



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Trabajo Final de Graduación  
Modalidad: Tesina

# **“GREENSEEKER: PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN DOS MATERIALES DE ARROZ LARGO FINO”**

Alumno: Churruarin, Matías Hernán

Directora: Ing. Agr. (MSc) Luciana G. Herber

Lugar de trabajo: Estación Experimental Agropecuaria INTA  
Corrientes

Carrera: Ingeniería Agronómica

## **ÍNDICE**

INDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE FIGURAS. ....	3
ÍNDICE DE TABLAS DE ANEXO.....	3
ABREVIATURAS. ....	3
RESUMEN.....	4
1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	5
2.- OBJETIVOS	
2.1.-_Objetivos generales.....	7
2.2.- Objetivos específicos.....	7
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1.- Sitio experimental y cultivo.....	8
3.2.- Diseño experimental y tratamientos.....	8
3.3.- Determinaciones.....	9
3.4.- Análisis estadístico.....	9
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1.- Respuesta a la fertilización.....	10
4.2.- Comportamiento del NDVI en el ciclo del cultivo.....	11
4.2.1.- IRGA 424.....	11
4.2.2.- TRANQUILO FL INTA.....	13
4.3.- Efecto de las dosis de urea sobre el NDVI.....	15
4.4.- Correlación entre NDVI y rendimiento.....	17
4.5.- Predicción de rendimiento.....	20
5.- CONSIDERACIONES FINALES.....	22
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	22
7.- ANEXO.....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis de suelos del sitio del experimento.....	8
<b>Tabla 2.</b> Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> ) de la variedad IRGA 424.....	10
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> ) de la variedad Tranquilo FL INTA.....	10

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dinámica temporal del NDVI para la variedad IRGA 424.....	11
<b>Figura 2.</b> Primera derivada del NDVI en función de los DDE.....	11
<b>Figura 3.</b> Dinámica temporal del NDVI para la variedad TRANQUILO FL INTA.....	13
<b>Figura 4.</b> Primera derivada del NDVI en función de los DDE.....	14
<b>Figura 5.</b> IRGA 424: Dinámica temporal del NDVI en función de las dosis de urea aplicadas.....	16
<b>Figura 6.</b> Tranquilo FL INTA: Dinámica temporal del NDVI en función de las dosis de urea aplicadas.....	16
<b>Figura 7.</b> IRGA 424: Coeficientes de correlación en función de los DDE.....	18
<b>Figura 8.</b> Tranquilo FL INTA: Coeficiente de correlación en función de los DDE.....	18
<b>Figura 9.</b> Regresión lineal para estimación de rendimiento (NDVI - 61 DDE) en la variedad IRGA 424.....	20
<b>Figura 10.</b> Regresión lineal para estimación de rendimiento (NDVI - 61 DDE) en la variedad TRANQUILO FL INTA.....	21

## ÍNDICE DE TABLAS DE ANEXO

<b>7.1.- IRGA 424.</b>	
7.1.1.- Respuesta del cultivo a la fertilización.....	26
7.1.2.- ANOVA para cada fecha de muestreo.....	26
7.1.3.- Correlación entre NDVI y Rendimiento.....	26
<b>7.2.- TRANQUILO FL INTA.</b>	
7.2.1.- Respuesta del cultivo a la fertilización.....	27
7.2.2.- ANOVA para cada fecha de muestreo.....	27
7.2.3.- Correlación entre NDVI y Rendimiento.....	27

## ABREVIATURAS

**DPF** – Diferenciación de Primordio Floral  
**FL** - Floración  
**LLG** - Llenado de

## RESUMEN

### “Greenseeker: Predicción De Rendimiento En Función De Diferentes Niveles De Fertilización En Dos Materiales De Arroz Largo Fino”

El índice de vegetación más conocido y utilizado es el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI). Uno de los equipos que emplea este índice es el GreenSeeker®, con el cual es posible realizar una medición directa del mismo y cuya interpretación, puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutricionales además del rendimiento potencial de los cultivos. Los objetivos generales de este trabajo fueron ajustar los niveles de fertilización para obtener altos rendimientos en dos variedades de arroz largo fino y a su vez generar datos que aporten fundamento a la utilización de sensores NDVI en el cultivo de arroz en la provincia de Corrientes. Para ello se realizaron dos ensayos en el campo experimental de la EEA INTA Corrientes durante la campaña 2017/18, donde las variedades sembradas fueron IRGA 424 y Tranquilo FL INTA. El diseño estadístico fue factorial en parcelas divididas; siendo la parcela principal las dosis de base (200, 250, 300 y 350 kg.ha<sup>-1</sup>) y las subparcelas las dosis de urea (150, 200, 250 y 300 kg.ha<sup>-1</sup>). Las mediciones de NDVI fueron realizadas manualmente con el sensor Greenseeker una vez por semana comenzando a los 47 días después de emergencia hasta la semana previa a cosecha. Los resultados encontrados evidenciaron que ambas variedades presentaron respuesta significativa sólo a la aplicación de urea, siendo las dosis de 200 y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de urea, las que maximizaron el rendimiento en IRGA 424 y Tranquilo FL INTA, respectivamente. La correlación entre el índice NDVI y el rendimiento del cultivo en ambos materiales fue positiva y moderada, con una tendencia a debilitarse al avanzar el ciclo del cultivo. Los resultados encontrados indicaron que el nitrógeno tuvo un efecto significativo sobre el NDVI en todos los estadios fenológicos. Las diferencias NDVI se mantuvieron en todo el ciclo, mostrando valores más altos en parcelas con niveles de fertilización mayores. Además, se halló que la relación entre NDVI y rendimiento fue lineal, particularmente en el estadio de iniciación de la panoja, donde explicó un 29% y 33%, para IRGA 424 y Tranquilo FL INTA respectivamente.

## 1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El arroz es uno de los cultivos más importantes a nivel global, siendo el tercer cereal más cultivado en el mundo con una producción estimada de 496 millones de toneladas de arroz elaborado, en 163 millones de hectáreas (USDA, 2020).

En Argentina, el consumo per cápita de arroz es muy bajo (7 kg de arroz blanco/año), lo que significa que con el 25% de la producción nacional es suficiente para cubrir el mercado interno, pudiéndose destinar el 75% restante al comercio internacional (INTA, ACPA y Ministerio de Producción de Corrientes 2016). En nuestro país, la actividad se desarrolla en el litoral, siendo Corrientes la principal provincia productora con 92.000 hectáreas sembradas en la campaña 2019/20 lo que representa un 47% de la producción nacional. Las provincias que siguen en importancia son: Entre Ríos 31 %, Santa Fe 15%, Formosa 4% y Chaco 2% (ACPA 2020).

En Corrientes desde la campaña 2011/12 comenzaron a sembrarse superficies crecientes de IRGA 424, el cual a la fecha es el material más sembrado en la provincia (52 % de la superficie) (ACPA 2020). Es de origen brasileño, de vigor inicial bajo, alta capacidad de macollaje, de ciclo intermedio de siembra a cosecha (132 días), excelente potencial de rendimiento y muy buena respuesta a la fertilización y prácticas de manejo (Sementes Simão). Dentro de las variedades de origen nacional cabe destacar Tranquilo FL-INTA. Es un material de ciclo intermedio/largo, presenta una planta compacta con buen potencial de rendimiento, excelente calidad de grano, resistente a vuelco y Pyricularia con buen comportamiento frente a la demora de cosecha (INTA y Ministerio de Producción de Corrientes 2017)

Si bien son muchos los factores que afectan el rendimiento final del cultivo, la predicción anticipada del mismo a fin de realizar correcciones oportunas en el manejo, ha tomado relevancia estos últimos años. Actualmente disponemos de sensores que permiten monitorear la nutrición nitrogenada y el estado general de los cultivos. Estos sensores constituyen una herramienta de diagnóstico muy interesante, aunque no reemplazan los métodos tradicionales por lo que debemos emplearlos como un método de diagnóstico complementario. De este modo, podemos acompañar y avalar las decisiones tomadas inicialmente y actuar en caso de que las deficiencias de nutrientes aparezcan (Ross y López de Sabando 2016).

El índice de vegetación más conocido y usado es el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada, en el inglés, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse *et. al.*, 1973). Es un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad de distintas longitudes de onda que pretende extraer para un área determinada la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo y radiación solar entre otras (Gutiérrez Soto *et. al.* 2011)

Uno de los equipos que emplea este índice es el GreenSeeker®, con el cual es posible realizar una medición directa de NDVI y cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutricionales, especialmente de nitrógeno, además del rendimiento potencial de los cultivos (Inman *et. al.* 2008, Lan *et al.* 2009). El cálculo del NDVI implica el uso de una simple fórmula con estas bandas mencionadas:  $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ . Donde R ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) es la radiación roja incidente sobre la superficie vegetal, y NIR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) es la radiación infrarroja cercana reflejada por ella. El GreenSeeker utiliza diodos que emiten la luz que luego de contactar con la superficie del vegetal se refleja y es leída por el sensor. La luz natural incidente es separada de la producida por el instrumento electrónicamente. Una señal de voltaje permite cuantificar las fracciones de NIR y RED provenientes de los diodos y traducirla

directamente en un valor de NDVI (Jones et al., 2007). Debido a su normalización, los rangos de medición del NDVI se encuentran entre 1,0 y -1,0, siendo los valores más altos 0,7-0,8 indicadores de plantas en las mejores condiciones. Un 1 representa la densidad más alta posible de hojas verdes y saludables (Viney et al. 2005, Monteith y Unsworth 2008). Los suelos descubiertos generan valores positivos bajos 0,1 a 0,2 y el agua libre valores que van desde -0,1 hasta 0,1 ó 0,2. Valores de -1 se registran en superficies blancas como la nieve, el hielo o las nubes, mientras que 0 indica ausencia de vegetación.

