



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO
COMO MEJORADOR DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LAS
LECTURAS SPAD EN HÍBRIDOS DE MAÍZ**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de
Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción de Cultivos

VICTORIA FIGUEROA BUSTOS

Directores de Tesis
CECILIA BAGINSKY GUERRERO
PAOLA SILVA CANDIA

Profesores consejeros
VICTOR GARCIA DE CORTAZAR GARCIA DE CORTAZAR
MAURICIO GALLEGUILLOS TORRES

SANTIAGO DE CHILE

MARZO, 2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DEL INDICE DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO COMO
MEJORADOR DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LAS LECTURAS SPAD EN
HÍBRIDOS DE MAÍZ**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención
Producción de Cultivos.

VICTORIA FIGUEROA BUSTOS

	Calificación (Memoria de título)	Calificación (Tesis de grado)
DIRECTORES DE TESIS		
Cecilia Baginsky G., Ingeniera Agrónoma, Dra.	7,0	Aprobado
Paola Silva C., Ingeniera Agrónoma, M.S, Dra.	7,0	Aprobado
PROFESORES CONSEJEROS		
Víctor García De Cortázar G. de C. Ingeniero Agrónomo, M.S, Dr.	6,7	Aprobado
Mauricio Galleguillos T. Ingeniero Agrónomo, M.S, Dr.	7,0	Aprobado

Santiago, Chile
2013

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar esta lista de agradecimientos a mi familia por su apoyo incondicional. En especial a mi mamá, que ha tenido una paciencia. A mis hermanos cony y toño, que aunque son de un área muy distinta a la mía siempre me apoyaron sobre todo corrigiendo mi horrible redacción. A la lala y la glorita que me acompañaron también.

Quisiera agradecer a mis profesoras guías: Cecilia Baginsky, mi profesora y guía, quien con mucha pero mucha paciencia me ha aguantado, aconsejado, ayudado a lo largo de estos últimos años no solo en mi formación como profesional, sino también como persona, y a Paola Silva quien también ha sido fundamental en mi formación y también con mucha paciencia me ha entregado incondicionalmente las herramientas para crecer como persona, desarrollar más personalidad y seguridad. Al profe Hugo Faiguenbaum quién también lo exprimí con preguntas.

Al equipo del laboratorio SAP. Encabezado por el Profesor Edmundo Acevedo y la profe Paola, quienes me acogieron como una segunda familia, incontables anécdotas que guardaran esas paredes, en donde me sorprendieron con su unión, su capacidad de entrega y de trabajo, me sentí muy a gusto en su laboratorio. Al laboratorio de química de suelo, quienes tuvieron la confianza de prestarme los equipos, de enseñarme, de compartir conmigo mis miedos, de enseñarme y acompañarme en especial a la señora Marisol, quien me dio la tranquilidad para no morirme, a la señora Consuelo que me hacía reír!, a Yasna que no se cómo no la desesperaba, a Ricardito siempre tratando de enseñar!. Al profe Osvaldo y al Kanko que eran el silencio del laboratorio. Y por ultimo al laboratorio de fisiología vegetal, en especial a Úrsula que con mucha paciencia me enseñó la técnica para extraer clorofila.

A Carlitos meza, que me acompañó durante todas las tesis, siendo un gran apoyo en todo. A Rosita y su team colaborador por ayudarme durante todo el cultivo. A Don Luis Daza como olvidar las tardes de riego en el cultivo si pasaba regándose casi toda la semana, y cuando me cuidaban. A Dixie y los tractoristas don Julio y don Luis que más de un dolor de cabeza les di, con tantos surcos que tuvieron que hacer. A la Andy y Claudita que sin su apoyo no hubiera sido lo mismo, su incansable buena onda y convivencia. A Jeanette y la señora Mercedes, quienes me calmaba en postgrado. Y a Jaqui, Silvita y María Eugenia quienes siempre me facilitaron el trabajo.

