Y., Wang, H., Huang, S., Cheng, S., Khosla, R., & Jiang, R. (2013). Non-destructive estimation of rice plant nitrogen status with Crop Circle multispectral active canopy sensor. *Field Crops Research*, 154, 133–144.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.005>
- Casanova, D., Epema, G. F., & Goudriaan, J. (1998). Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI. *Field Crops Research*, 55, 83–92.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00064-6)
- Castaño, J. L. (1991). Espectrometría Derivada en Química Clínica. *Química Clínica*, 10(5), 347–359.
- Chang, K. W., Shen, Y., & Lo, J. C. (2005). Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage. *Agronomy Journal*, 97(3), 872–878.
<https://doi.org/10.2134/agronj2004.0162>
- Chen, P., Habouddabe, D., Trembaly, N., Wang, J., Vigneault, P., & Li, B. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1987–1997.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (Volumen 2).
- Clevers, J. G. P. W., De Jong, S. M., Epema, G. F., Van Der Meer, F. D., Bakker, W. H., Skidmore, A. K., & Scholte, K. H. (2002). Derivation of the red edge index using the MERIS standard band setting. *International Journal of Remote Sensing*, 23(16), 3169–3184. <https://doi.org/10.1080/01431160110104647>
- Cozzolino, D., & Sawchik, J. (2004). Avances en la Determinación Rápida de Nitrógeno en Planta para Cebada y Trigo para el Diagnóstico de Refertilización, 1–7.
- Dawson, T. P., & Curran, P. J. (1998). *A new technique for interpolating the reflectance red edge position*. *Remote Sensing* (Vol. 19).
<https://doi.org/10.1080/014311698214910>
- De La Cruz, J. A. (2008). *Reflectancia e Índices Espectrales en Pigmentos para Diagnóstico Nutricional de Nitrógeno*. Colegio de Postgraduado.
- Díaz, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS / RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*.
- Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria. (2003). *Manual Técnico para el Cultivo de Arroz (Oryza sativa)*. Honduras. Retrieved from
<https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>

- Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2006). *Manejo del Nitrógeno en Arroz. Informaciones Agronomicas*.
- FEDEARROZ. (2009). Variedad Fedearroz 67. Retrieved from http://www.fedearroz.com.co/new/agroquimicos2.php?prod=Fedearroz_67
- FEDEARROZ. (2015a). *Adopción Masiva de Tecnología*. Retrieved from http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia_de_trabajo_baja.pdf
- FEDEARROZ. (2015b). Historia del Arroz. Retrieved from <http://www.fedearroz.com.co/new/historiaarroz.php>
- Gamon, J. A., Peñuelas, J., & Field, C. B. (1992). A Narrow - Waveband Spectral Index that Tracks Diurnal Changes in Photosynthetic Efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 10.
- García, S., & Martínez, J. (2010). Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L .) con base en imágenes de satélite, 28(2), 281–290.
- Gómez-Casero, M. T., López-Granados, F., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Expósito, M., García-Torres, L., & Fernández-Escobar, R. (2007). Assessing nitrogen and potassium deficiencies in olive orchards through discriminant analysis of hyperspectral data. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(5), 611–618. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-36649013236&partnerID=40&md5=b55737dd7e75e30dd875dfcd5913b9e3>
- Hernández, J. (2007). *Procesamiento digital de imágenes*. Chile. Retrieved from <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Tratamiento Digital de Imágenes - Jaime Hernández 2011.pdf>
- Huang, S., Miao, Y., Zhao, G., Yuan, F., Ma, X., Tan, C., ... Bareth, G. (2015). Satellite Remote Sensing-Based In-Season Diagnosis of Rice Nitrogen Status in Northeast China. *Remote Sensing*, 7(8), 10646–10667. <https://doi.org/10.3390/rs70810646>
- Huber, S., Kneubühler, M., Psomas, A., Itten, K., & Zimmermann, N. E. (2008). Estimating foliar biochemistry from hyperspectral data in mixed forest canopy. *Forest Ecology and Management*, 256, 491–501. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.011>
- Jorgensen, N. R., & Christensen, L. K. (2004). Nutrient Stress Discrimination of N , P , and K Deficiencies in Barley Utilising Multi-band Reflection at Sub-leaf Scale. *CIGR International Conference*, 450.
- Ju, C., Tian, Y., Yao, X., Cao, W., Zhu, Y., & Hannaway, D. (2010). Estimating Leaf Chlorophyll Content Using Red Edge Parameters. *Pedosphere*, 20(5), 633–644.

[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60053-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60053-7)