Si bien pudieron relevarse dos trabajos realizados en arroz para la zona del NEA (Pirchi et al. 2013 y Karlen y Pachecoy 2016), continúa resultando escasa la información de esta herramienta como predictor de rendimiento. Debido a que esta tecnología presenta un nicho importante a nivel local aun poco explorado en el cultivo de arroz, surge la realización de este trabajo.

## **2.- OBJETIVOS**

### **2.1.- Objetivos generales.**

- Ajustar los niveles de fertilización para obtener altos rendimientos en dos variedades de arroz largo fino.
- Generar datos que aporten fundamento a la utilización de sensores NDVI en el cultivo de arroz en la provincia de Corrientes.

### **2.2.- Objetivos específicos.**

- Evaluar la respuesta en rendimiento a la combinación de diferentes dosis de fertilizante de base y urea.
- Establecer relación entre los valores de NDVI y rendimiento para diferentes etapas del cultivo.
- Identificar la influencia de las dosis de N sobre el NDVI.
- Encontrar las ecuaciones que describan el mejor comportamiento de las variables estudiadas.

### 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1.- Sitio experimental y cultivo.

Este trabajo se llevó a cabo en el campo experimental de la EEA INTA Corrientes. Los suelos pertenecen a la unidad cartográfica 95a / h-D-A, la cual está formada por una asociación de suelos Argiudoles ácuicos (Serie Treviño), Endoacualfes típicos (Serie Valencia) y Epiacualfes típicos (Serie Tala) con predominio de los primeros (Escobar *et al.*, 1996). La Serie Treviño pertenece a la clase de Capacidad de uso IIIe, los suelos se ubican en relieve normal, media loma alta a media loma, con pendientes de 1 a 1,5 %. Son moderadamente bien drenados, con escurrimiento medio a lento y permeabilidad moderadamente lenta a moderada, encharcables por cortos períodos. Presenta un epipedón mólico de 40 cm de profundidad, que incluye un BA<sub>t</sub>, franco arenoso, color pardo grisáceo muy oscuro y reacción débilmente ácida. El horizonte argílico (B<sub>t</sub>), franco arcillo arenoso, fuertemente estructurado, tiene color negro y reacción neutra. Son suelos moderadamente fértiles, con valores intermedios de bases de cambio, especialmente en el B<sub>t</sub> y bajos de materia orgánica en el epipedón; muy pobres en fósforo (Escobar *et al.*, 1996).

En pre siembra se realizó un muestreo de suelo con el objetivo de caracterizar el sitio experimental. Se tomaron muestras entre 0-20 cm sobre las que se determinó pH (1:2,5 H<sub>2</sub>O), materia orgánica (MO) (Walkey & Black), Nitrógeno total (N<sub>t</sub>) (Kjeldahl), fósforo extractable (P) (Bray & Kurtz 1), y cationes intercambiables (K (potasio), Ca (calcio), Mg (magnesio)) (Acetato de amonio pH 7) según lo descrito en Sparks *et al.* (1996). (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Análisis de suelos del sitio del experimento.

Profundidad	pH	MO	N <sub>t</sub>	P	K	Ca	Mg
Muestra		(%)	(%)	ppm	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg
0-20 cm	5,46	0,91	0,05	4,89	0,27	3,55	1,06

La parcela sobre la que se sembraron los ensayos tenía dos años de descanso, la preparación de suelo se llevó a cabo en los meses de otoño/invierno y consistió en dos pasadas de rastra y dos nivelaciones con landplane.

Los materiales estudiados fueron IRGA 424 y Tranquilo FL INTA. Los mismos fueron sembrados el día 26/09/2017 con una sembradora experimental Semina de 9 surcos espaciados a 0,20 m, resultando las parcelas bajo estudio de 9 m<sup>2</sup> (9 surcos x 0,20 m x 5 m largo). La densidad de siembra (250pl/m<sup>2</sup>) fue de 80 kg.ha<sup>-1</sup> y 95 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. La fecha de emergencia fue el 06/10/2017. IRGA 424 floreció el 31/12/2017, mientras que Tranquilo FL INTA el 10/1/2018. La fecha de cosecha fue el 07/02/2018 y 05/03/2018 para IRGA 424 y Tranquilo FL INTA respectivamente.

#### 3.2.- Diseño experimental y tratamientos.

Cada una de las variedades de arroz se estudió individualmente. El diseño estadístico fue factorial, donde la parcela principal fue la dosis de base y la subparcela las dosis de urea (4 repeticiones por tratamiento). Los tratamientos resultaron de la combinación de 4 dosis de fertilizante de base 6-16-40 (200, 250, 300 y 350 kg.ha<sup>-1</sup>), aplicados al voleo a la siembra; combinados con 4 dosis de fertilizante nitrogenado en forma de urea 46-0-0 (150, 200, 250 y 300 kg.ha<sup>-1</sup>). Se realizó la aplicación de herbicida

en función de las malezas presentes y se inició el riego inmediatamente luego de aplicar la urea (25/10/2017), a los 20 días desde emergencia.

### **3.3.- Determinaciones.**

Para determinación de rendimiento, se cortaron manualmente los 5 surcos centrales de cada parcela por 4 m de largo (4 m<sup>2</sup>), descartándose la bordura. Las muestras fueron trilladas, se tomó humedad y peso iniciales; y luego se pusieron en estufa hasta peso constante. El rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (grano seco al 13 % de humedad):

$$\text{Rendimiento (kg.ha}^{-1}\text{)} = (\text{peso muestra cosechada (kg)} \times (10.000 \text{ m}^2/\text{superficie cosechada (m}^2\text{)})) \times ((100 - \text{humedad promedio de cosecha})/87)$$

Las mediciones de NDVI fueron realizadas manualmente con el sensor Greenseeker®, caminando la parcela y elevando el mismo 50 cm por encima del canopeo, una vez por semana (en las 4 repeticiones) entre los 47 y 124 días desde emergencia (DDE) en IRGA 424 y entre los 47 y 146 DDE en Tranquilo FL INTA. La determinación de la fecha de inicio de las mediciones fue tomada del trabajo de Karlen y Pachecoy (2017), quienes sugirieron inestabilidad de datos obtenidos en etapas tempranas del cultivo debido a la estructura del canopeo.

### **3.4.- Análisis estadístico.**

Para el análisis estadístico se utilizó el software estadístico Infostat (InfoStat, 2008). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de LSD Fisher ( $p < 0,05$ ) para la comparación de medias. Para el análisis correlación se utilizó el coeficiente de Pearson. La ecuación de rendimiento se obtuvo a través de una regresión lineal entre NDVI y rendimiento, para ello, se seleccionó el valor de correlación más alto obtenido en el ciclo del cultivo.

## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1.- Respuesta a la fertilización.

Con respecto a la respuesta del cultivo a la fertilización, pudo apreciarse que en ambas variedades el rendimiento se vio influenciado solamente por la dosis de urea aplicada ( $p=0,0074$  en IRGA 424 y  $p=0,0003$  en Tranquilo FL INTA); mientras que no resultaron significativos los niveles de fertilizante de base, ni la interacción base\*urea (ANEXO Tablas 7.1 y 7.2).

En la **Tabla 2** puede observarse que los mayores rendimientos obtenidos en la variedad IRGA 424 ocurrieron con aplicaciones de 200, 250 y 300 kg.ha<sup>-1</sup> de urea (promedio 10.544 kg.ha<sup>-1</sup>) sin diferencias significativas entre sí.

**Tabla 2.** Rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) de la variedad IRGA 424

Dosis de urea	Medias	
250	10663	A
300	10593	A
200	10376	A
150	9755	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p=0,0074$ )*

Por su parte, los mayores rendimientos obtenidos en Tranquilo FL INTA, se lograron con las dosis de 250 y 300 kg.ha<sup>-1</sup> de urea (promedio 12.071 kg.ha<sup>-1</sup>) con diferencias significativas con el resto de los tratamientos (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Rendimiento (kg.ha<sup>-1</sup>) de la variedad Tranquilo FL INTA

Dosis de urea	Medias	n	
250	12100	16	A
300	11943	16	A
200	11084	16	B
150	10720	16	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p=0,0003$ )*

A diferencia del presente trabajo, Herber y Scaraffia (2017) encontraron respuesta significativa a la aplicación de dosis crecientes de fertilizante de base en la variedad IRGA 424. En otro trabajo, informaron respuestas significativas a la adición fósforo como fertilizantes de mezclas físicas hasta la dosis de 81 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y concluyeron que este efecto era independiente de la fuente utilizada (Herber y Scaraffia, 2017a). Genro Junior *et al.* (2010), obtuvieron productividades máximas con dosis de 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 52 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para las variedades, IRGA 422CL, IRGA 417, IRGA 420 y BR-IRGA 409 en distintas localidades en el sur brasileiro.