Y por ultimo pero no menos importante a mis compañeros, amigos y practicantes que me apoyaron en distintas etapas de este trabajo. A Luis Mardones en esa inolvidable siembra con bastones. A la Carlita enseñándome a usar el SPAD. A Jan que me ayudo en esa primera medición que duro todo el día, al nacho que me ayudo un viernes en la tarde a aplicar urea y quedamos más que embarrados. A la Maye la fotógrafa estrella. Al Pato y al Pancho que me ayudaron en las mediciones SPAD y tablas de color, a la maye la fotógrafa estrella que tomo algunas fotos en el cultivo. A Osvaldo y Mila quienes me ayudaron a cosechar y a medir junto con su grupo de amigos sacrificando su tiempo libre de primer año!. A Feña quien me rescató con una coca cola para no desmayarme, me acompañó en la guarida para no dormirme, estuvo conmigo en el arrozal en el primer riego con chalitas y en tantas otras anécdotas y como olvidar al Ayun quien aprendió a nadar y a perderse en el maíz. A Romi y recicla quienes se encargaron de todas las cañas de maíz que les deje de regalo. A la Cami Ribalta quien me acompañó contando el maíz, junto con el Charli (que es parte del CV en el número de granos) y la Pauli quienes también me acompañaron. A la Monse cuya extraña manera de conocernos me ayudo en el laboratorio de química a hacer los análisis. Al Nico Gomara (mi tesis tendrá un extraño parecido a su memoria). A Gerlitt quien me enseñó a hacer un análisis, solo tanteando y me acompañó al congreso!. Al Marco que sin su ayuda esta Tesis no hubiera sido lo mismo, apoyando en mis traumas de computación, mala redacción y análisis estadístico.

Espero que no se me quede nadie en el tintero o en la catrich de la impresora, les agradezco de corazón por formar parte de esta experiencia.

ÍNDICE

CONTENIDO

Capítulo I

Revisión bibliográfica	1
Maíz en Chile	1
Costos de Producción del maíz	1
Eficiencia en el uso del nitrógeno	2
Factores que afectan la absorción del nitrógeno	3
Estados Fenológicos	3
Híbridos	4
Nitrógeno, contenido de clorofila y rendimiento.....	4
Herramientas de diagnóstico del status de N en la planta	5
Clorofilómetros SPAD	5
Limitaciones de SPAD	6
Índice de Suficiencia de Nitrógeno	7
Referencias Bibliográficas	9

Capítulo II

Evaluación del Índice de Suficiencia de Nitrógeno como mejorador de la capacidad predictiva de las lecturas SPAD en híbridos de maíz	14
Resumen.....	14
Abstract	15
Introducción	16
Hipótesis	17
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específico	17
Materiales y métodos	18
Ubicación del experimento y condición edafoclimática	18
Material vegetal	18
Tratamientos, diseño del experimento y labores culturales	18
Mediciones	19
Fenología	19
Establecimiento de la planta	19
Mediciones SPAD	20
Altura de plantas e inserción de la mazorca	20
Número de hojas verdes bajo la mazorca	20
Contenido de clorofila	20

Mediciones de color	20
Contenido de nitrógeno en la planta	21
Biomasa seca aérea	21
Rendimiento y sus componentes.....	21
Estimaciones	22
Eficiencia del uso de nitrógeno	22
Índice de suficiencia de nitrógeno	22
Información meteorológica	22
Análisis estadístico	23
Resultados	25
Temporada y análisis de suelo	25
Estados fenológicos	25
Número de hojas verdes bajo la mazorca	26
Biomasa, rendimiento y sus componentes	27
Mediciones de nitrógeno en planta y grano	31
Eficiencia del uso del nitrógeno	33
Contenido de clorofila	35
Mediciones SPAD	36
Índice de suficiencia de nitrógeno.....	39
Relación entre el rendimiento y valores SPAD	41
Relación entre el rendimiento y el ISN.	44
Mediciones de color	46
Discusión.....	50
Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento	50
Híbridos.....	51
SPAD e ISN.....	52
Conclusiones	56
Revisión bibliográfica	57