- Le Maire, G., Francois, C., & Dufrene, E. (2004). Towards Universal Broad Leaf Chlorophyll Indices Using PROSPECT Simulated Database and Hyperspectral Reflectance Measurements. *Remote Sensing of Environment*, 89, 1–28.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.09.004>
- Li, D., Cheng, T., Zhou, K., Zheng, H., Yao, X., Tian, Y., ... Cao, W. (2017). WREP: A wavelet-based technique for extracting the red edge position from reflectance spectra for estimating leaf and canopy chlorophyll contents of cereal crops. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 129, 103–117.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.04.024>
- Liang, S. (2003). *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. Wiley Praxis series in Remote Sensing. <https://doi.org/10.1002/047172372X>
- López de Alba, P. ., & López Matínez, L. (1992). Una Introducción a la Espectrometría de Derivadas. In *Educación química* (Vol. 112, p. 11).
- López de Sabando, M. J. (2012). Índices espectrales según fertilización nitrogenada y zonas de productividad de trigo, (L), 1–7.
- Manjarrez, C., Pinedo, C., Vélez, C. E., & Pinedo, A. (2007). Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con Imágenes Landsat TM. *Medio Ambiente Y Desarrollo Sustentable*, 1(2), 48–56.
- Metternicht, G. (2017). Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management, 1161(May), 23.
<https://doi.org/10.1080/01431160210163074>
- Moreno-Garcia, B., Guillén, M., Casterad, M. A., & Quílez, D. (2013). Uso de Imágenes Aéreas Multiespectrales para Estimación del Rendimiento en Cultivo de Arroz. *XV Congreso de La Asociación Española de Teledetección INTA*, 22–25.
- Mutanga, O., & Skidmore, A. K. (2007). Red edge shift and biochemical content in grass canopies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62, 34–42.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.02.001>
- Naito, H., Ogawa, S., Valencia, M. O., Mohri, H., Urano, Y., Hosoi, F., ... Omasa, K. (2017). Estimating rice yield related traits and quantitative trait loci analysis under different nitrogen treatments using a simple tower-based field phenotyping system with modified single-lens reflex cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and*

- Remote Sensing*, 125, 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.010>
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 99–118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>
- Noureldin, N. a., Aboelghar, M. a., Saady, H. S., & Ali, a. M. (2013). Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.005>
- Olmos, S. (2006). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz. Argentina.
- Quirós, R., & Ramirez, C. (2006). Evaluación de la fertilización nitrogenada en arroz inundado. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 179–188.
- Reynolds, M., Pask, A., Mullan, D., & Chávez, P. (2013). *Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptacion del cultivo. Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptacion del cultivo*. México. Retrieved from <http://repository.cimmyt.org:8080/xmlui/handle/10883/3207>
- Rodríguez, J. (1999). Fertilización del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa*). In *XI Congreso Agronómico /III Congreso Nacional de Suelos 1999* (pp. 123–136). Retrieved from http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_123.pdf
- Salazar, M. (2002). Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y curvas de absorción de la variedad fedearroz 50, en condiciones de secano favorecido.
- Savitzky, A., & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
- Seager, S., Turner, E. L., Schafer, J., & Ford, E. B. (2005). Vegetation's Red Edge: A Possible Spectroscopic Biosignature of Extraterrestrial Plants. *Astrobiology*, 5(3), 22. <https://doi.org/10.1089/ast.2005.5.372>
- Senay, G. B., Lyon, J. G., Ward, A. D., & Nokes, S. E. (2000). Using High Spatial Resolution Multispectral Data to Classify Corn and Soybean Crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(April 2016), 319–327. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265040339_Using_High_Spatial_Resolutio

n_Multispectral_Data_to_Classify_Corn_and_Soybean_Crops?enrichId=rgreq-c901c1e0a6ac75d3022f3cb351600d22-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NTA0MDMzOTtBUzoxNzc1ODAyNTg4OTc5MjBAMTQ

- Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)
- Song, S., Gong, W., Zhu, B., & Huang, X. (2011). Wavelength selection and spectral discrimination for paddy rice, with laboratory measurements of hyperspectral leaf reflectance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(5), 672–682. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.05.002>
- Tian, Y. C., Yao, X., Yang, J., Cao, W. X., Hannaway, D. B., & Zhu, Y. (2011). Assessing newly developed and published vegetation indices for estimating rice leaf nitrogen concentration with ground- and space-based hyperspectral reflectance. *Field Crops Research*, 120(2), 299–310. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.002>
- Uhart, S. a, & Echeverría, H. E. (n.d.). El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz.
- Valenciaga, D., & Simoes, D. O. (2006). *La espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes*.
- Villarreal, J., Name, B., Smyth, J., & Quirós, E. (2007). Dosis óptima para la fertilización nitrogenada del arroz, en la región central de Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 18(1), 115–127.
- Wang, W., Yao, X., Tian, Y. chao, Liu, X. jun, Ni, J., Cao, W. xing, & Zhu, Y. (2012). Common Spectral Bands and Optimum Vegetation Indices for Monitoring Leaf Nitrogen Accumulation in Rice and Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(12), 2001–2012. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60457-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60457-2)
- Witt, C., Pasuquin, J. M., Mutters, R., & Buresh, R. J. (2005). Tabla de Comparacion de Colores para el Manejo Efectivo del Nitrogeno en Arroz. In *Información Agronómica* (Vol. 89, pp. 36–39).
- Xue, L., Cao, W., Luo, W., Dai, T., & Zhu, Y. (2004). Monitoring Leaf Nitrogen Status in Rice with Canopy Spectral Reflectance. *Agronomy Journal*, 96(1), 135–142.

- <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0135>
- Xue, L., & Yang, L. (2009). Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.06.002>
- Yao, Y., Miao, Y., Cao, Q., Wang, H., Gnyp, M. L., Bareth, G., ... Liu, C. (2014). In-season estimation of rice nitrogen status with an active crop canopy sensor. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4403–4413. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2322659>
- Zhang, J. H., Wang, K., Bailey, J. S., & Wang, R. C. (2006). Predicting nitrogen status of rice using multispectral data at canopy scale. *Pedosphere*, 16(1), 108–117. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60032-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60032-5)
- Zhu, Y., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., & Cao, W. (2008). Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.02.006>