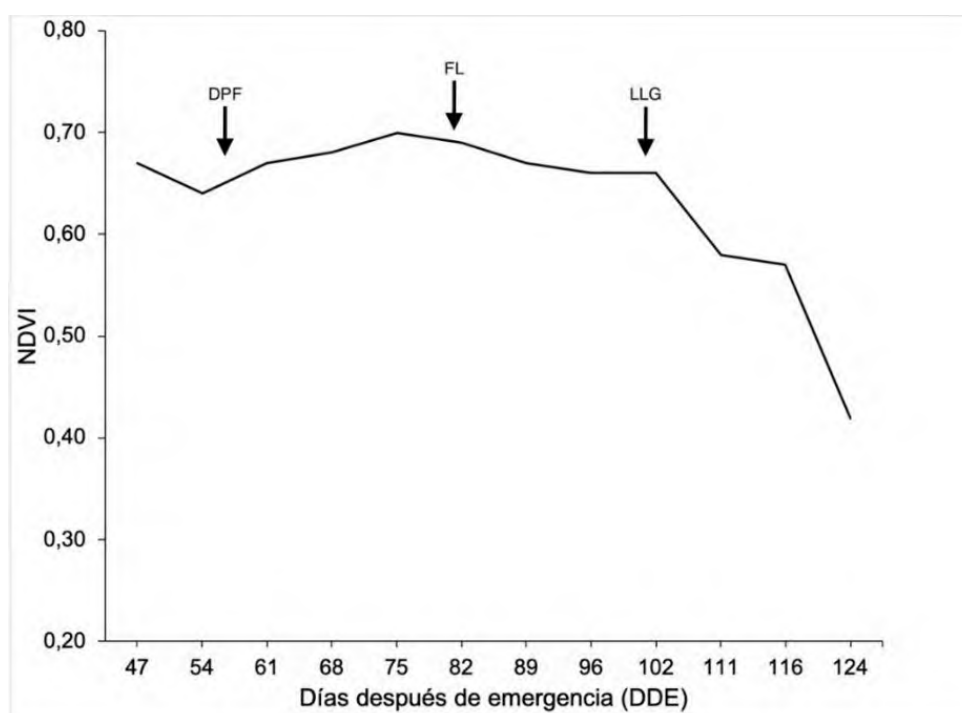
Con respecto de la respuesta de ambos materiales al agregado de urea, los rendimientos encontrados fueron similares a los obtenidos por Herber y Kraemer (2012) en un ensayo en la EEA INTA Corrientes. Los mismos fueron de 11.000 kg.ha<sup>-1</sup> para Tranquilo FL INTA y de 12.000 kg.ha<sup>-1</sup> para IRGA 424; ambos obtenidos con la dosis de 180 kg.ha<sup>-1</sup> de urea.

Marchesi (2017), logró respuestas significativas ( $\sim 10.000 \text{ kg.ha}^{-1}$  arroz cascara) al agregado de nitrógeno en la variedad de ciclo intermedio INIA Olimar, con una dosis de  $246 \text{ kg.ha}^{-1}$  de urea. Evidencias de un mayor potencial se hallaron en localidad brasilera de Cachoeira do sul (RS), donde se obtuvo rendimiento de  $12.550 \text{ kg.ha}^{-1}$  para IRGA 424 RI en cinco campañas consecutivas (2014 al 2019) con una fertilización de  $261 \text{ kg.ha}^{-1}$  de urea particionado 2/3 pre-riego y 1/3 en DPF (Grohs *et. al.*, 2019). En similitud a lo mencionado anteriormente, Wolter *et. al.* (2019), evaluó dosis crecientes de nitrógeno en la misma variedad, alcanzando un rendimiento de  $12.658 \text{ kg.ha}^{-1}$  a la dosis de  $437 \text{ kg.ha}^{-1}$  de urea.

## 4.2.- Comportamiento del NDVI en el ciclo del cultivo

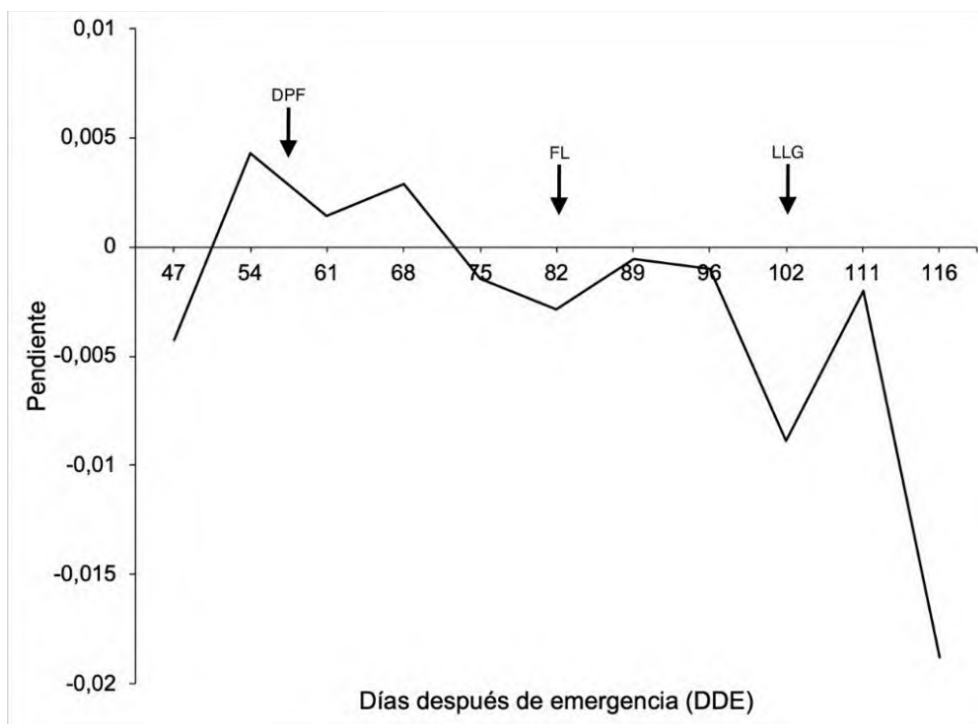
### 4.2.1.- IRGA 424

En la **Figura 1** se presenta la dinámica temporal del NDVI visto como promedio todos los tratamientos estudiados, para la variedad IRGA 424, donde fueron identificadas tres etapas importantes del cultivo: Diferenciación de Primordio Floral (DPF), Floración (FL) y Llenado de Granos (LLG) a los 55, 82 y 102 DDE respectivamente. En el mismo puede observarse que el NDVI tomó valores crecientes a partir de DPF para lograr el pico máximo cercano a FL (0,70) y a partir de allí comenzar a decrecer progresivamente hasta un valor mínimo de 0,42 al final del cultivo.



**Figura 1.** Valores medios de NDVI para todos los tratamientos, en función a los días de desarrollo del cultivo después de emergencia, para la variedad IRGA 424. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).

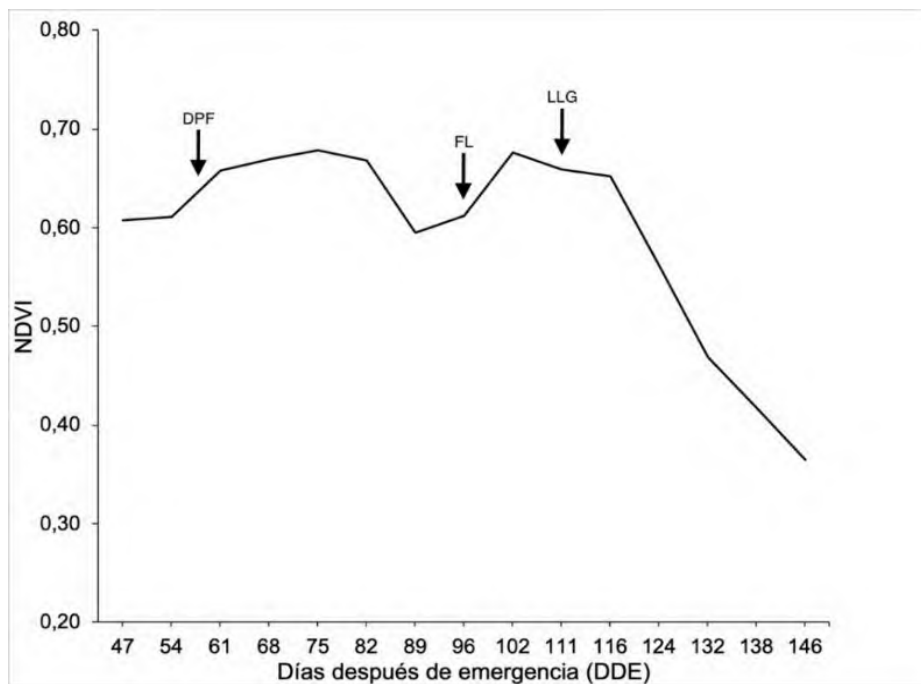
Como forma de analizar la tasa de variación de las curvas espectro temporales de NDVI a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo, fue aplicada la primera derivada (**Figura 2**). En el mismo pudo observarse; de forma más clara, un primer pico positivo correspondiente a la iniciación de la panícula (DPF), para luego continuar con la emergencia y desarrollo de la panoja (FL). Hacia la senescencia del cultivo, se observó una tendencia negativa acelerándose a partir los 102 DDE, momento que corresponde a la madurez de los granos.



**Figura 2.** Pendiente o primera derivada de la curva NDVI en función a los días de desarrollo del cultivo después de emergencia para la variedad IRGA 424. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).