CUADROS

Cuadro 1 Composición de los tratamientos.....	18
Cuadro 2. Categorización de los datos de rendimiento, valor SPAD, ISN y croma	24
Cuadro 3. Temperaturas máximas, mínimas, promedio, humedad relativa y precipitaciones durante el periodo de desarrollo del cultivo.....	25
Cuadro 4. Periodo fenológico en días desde la siembra (DDS) a V6, V8, R1y R7.....	26
Cuadro 5. Análisis combinado de varianza para número de hojas bajo la mazorca.....	26
Cuadro 6. Número de hojas verdes bajo la mazorca en los distintos híbridos.....	26
Cuadro 7. Número de hojas verdes bajo la mazorca con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	27
Cuadro 8. Análisis combinado de varianza para biomasa, rendimiento, índice de cosecha (IC) y componentes del rendimiento.....	27
Cuadro 9. Biomasa, rendimiento, índice de cosecha (IC) y componentes del	

rendimiento en tres híbridos.....	28
Cuadro 10. Biomasa, de rendimiento, e Índice de Cosecha (IC) con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	28
Cuadro 11. Análisis combinado de varianza para componentes del rendimiento.....	29
Cuadro 12. Componentes del rendimiento en tres híbridos.....	29
Cuadro 13. Medias para componentes del rendimiento con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	30
Cuadro 14. Análisis combinado de varianza para longitud, diámetro y porción apical sin granos en la mazorca.....	30
Cuadro 15. Longitud, diámetro y porción apical sin granos de la mazorca en tres híbridos.....	30
Cuadro 16. Longitud, diámetro y porción apical sin granos de la mazorca con distintas dosis de nitrógeno aplicada.....	31
Cuadro 17. Análisis combinado de varianza para nitrógeno en el grano, en la planta sin granos y planta entera.....	31
Cuadro 18. Porcentaje de nitrógeno en grano para los 3 híbridos.....	32
Cuadro 19. Contenido de nitrógeno en el grano con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	32
Cuadro 20. Medias para el contenido de nitrógeno en el rastrojo y en la planta.....	33
Cuadro 21. Análisis combinado de varianza para eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica, EUN e índice de cosecha de nitrógeno.....	33
Cuadro 22. Eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno en los distintos híbridos (ICN).....	34
Cuadro 23. Eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	35
Cuadro 24. Análisis combinado de varianza para los valores SPAD en distintos estados de desarrollo vegetativos.....	36
Cuadro 25. Valores SPAD en estados vegetativos desde V4 a V2 para los tres híbridos.....	37
Cuadro 26. Valores SPAD en estados de desarrollo vegetativo con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	37
Cuadro 27. Análisis combinado de varianza para los valores SPAD en distintos estados de desarrollo reproductivos.....	38
Cuadro 28. Valores SPAD en estados de desarrollo reproductivos para los distintos híbridos.....	38
Cuadro 29. Valores SPAD en estados de desarrollo reproductivos con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	38
Cuadro 30. Análisis combinado de varianza para el ISN en los distintos estados de desarrollo vegetativos.....	39
Cuadro 31. ISN en los distintos estados vegetativos para los tres híbridos.....	39

Cuadro 32. ISN en estados de desarrollo vegetativo con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	40
Cuadro 33. Análisis combinado de varianza para el ISN en distintos estados de desarrollo reproductivo.....	40
Cuadro 34. Valores ISN en estados de desarrollo reproductivos para los distintos híbridos.....	40
Cuadro 35. Valores ISN en estados de desarrollo reproductivos con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.....	41
Cuadro 36. Porcentaje de color dominante en estados vegetativos.....	46
Cuadro 37. Porcentaje de color dominante en estados reproductivo.....	47

FIGURAS

Figura 1. Regresión entre las unidades SPAD y el contenido de clorofila en tres híbridos de maíz.....	35
Figura 2. Lecturas SPAD en función de los estados de desarrollo.....	36
Figura 3. Relación entre los coeficientes de determinación de la regresión entre el rendimiento y los valores SPAD en los distintos estados de desarrollo	41
Figura 4. Regresión entre las unidades SPAD al estado de V8 (a), V10 (b), V12 (c), R1 (d), R2 (e), R3 (f) y Rendimiento (kg ha ⁻¹)	43
Figura 5. Relación entre los estados de desarrollo y el coeficiente de determinación de la regresión entre el ISN y el rendimiento.....	44
Figura 6. Regresión entre el ISN al estado de V8 (a), V10 (b), V12 (c), R1 (d), R2 (e), R3 (f) y Rendimiento (kg ha ⁻¹).....	45
Figura 7. Análisis de correspondencia múltiple considerando rendimiento, valores SPAD, ISN y el croma del color de la hoja en los estados V8 y R1.....	49