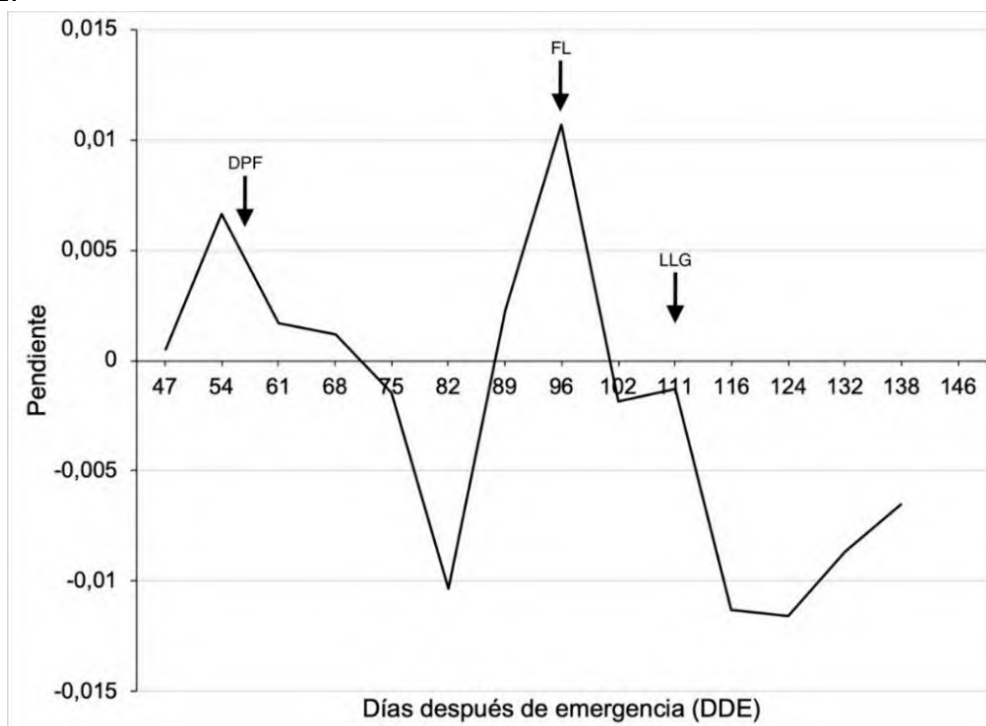
#### **4.2.2.- TRANQUILO FL INTA.**

En el **Figura 3** se presenta la dinámica temporal del NDVI visto como promedio todos los tratamientos estudiados para la variedad Tranquilo FL INTA, donde fueron identificadas nuevamente las etapas de DPF, FL y LLG a los 55, 96 y 111 DDE respectivamente. Coincidentemente con IRGA 424, esta variedad presentó un pico máximo en la etapa de prefloración (NDVI 0,68) y una disminución en los valores de este, luego de llenado de grano. Sin embargo, a diferencia de IRGA 424, la campana presentó una disminución de NDVI entre los 82 y 102 DDE etapa que se corresponde fenológicamente con la floración del cultivo.



**Figura 3.** Valores medios de NDVI para todos los tratamientos, en función a los días de desarrollo del cultivo después de emergencia, para la variedad TRANQUILO FL INTA. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).

Con respecto al cambio en la pendiente; en la **Figura 4** puede observarse un primer pico correspondiente a la iniciación de la panoja (DPF), un comportamiento errático para la etapa de floración, pico negativo alrededor de los 82 DDE y luego un pico positivo a los 96 DDE, finalmente el comienzo de la fase de maduración del cultivo a los 111 DDE.



**Figura 4.** Pendiente o primera derivada de la curva NDVI en función a los días de desarrollo del cultivo después de emergencia para la variedad TRANQUILO FL INTA. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).

Tal como se observó en la **Figuras 1 y 3**, la variación del NDVI en el ciclo de cultivo se asemejó a una curva de crecimiento vegetal típica como las presentadas por Viña *et al.*, (2004), Karlen y Pachecoy (2017) y González Betancourt *et. al.* (2018). Debido a que los datos fueron tomados en etapas avanzadas del cultivo, la curva no se muestra en toda su extensión. Ambas variedades coincidieron en una fase exponencial hasta llegar a un máximo de NDVI, para luego decrecer (Chang *et al.*, 2005).

Con respecto al estadio DPF, el índice se ubicó en 0,64 y 0,61 para las variedades IRGA 424 y Tranquilo FL INTA respectivamente. Karlen y Pachecoy (2017) indicaron magnitudes mayores de NDVI a los 52 DDE (0,70 IRGA 424 - 0,66 Tranquilo FL INTA). En otras variedades como Guri INTA CL, Pirchi (2013) halló valores máximos promedios en 0,56 a los 48 DDE; siendo estos más bajos en estudios realizados en base al material Inia Merin con 0,48 (Aguirre Bértiz y Posser Urban, 2017). En el otro extremo, González Betancourt *et. al.*(2018) obtuvo 0,89 a los 52 DDE para la variedad Fedearroz 2000.

Alrededor de floración, los datos hallados en este ensayo, respecto al valor máximo promedio en ambas variedades, fueron similares con datos obtenidos por Karlen y Pachecoy (2017) quienes obtuvieron valores de 0,71 en IRGA 424 y 0,65 para Tranquilo FL INTA, así como otros medidos con imágenes satelitales en diferentes materiales (García y Martínez 2010). Otros autores encontraron valores superiores a 0,70 para desarrollo de panícula y floración (0,80 Bariani *et al.*, 2017 y 0,68 Saavedra Mora *et al.*, 2018).

En IRGA 424, el valor máximo dividió la curva en dos partes, un crecimiento sostenido hasta panojamiento y luego decrecimiento hasta la cosecha, así como también lo encontró Wang *et al.*, (2014) y Bariani *et al.* (2017). Sin embargo, no ocurrió así en Tranquilo FL INTA, tuvo una abrupta caída alrededor de floración. Esto pudo deberse, a que se registraron dos fechas de floración en el ensayo, las cuales se correspondían con dos ciclos bien marcados de diferente duración de la variedad (material que segregó).

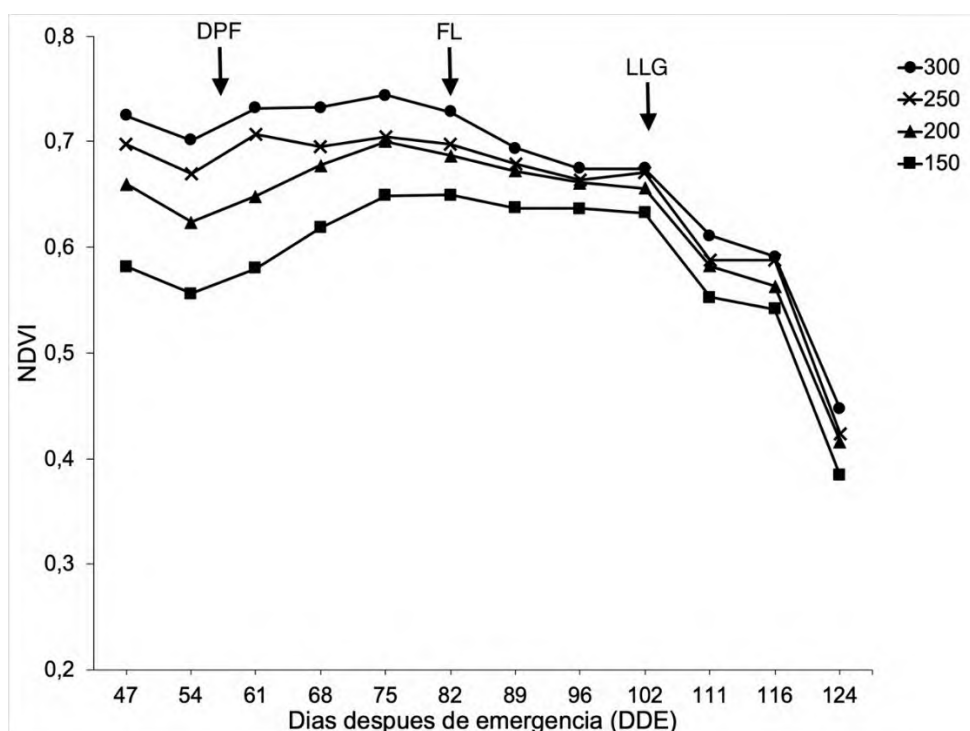
Al analizar la tasa de cambio del NDVI (**Figuras 2 y 4**), ambos materiales coincidieron en un pico inicial provocado por el crecimiento de la panícula. Este estadio es considerado de gran importancia, ya que se comienza a definir el segundo componente de rendimiento (número de granos por panoja) y el cultivo se presenta más sensible a los cambios ambientales (Wang *et. al.* 2014). Inmediatamente, la pendiente tomó un valor negativo debido a la emergencia de la panícula; y se debe a que la misma tiene una reflectancia mayor en todas las longitudes de onda que una hoja verde típica. Estas modifican las características espectrales del canopy como un todo, reduciendo la absorción en la región visible, particularmente en el rojo (Viña *et. al.* 2004). Posterior al panojamiento, ya en floración, se observaron valores de pendiente negativos cercanos a 0 en IRGA 424. Esto correspondió a la máxima acumulación de materia seca y NDVI máximo alcanzado por la variedad, tal como también lo observó González Betancourt *et. al.* (2018) y Viña *et al.*, (2004) en maíz. En Tranquilo FL INTA, en concordancia con Bariani *et al.*, (2017), la floración no toma valores cercanos a 0. Esta diferencia, con respecto a lo antes mencionado, puede deberse a la floración heterogénea observada en el ensayo de esta variedad. Hacia la senescencia, la merma en el NDVI se relaciona con la caída en la concentración de clorofila y un aumento en el infrarrojo dado por marchitamiento y exposición del suelo (Chang *et. al.*, 2005), acelerándose a partir de los

111 DDE que corresponde a la madurez de los granos, valor que coincide con lo observado por Viña *et al*, (2004).

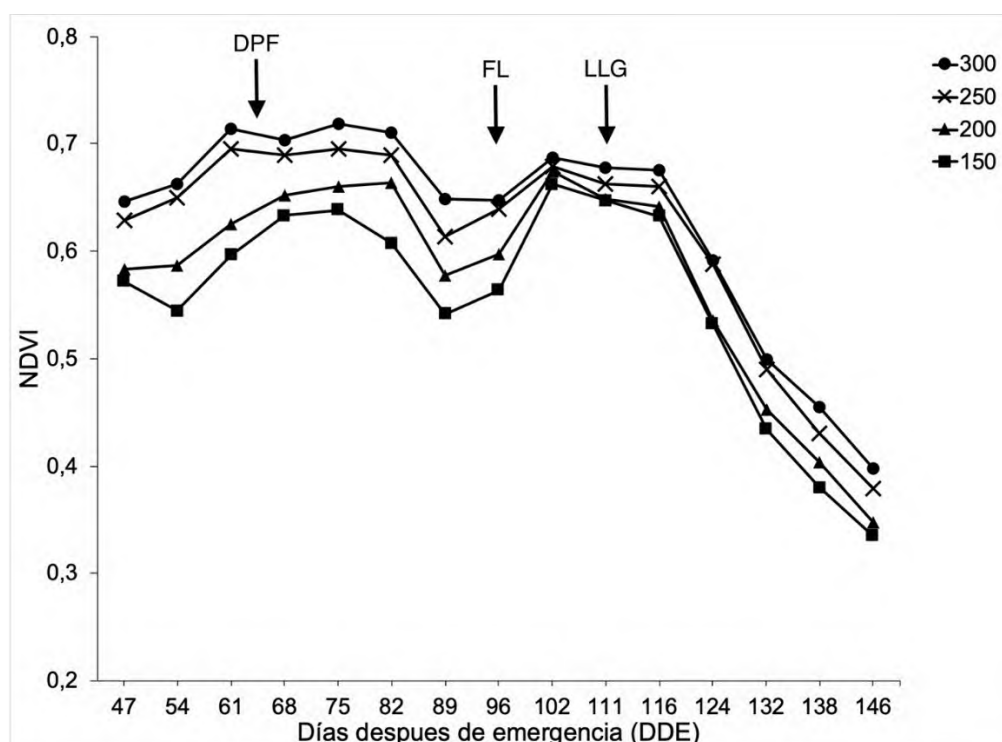
#### 4.3.- Efecto de las dosis de urea sobre el NDVI.

En la **Figura 5** se presenta la dinámica temporal del NDVI en función de los DDE para cada una de las dosis de urea aplicadas para la variedad IRGA 424 . Esta presenta inicialmente valores altos (entre 0,72 y 0,58) hasta floración para luego decrecer conforme avanza el ciclo del cultivo (entre 0,45 y 0,38). Este patrón se mantuvo en las 4 dosis de urea estudiadas.

Asimismo, en la **Figura 6** la dinámica temporal del NDVI en Tranquilo INTA FL, se observaron valores iniciales medios (entre 0,65 y 0,57), incrementándose previo a floración, momento a partir del cual decrecieron hacia el fin del ciclo (entre 0,40 y 0,35).



**Figura 5.** Valores de NDVI de cada tratamiento (300, 250, 200 y 150 kg.ha<sup>-1</sup> urea), en función a los días de desarrollo de cultivo después de emergencia para la variedad IRGA 424. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).



**Figura 6.** Valores de NDVI de cada tratamiento (300, 250, 200 y 150 kg.ha<sup>-1</sup> urea), en función a los días de desarrollo de cultivo después de emergencia para la variedad TRANQUILO FL INTA. Se indican los estadios de diferenciación de primordio floral (DPF), floración (FL) y llenado de granos (LLG).

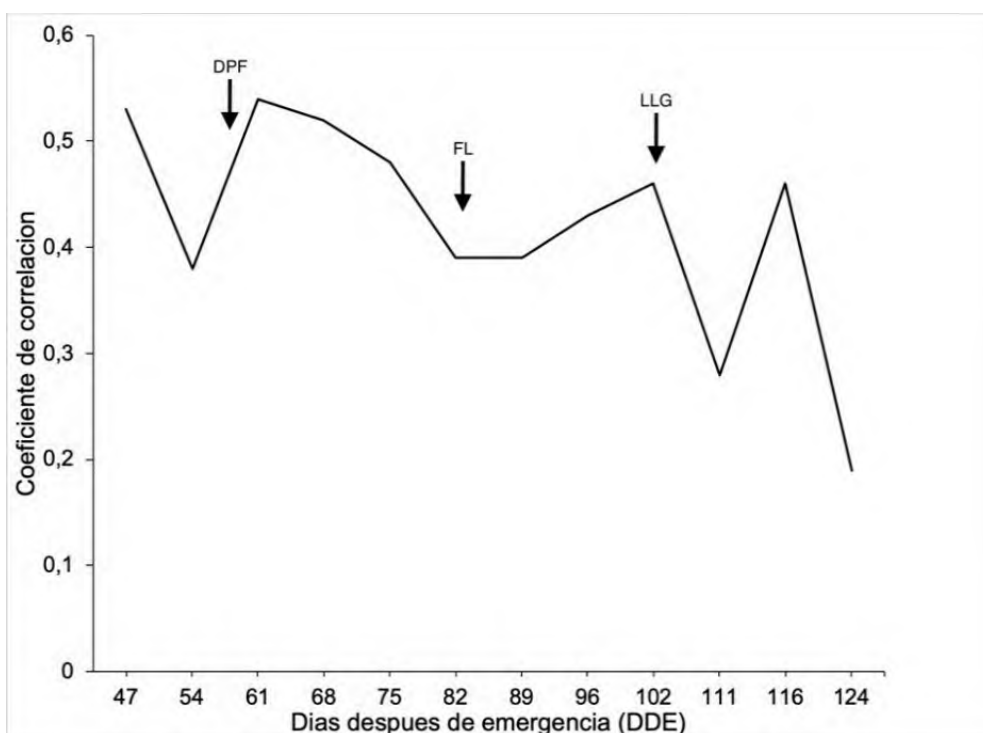
En la variedad IRGA 424 la dosis mas alta de urea (300 kg.ha<sup>-1</sup> de urea), describió una curva que se mantuvo por encima del resto de las dosis, en general marcando diferencias significativas con el resto de los tratamientos estudiados (**ANEXO 7.2.2**). Este comportamiento fue similar en Tranquilo FL INTA, particularmente se distinguieron las dosis mas altas (250 y 300 Kg.ha<sup>-1</sup> de urea) las cuales mantuvieron diferencias significativas en casi todo el ciclo del cultivo. Alrededor de floración y llenado de grano estas diferencias fueron menos conspicuas en ambas variedades, posiblemente denotando el efecto de saturación del índice mencionado mas adelante. Este mismo efecto sostenido de la urea sobre el índice, también fue descrito en trigo desde macollaje hasta madurez (Sultana *et al.* 2014). En similitud con este trabajo, Swain *et al.* (2012) observó una simetría a la respuesta de tratamientos con nitrógeno (0, 33, 66, 93, 132, 165 kg.ha<sup>-1</sup> N) para 45 y 65 días post trasplante. Por otro lado, cambio Montiel (2017) no encontró diferencias entre dosis crecientes de nitrógeno (0, 160, 200, 240 kg.ha<sup>-1</sup> N) para las etapas iniciales del cultivo (hasta los 41 DDE), pero si desde DPF hasta madurez de grano en la variedad Fedearroz 67. Otro autor (Liu *et al.* 2015) confirmó incrementos graduales del índice en respuesta a la urea hasta los 260 kg.ha<sup>-1</sup>, que a diferencia de este trabajo solo realizó mediciones en estadios avanzados (panojamiento). Esta sensibilidad del NDVI a la aplicación de fertilizante, indicó un potencial de detección de deficiencias tempranas de nitrógeno (Guan *et al.*, 2019). Buscando comprender este fenómeno, es posible referenciar con otros cultivos de estructura similar como ser trigo y cebada, en el que varios investigadores observaron que el incremento de reflectancia en el rojo se relaciona con decrecimientos en el contenido de clorofila debido a bajo aporte de nitrógeno, traducido en NDVI más bajo.

Así mismo el índice más alto se debe al efecto inverso (Asrar *et al.* (1984), Jensen *et al.* (1990), Peñuelas *et al.* (1996)).