ANEXO

Página 5GY tabla de color “Munsell Color Chart For Plant Tissue”.....	62
---	----

APÉNDICES

1. Análisis de Suelo.....	63
2. Análisis Meteorológico.....	63
3. Balance Hídrico.....	63
4. Análisis de varianza para los distintos estados de desarrollo.....	64
5. Altura planta y Altura inserción mazorca.....	71
6. Clorofila.....	73
7. Regresiones entre rendimiento y SPAD.....	75
8. Regresiones entre rendimiento e ISN.....	86

CAPÍTULO I

Revisión bibliográfica

Maíz en Chile

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal con mayor producción a nivel mundial con 817 millones de toneladas en el año 2009 (FAO, 2012). Los usos del maíz de grano están orientados fundamentalmente a consumo animal, de aves y porcinos, y en segundo término a consumo humano e industrial. La principal forma de consumo para alimentación humana es la harina de maíz (Mejía, 2003).

En Chile, la superficie anual de siembra en las tres últimas temporadas (2009-2012) alcanzó las 127.211 ha, generando en promedio una producción nacional total de 1.4 millones de toneladas de grano, lo que equivale al 67,5% de la necesidad de consumo nacional. Por tal motivo se importan aproximadamente 666.000 toneladas de grano provenientes principalmente de Argentina y Paraguay (ODEPA, 2012).

La mayor producción en Chile se obtiene en la Región de O'Higgins, la cual durante la temporada 2010 aportó con un 46% a la producción total del país. La Región del Maule y la Región Metropolitana, por su parte, contribuyeron a la producción nacional con aproximadamente un 27% y 13%, respectivamente. Actualmente, el rendimiento promedio nacional alcanza los 120 qq ha⁻¹ (ODEPA, 2012).

Costos de producción de maíz

El mayor costo de producción de maíz a nivel nacional está asociado a la fertilización, la cual en promedio de las últimas tres temporadas representa un 32%. Dentro de estos costos el nitrógeno, en base a urea, es el de mayor importancia, alcanzando un valor aproximado de \$225.400 por ha, lo que equivale a un 75% de los costos de fertilización (ODEPA, 2012).

En maíz, el nitrógeno es uno de los elementos más demandados por la planta y su utilización está directamente relacionada con el rendimiento (Rui *et al.*, 2009), siendo el nutriente de mayor relevancia en el aumento de la producción de granos (D'Andrea *et al.*, 2008). Ciampitti y Vyn (2012) señalan que por cada kilo de nitrógeno aplicado se obtienen entre 57- 73 kilos de grano, dependiendo de las condiciones en que se produzca. Ortega y Santibáñez (2007) señalan aplicaciones que van desde los 264 hasta

452 kg N ha⁻¹ para producir rendimientos que fluctúan entre los 111 y 136 qq ha⁻¹ en la zona central de Chile. Sumado a las altas aplicaciones de nitrógeno, el precio de la urea ha tenido un incremento sostenido aumentando en un 32,5% su valor en el último año (ODEPA, 2012).

En términos generales, el 50% del nitrógeno aplicado no es asimilado por las plantas (Dobermann y Cassman, 2004), debido a ello, fertilizaciones excesivas no solo disminuyen la rentabilidad del cultivo de maíz, aumentando los costos de producción (Akmal *et al.*, 2010); si no que además, generan graves problemas ambientales y ecológicos (Rui *et al.*, 2009). Entre ellos se pueden mencionar la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitratos y nitritos (Sharma *et al.*, 2012), procesos de eutrofización (Watanabe, 2009) y desnitrificación (Kumar y Lin, 2010), así como también pérdidas por volatilización de NH₃, lo que contribuye al aumento de los gases con efecto invernadero (Ladha *et al.*, 2005). Por ello, que existe la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de nitrógeno, evitándose con ello la contaminación ambiental así como un uso excesivo de nitrógeno que reducirá la rentabilidad del productor (Burkat y Stoner, 2008).