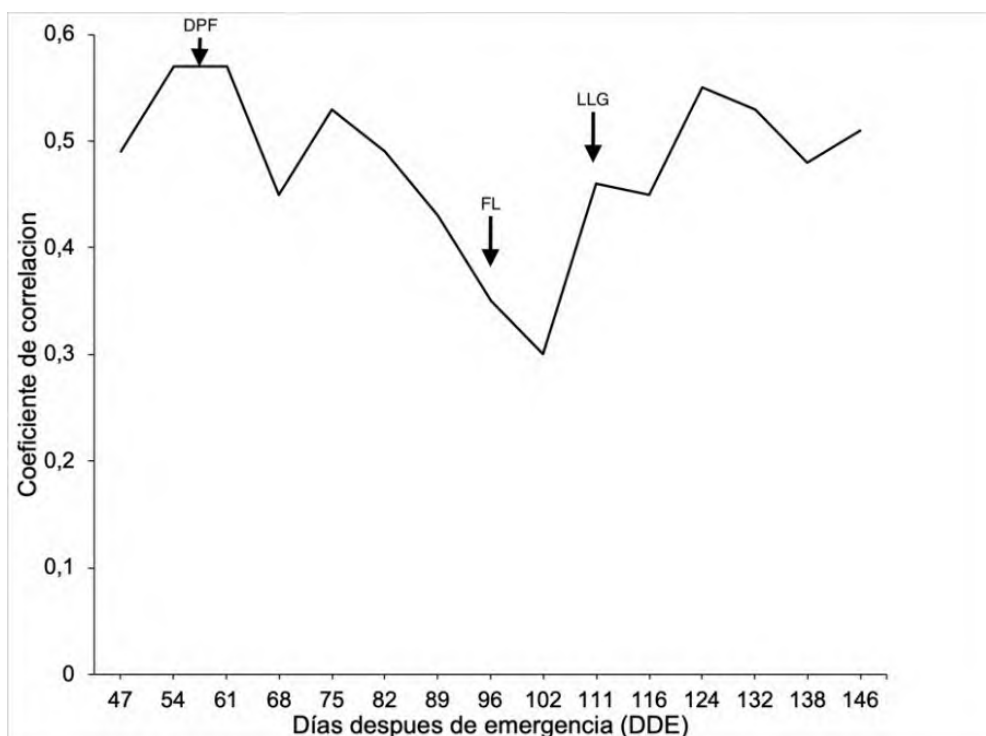
#### 4.4.- Correlación entre NDVI y rendimiento.

Los resultados obtenidos muestran que, en ambos materiales, los valores de rendimiento variaron sistemáticamente con respecto a los del índice NDVI para todos los estadios estudiados de forma positiva, exceptuando la última medición que corresponde a los 124 DDE en IRGA 424 (**ANEXO** tablas 7.1.3 y 7.2.3).

Para la variedad IRGA 424 se observó, tal como lo muestra la **Figura 7**, un  $r^2$  máximo de 0,54 a los 61 DDE, declinando a 0,19 previo a cosecha. Mientras que para Tranquilo FL INTA en la **Figura 8** se destacó el mejor ajuste, el cual, se alcanzó entre los 54 y 61 DDE con un máximo de 0,57, concluyendo el ciclo del cultivo con 0,51.



**Figura 7.** Coeficiente de correlación Pearson en función a los días de desarrollo después de emergencia para la variedad IRGA 424.



**Figura 8.** Coeficiente de correlación Pearson en función a los días de desarrollo después de emergencia para la variedad Tranquilo FL INTA.

El mejor ajuste en el estadio reproductivo temprano hizo de este un momento óptimo para relacionar la información espectral con el rendimiento para IRGA 424, coincidente con el trabajo realizado por Chang *et al.* 2005, en iniciación de la panícula y su emergencia. Por otro lado, Araujo *et al.* 2019, encontró valores de ajuste mayores ( $r^2=0,90$ ) previos a DPF, mostrando que el buen desenvolvimiento inicial de las plantas contribuyó al periodo posterior.

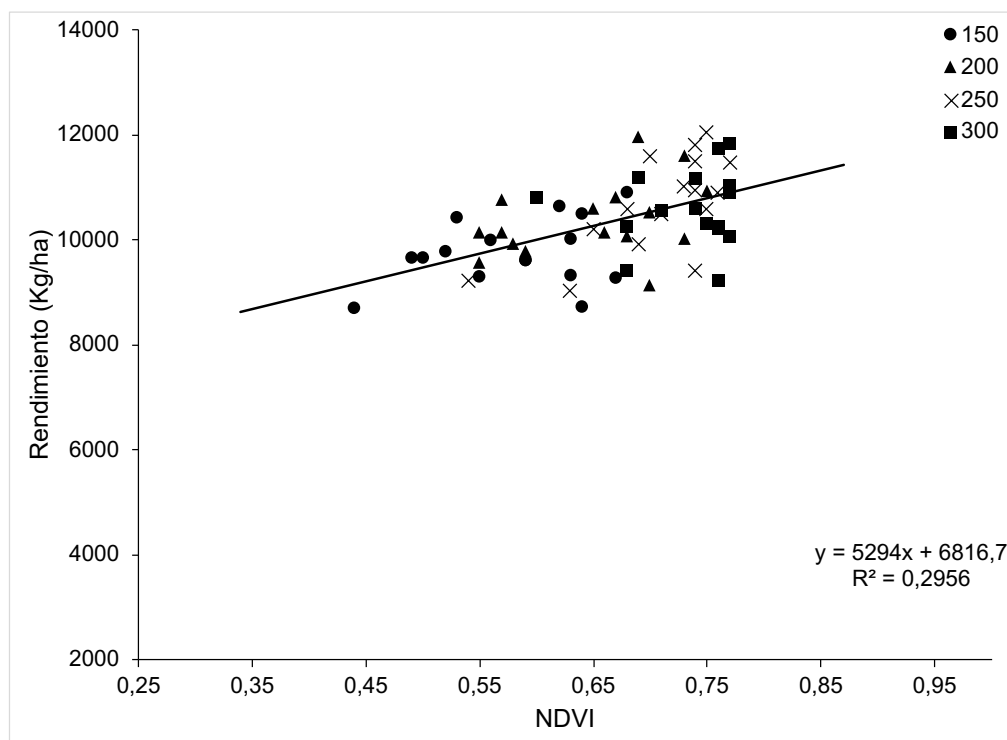
En la variedad Tranquilo FL INTA, el momento óptimo no solo fue alrededor de DPF, sino también se observó una correlación similar en etapas de maduración del grano, como también lo sugieren Karlen y Pachecoy (2017), en base a valores encontrados en IRGA 424 a los 102DDE. Si bien existieron ajustes moderados en esta etapa, Harrell *et al.* (2011) halló que el censado luego de la iniciación de la panícula resulta impráctico y reduce el potencial de estimación.

Cabe destacar que, en ambos materiales estudiados, el  $r^2$  comenzó a declinar alrededor de la floración. Esta fuente de distorsión en estadios más avanzados puede deberse a las panículas y la saturación de los valores NDVI (Guan *et al.* 2019); lo cual, se asemeja con lo hallado por Teal *et al.* (2006) en maíz, quien atribuye el declinamiento de la relación NDVI-rendimiento, a la influencia del cierre del canopeo sobre el campo de visión del sensor óptico.

#### **4.5.- Predicción de rendimiento.**

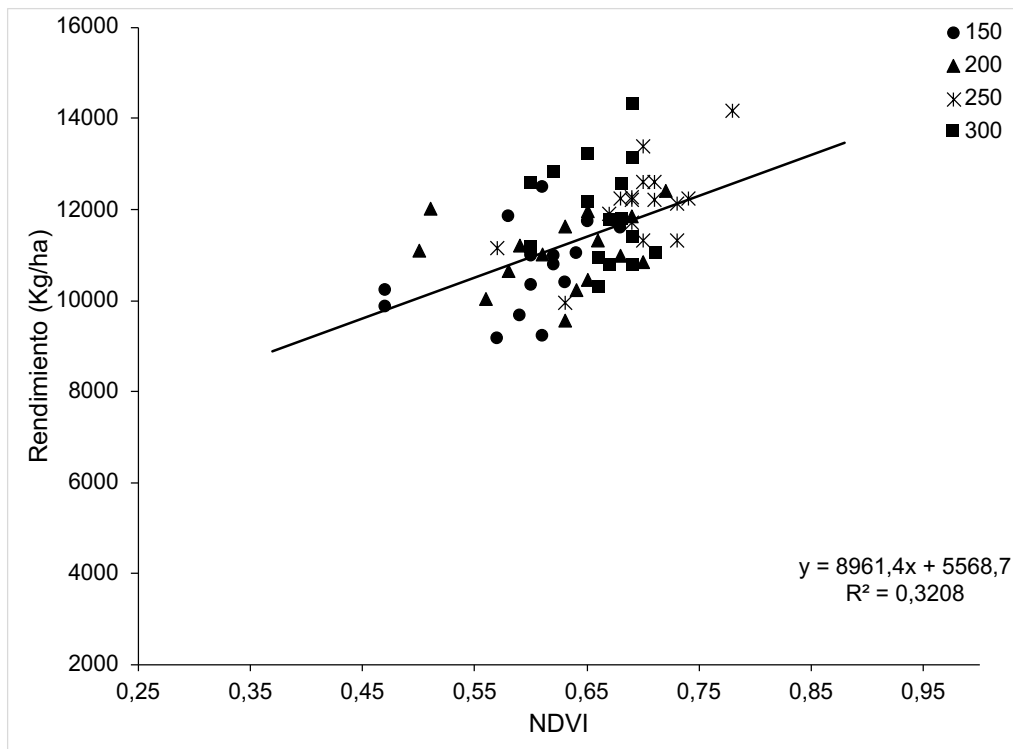
Con el objetivo de evaluar cuantitativamente la capacidad de predecir rendimiento a partir de la medición de NDVI, se presenta la regresión lineal obtenida para la variedad IRGA 424 a los 61 DDE (**Figura 9**). En la misma puede observarse que la mayor densidad de puntos se ubica en valores de NDVI entre 0,65 - 0,77 los cuales corresponden a tratamientos entre 200 y 300 kg.ha<sup>-1</sup> de urea. La ecuación obtenida

predice un aumento de 529 kg.ha<sup>-1</sup> por cada decimal de NDVI, con un error estándar de 719 kg.ha<sup>-1</sup>. El ajuste fue significativo con un  $r^2=0,29$ .



**Figura 9.** Rendimiento en función al NDVI como variable regresora, para la medición realizada 61DDE en la variedad IRGA 424.

Para la variedad Tranquilo FL INTA, la mayor densidad de puntos se ubicó en valores de NDVI entre 0,55-0,70, los cuales, al igual que la variedad anterior corresponden a tratamientos entre 200 y 300 kg.ha<sup>-1</sup> de urea a la misma fecha analizada (**Figura 10**). La ecuación predice un aumento de 896 kg.ha<sup>-1</sup> por cada decimal de NDVI, con un error estándar de 941 kg.ha<sup>-1</sup>. El ajuste fue significativo con un  $r^2=0,32$ .



**Figura 10.** Rendimiento en función al NDVI como variable regresora, para la medición realizada 61DDE en la variedad TRANQUILO FL INTA.

Para ambos materiales, los valores de ajuste ( $r^2$ ) para predecir rendimiento en iniciación de panícula, fueron similares a los encontrados por Aguirre Bértiz y Posser Urban (2017) 15 días posteriores a primordio. En cambio, Chang *et al.* (2005), Swain y Zaman (2012), Moreno *et al.* (2013) y Ali *et al.* (2014) explicaron la variación de rendimiento en aproximadamente 70% con lecturas en la misma fase fenológica. Debido a las diferencias entre cultivares y diferentes ambientes a los que se los exponen, hace difícil obtener una sola ecuación robusta para la predicción del rendimiento (Chang *et al.* 2005).

## 5.- CONSIDERACIONES FINALES

- Ambas variedades presentaron respuesta significativa sólo a la aplicación de urea, resultando las dosis de base y la interacción base\*urea no significativas. Siendo las dosis de 200 y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de urea, las que maximizaron el rendimiento en IRGA 424 y Tranquilo FL INTA, respectivamente.
- Los resultados encontrados indicaron que el nitrógeno tuvo un efecto significativo sobre el NDVI en todos los estadios fenológicos. Las diferencias NDVI se mantuvieron en todo el ciclo, mostrando valores más altos en parcelas con niveles de fertilización mayores.
- La correlación entre el índice NDVI y el rendimiento del cultivo en ambos materiales fue positiva y moderada, con una tendencia a debilitarse al avanzar el ciclo del cultivo.
- Las ecuaciones con las que obtuvo el mejor ajuste entre NDVI y rendimiento fueron lineales para ambos materiales. Para la variedad IRGA 424 ( $y = 5294x + 6816,17 - r^2 = 0,29$  - EE 719 kg.ha<sup>-1</sup>). En el caso de Tranquilo FL INTA ( $y = 8961,4x + 5568,70 - r^2 = 0,32$  - EE 941 kg.ha<sup>-1</sup>).

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- ACPA y Bolsa de Cereales de Entre Ríos. 2020. Relevamiento arrocerero nacional. Informe de campaña 2019/20.
- Aguirre Bértiz L. F. y L. Posser Urban. 2017. Evaluación de la fertilización nitrogenada a primordio en el cultivo de arroz y el uso del NDVI como herramienta para su ajuste. Tesis de grado, Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía. [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18621/1/TTS\\_AguirreBértizLuisFrancisco.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18621/1/TTS_AguirreBértizLuisFrancisco.pdf). Último acceso: 22 de junio 2020.
- Ali A. M., Thind H. S., Sharma S., Singh V. 2014. Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. *Field Crops Research*, vol 161, pp. 11-15.
- Araujo I. S., Trabaquini K., Blainski E. 2019. Correlação do rendimento do arroz com a temperatura, radiação solar e NDVI no sul de Santa Catarina. XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado 2019. <https://www.cbai2019.com.br/anais>. Último acceso: 8 de junio 2020.
- Asrar G., Fuchs M., Kanemasu E. T., Morgan J. L.. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, vol. 76(2), pp. 300–306.
- Bariani C., Bariani N., Neto G. 2017. Característica espectral de cultivares de arroz irrigado durante o ciclo de desenvolvimento no sul do Brasil. 10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res2560802.
- Chang K. W., Shen Y., Lo J. C. 2005. Predicting rice yield using canopy reflectance measured at booting stage. *Agronomy Journal* vol 97, pp. 872-878.
- Escobar E. H., Ligier H. D., Melgar R., Matteo H., Vallejos O. 1996. Mapa de suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Corrientes, Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Provincia de Corrientes. Argentina, p. 315.
- García J. y Martínez M. 2010. Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite. *Agronomía colombiana* 28(2), pp. 281-290.
- Genro Junior S. A., Marcolin E., Anghinoni I. 2010. Eficácia das recomendações de adubação para diferentes expectativas de produtividade de arroz irrigado por inundação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34 , pp.1667-1675.
- González-Betancourt M., Mayorga-Ruiz L. 2018. Normalized difference vegetation index for rice management in El Espinal, Colombia. *DYNA*, 85(205), pp. 47-56.
- Grohs M., Moura Silverira R., Bredow A. A., Baumhardt Dorneles A., Friedrich Neu G. R. 2019. Resposta à expectativa de adubação das cultivares de arroz irrigado. XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado 2019, Itajaí- SC, pp. 390-394.
- Guan S.; K. Fukami; H. Matsunaka; M. Okami; R. Tanaka; H. Nakano; T. Sakai; K. Nakano; H. Ohdan; K. Takahashi. 2019. Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops Using Small UAVs. *Remote Sens.* 2019, vol 11, p. 112.
- Gutierrez-soto M. V., Cadet-Piedra E., Rodríguez-Montero W., Araya-Alfaro J. M. 2011. El GreenSeeker TM y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana*, vol 22, pp. 397-403.

- Harrell D. L., Tubaña B. S., Walker T. W., Phillips S. B. 2011. Estimating rice grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*, vol 103, pp. 1717-1723.
- Herber L. G., Kraemer A. F. 2012. Respuesta a dosis crecientes de nitrógeno en híbridos y variedades de arroz de uso actual. INTA EEA Corrientes Proyecto Arroz Campaña 2011-2012. ISSN 0327-4209, vol XX, p. 41.
- Herber L. G., Scaraffia B. G. 2017. Fertilización con fosforo en arroz: evaluación de dosis y fuentes en un suelo albacualf típico (serie Chequín). INTA EEA Corrientes Proyecto Arroz Campaña 2017-2018. ISSN 0327-4209, vol XXVI, p. 111.
- Herber L. G., Scaraffia B. G. 2017. Respuesta de la variedad IRGA 424 a fuentes y niveles de fertilización en un suelo de la serie chequin. INTA EEA Corrientes Proyecto Arroz Campaña 2017-2018. ISSN 0327-4209, vol XXVI, p. 107.
- InfoStat (2008). InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Inman D.; R. Khosla R., Reich D. Westfall. 2008. Normalized Difference Vegetation Index and Soil Color-Based Management Zones in Irrigated Maize. *Agronomy Journal*, vol 100, pp. 60-66.
- INTA y Ministerio de la producción de Corrientes. 2017. Líneas de trabajo del Grupo Cultivos Extensivos con énfasis en Arroz. EEA INTA Corrientes, p. 12.
- INTA, ACPA y Ministerio de Producción de Corrientes. 2016. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de arroz. Serie Técnica N°2 - ISSN 1852-0678, p. 134.
- Jensen A., Lorenzen B., Spelling-Ostergaard H., Kloster- Hvelplund E.. 1990. Radiometric estimation of biomass and nitrogen content of barley grown at different nitrogen levels. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11(10), pp. 1809–1820.
- Jones C., Weckler P., Maness N., Jayasekara R., Stone M., Chrz D. 2007. Remote Sensing to Estimate Chlorophyll Concentration in Spinach Using Multi-Spectral Plant Reflectance. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN 0001-2351, vol. 50(6), pp. 2267-2273.
- Karlen H., M. I. Pachecoy. 2017. NDVI en arroz: Correlación entre sensores manual y remoto. Proyecto Arroz. Resultados Campaña 2016/17, pp. 53-58.
- Lan Y., Zhang H., Lacey R., Hoffmann W. C., Wu W. 2009. Development of an Integrated Sensor and Instrumentation System for Measuring Crop Conditions. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript IT 08 1115, vol XI, pp. 2-3.
- Liu K., Li Y., Hu H., Zhou L., Xiao X., Yu P., Rehmani M., Ishaq A. 2015. Estimating Rice Yield Based on Normalized Difference Vegetation Index at Heading Stage of Different Nitrogen Application Rates in Southeast of China. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences* ISSN 2313-8629.2, p. 4.
- Marchesi C. 2017. Optimización de niveles de densidad de siembra y fertilización nitrogenada para distintos cultivares de INIA, zona norte. Arroz 2017, serie técnica N° 233, ISSN:1510-7396, pp. 39-42.
- Monteith J.L. y Unsworth M.H. 2008. Principles of Environmental Physics, 3rd Edition, Academic Press, New York, p. 418.
- Montiel D. P. 2017. Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*). Tesis magister en Geomatica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá Colombia.

- Moreno B., García Guillén M., Casterad M. A., Quílez D. 2013. Uso de imágenes aéreas multiespectrales para estimación del rendimiento en el cultivo de arroz. XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección INTA, Torrejón de Ardoz (Madrid) 22-24 octubre, p. 3.
- Peñuelas J., Fillela I., Serrano L., Save R. 1996. Cellwall elasticity and water index (R970 nm/R900 nm) in wheat under different nitrogen availabilities. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17 (2), pp. 373-382.
- Pirchi H. J., Gregori L. A., Crepy M., Arguissain G. 2013. Fertilización Nitrogenada en Arroz. (GreenSeeker como herramienta de diagnostico). VIII Congreso Brasileiro de Arroz Irrigado. [http://cbai2013.web2265.uni5.net/cdonline/index.php?secao=trabalhos&sub=titulo&start=1&trabalho\\_id=586&tema=none&sub=titulo](http://cbai2013.web2265.uni5.net/cdonline/index.php?secao=trabalhos&sub=titulo&start=1&trabalho_id=586&tema=none&sub=titulo). Ultimo acceso: 10 de septiembre 2020.
- Rouse J. W., Haas R. H., Deering D. W., Sehell J. A. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final. Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.
- Ross F. y Lopez de Sabando M. 2016. Diagnóstico de nitrógeno en cebada y trigo: NDVI y cobertura. Proyecto de Agricultura de Precisión. 15vo Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión con Valor agregado en Origen. <http://agriculturadeprecision.org/articulos/15toCursoAgPrec.asp>. Ultimo acceso: 10 de mayo 2020.
- Saavedra Mora D., Ortiz A., Machado Cuellar L., Murcia Torrejano V., Méndez Pastrana D. 2018. Análisis de índices de vegetación en el cultivo de arroz en la finca la Tebaida del municipio de Campoalegre. *Revista Agropecuariay Agroindustrial La Angostura*, ISSN: 2422-0493, vol 5, p. 25.
- Sementes Simão. <https://www.sementessimao.com.br/cultivar-arroz/irga-424-ri>. Ultimo acceso: 10 de septiembre 2020.
- Sparks D. L., Page A. L., Helmke P. A., Loeppert R. A., Soltanpour P. N., Tabatabai M. A., Johnston C. T., Sumner M. E. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. 3rd Ed. ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Sultana S., Ali A., Ahmad A., Mubeen M., Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Ercisli S., Jaafar H. Z. 2014. Normalized Difference Vegetation Index as a Tool for Wheat Yield Estimation: A Case Study from Faisalabad, Pakistan. *The Scientific World Journal*, vol 2014, pp. 5-7.
- Swain K. Y Zaman Q. 2012. Rice Crop Monitoring with Unmanned Helicopter Remote Sensing Images, pp. 260-267.
- Teal R.K., Tubana B.S., Girma K., Freeman K.W., Arnall D.B., Walsh O., Raun, W.R. 2006. In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agron. J.* vol.98, pp. 1488–1494.
- USDA. 2020. Foreign Agricultural Service. Grain: World Markets and Trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Ultimo acceso: 17 de abril de 2020.
- Viney M. K., Hatfield J. L., Baker J. M. 2005. *Micrometeorology in agricultural systems*. Agronomy Monograph No. 47, p. 584.
- Viña A., Gitelson A., Rundquist D. C., Keydan G. P., Leavitt B., Schepers J. 2004. Monitoring Maize (*Zea mays* L.) Phenology with Remote Sensing. *Papers in Natural Resources*, p.264.

- Wang L., Zhang F., Jing Y., Jiang X., Yang S., Han X. 2014. Multi-Temporal Detection of Rice Phenological Stages Using Canopy Spectrum. *Rice Science*, vol 21(2), pp.108–115.
- Wolter R. C., Bergmann C., Neves G., Carrasco Corrêa M., Barbosa Valente G. 2019. Resposta a nitrogênio para as cultivares de arroz irrigado Guri INTA CL, IRGA 431 CL e IRGA 424 RI. XI Congresso brasileiro de arroz irrigado 2019, Itajaí- SC, pp 394-398.

## 7.- ANEXO

### 7.1.- IRGA 424.

#### 7.1.1- Respuesta del cultivo a la fertilización.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R²	R² Aj	CV	
RENDIMIENTO	64	0,32	0,11	7,53	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	13866947,4	15	924463,16	1,52	0,1354
base	3103721,19	3	1034573,73	1,7	0,1791
urea	8185703,06	3	2728567,69	4,49	0,0074
base*urea	2577523,19	9	286391,47	0,47	0,8867
Error	29175355,5	48	607819,91		
Total	43042302,9	63			

#### 7.1.2.- ANOVA para cada fecha de muestreo.

Kg Urea	47	54	61	68	75	82	89	96	102	111	116	124
	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias
<b>300</b>	0,73 A	0,70 A	0,73 A	0,73 A	0,74 A	0,73 A	0,69 A	0,67 A	0,67 A	0,61 A	0,59 A	0,45 A
<b>250</b>	0,70 A	0,67 A	0,71 A	0,70 B	0,71 B	0,70 B	0,68 A	0,66 A	0,67 A	0,59 BA	0,59 BA	0,42 BA
<b>200</b>	0,66 B	0,62 B	0,65 B	0,68 B	0,70 B	0,69 B	0,67 A	0,66 A	0,66 A	0,58 B	0,56 CB	0,42 B
<b>150</b>	0,61 C	0,56 C	0,58 C	0,62 C	0,65 C	0,65 C	0,64 B	0,64 B	0,63 B	0,55 C	0,54 C	0,38 C

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

#### 7.1.3.- Correlación entre NDVI y Rendimiento.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
RENDIM	RENDIM	64	1,00	<0,0001
RENDIM	47	64	0,53	<0,0001
RENDIM	54	64	0,38	0,0022
RENDIM	61	64	0,54	<0,0001
RENDIM	68	64	0,52	<0,0001
RENDIM	75	64	0,48	0,0001
RENDIM	82	64	0,39	0,0015
RENDIM	89	64	0,39	0,0013
RENDIM	96	64	0,43	0,0003
RENDIM	102	64	0,46	0,0002
RENDIM	111	64	0,28	0,0249
RENDIM	116	64	0,46	0,0001
RENDIM	124	64	0,19	0,1393

## 7.2.- TRANQUILO FL INTA.

### 7.2.1.- Respuesta del cultivo a la fertilización.

Análisis de la varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RENDIMIENTO	64	0,41	0,22	8,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	30807642,4	15	2053842,83	2,18	0,0208
base	736583,56	3	245527,85	0,26	0,853
<b>urea</b>	<b>21326149,1</b>	<b>3</b>	<b>7108716,35</b>	<b>7,56</b>	<b>0,0003</b>
base*urea	8744909,81	9	971656,65	1,03	0,4281
Error	45135532,5	48	940323,59		
Total	75943174,9	63			

### 7.2.2.- ANOVA para cada fecha de muestreo.

Kg Urea	47	54	61	68	75	82	89	96	102	111	116	124	132	146
	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias	Medias
<b>300</b>	0,65 A	0,66 A	0,71 A	0,70 A	0,72 A	0,71 A	0,65 A	0,65 A	0,69 A	0,68 A	0,68 A	0,59 A	0,46 A	0,40 A
<b>250</b>	0,63 A	0,65 A	0,70 A	0,69 A	0,70 B	0,69 BA	0,61 A	0,64 A	0,68 BA	0,66 B	0,66 B	0,59 A	0,43 B	0,38 B
<b>200</b>	0,58 B	0,59 B	0,63 B	0,65 B	0,66 C	0,66 B	0,58 B	0,60 B	0,67 CB	0,65 C	0,64 C	0,54 B	0,40 C	0,35 C
<b>150</b>	0,57 B	0,54 C	0,60 B	0,63 B	0,64 D	0,61 C	0,54 B	0,56 C	0,66 CB	0,65 C	0,63 C	0,53 B	0,38 D	0,34 C

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

### 7.2.3.- Correlación entre NDVI y Rendimiento.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
RENDIM	RENDIM	64	1	<0,0001
RENDIM	47	64	0,49	<0,0001
RENDIM	54	64	0,57	<0,0001
RENDIM	61	64	0,57	<0,0001
RENDIM	68	64	0,45	0,0002
RENDIM	75	64	0,53	<0,0001
RENDIM	82	64	0,49	<0,0001
RENDIM	89	64	0,43	0,0004
RENDIM	96	64	0,35	0,0047
RENDIM	102	64	0,30	0,0179
RENDIM	111	64	0,46	0,0001
RENDIM	116	64	0,45	0,0002
RENDIM	124	64	0,55	<0,0001
RENDIM	132	64	0,53	<0,0001
RENDIM	138	64	0,48	0,0001
RENDIM	146	64	0,51	<0,0001