Eficiencia en el uso del nitrógeno

La eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) se define como la producción de grano por unidad de nitrógeno aplicado (Ecuación 1) (Ciampitti y Vyn, 2012).

$$\text{EUN (Mg kg}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{N_i} \quad (1)$$

Donde Y_i corresponde al rendimiento en grano en la parcela fertilizada con dosis i ; Y_o es el rendimiento en grano en la parcela sin aplicación de nitrógeno y N_i es la dosis de nitrógeno aplicado.

Moll *et al.* (1982), propusieron que esta eficiencia puede ser dividida en la eficiencia de absorción (EA) y eficiencia fisiológica (EF). EA se define como la capacidad de la planta en extraer nitrógeno desde el suelo (Ecuación 2), mientras que la EF, también llamada eficiencia agronómica (Jin *et al.*, 2012), es la habilidad con que el nitrógeno absorbido es utilizado por la planta para producir grano (Ecuación 3).

$$\text{EA (\%): } \frac{NR_i - NR_o}{N_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{EF (kg kg}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{NR_i - NR_o} \quad (3)$$

Donde N_i corresponde a la dosis de nitrógeno aplicada; NR_i el nitrógeno absorbido en una parcela fertilizada con una dosis i ; NR_o el nitrógeno absorbido en una parcela sin fertilización nitrogenada; Y_i el rendimiento en grano en la parcela fertilizada con dosis i ; Y_o el rendimiento en grano en la parcela sin fertilización nitrogenada.

Rathke *et al.* (2006) señalan que la EA depende principalmente del desarrollo radical (profundidad y densidad de raíces), que regula la cantidad total de nitrógeno absorbido. Asociada a esta eficiencia, existen factores externos tales como pérdidas por volatilización, desnitrificación, lixiviación y escurrimiento superficial (Sharma *et al.*, 2012). Por su parte la EF está relacionada más bien con un factor genético, en este caso del híbrido, y por lo tanto altas EF que incidan en una translocación de N desde las partes vegetativas de la planta al grano (D'Andrea *et al.*, 2008), se logran a través del mejoramiento genético (Aufhammer *et al.*, 1994, citado por Rathke *et al.*, 2006). Cabe destacar que la EF tiende a disminuir a medida que aumenta la fertilización nitrogenada (Barbieri *et al.*, 2008).

Un parámetro que también está muy relacionado con la EUN es la eficiencia de recuperación (ER) la cual está definida como la cantidad de nitrógeno tomado por unidad de nitrógeno disponible (Ciampitti y Vyn, 2012); así, al aumentar la dosis de nitrógeno aplicado esta tiende a disminuir (Varinderpal- Singh *et al.*, 2011).

Entre las prácticas básicas para aumentar la EUN destaca la aplicación de la menor dosis de N que permite lograr rendimientos máximos, aplicándose en los momentos oportunos (Varinderpal- Singh *et al.*, 2011). Esto permite disminuir las pérdidas y mejorar con ello la eficiencia de absorción de N o bien disminuir las pérdidas incrementando el potencial de recuperación del nitrógeno en los residuos (Ladha *et al.*, 2005).

Factores que determinan la absorción de nitrógeno

Estados fenológicos

Una buena disponibilidad de N, asegura un buen crecimiento foliar, lo que posibilita al cultivo optimizar la captura de recursos como radiación y su conversión a materia seca; alcanzando así altos rendimientos (Escobar y Combe, 2012). Mohkum *et al.* (2011) señalan que aplicaciones de N aumentan significativamente el índice de área foliar del cultivo, lo que garantiza su óptimo estado fisiológico en los momentos decisivos para la determinación del número de granos y durante el período de llenado de estos. Inicialmente el nitrógeno es acumulado en partes vegetativas de la planta hasta floración (D'andrea *et al.*, 2008), desde donde es removilizado a través de raíces, tallos y hojas basales hacia las hojas superiores, llegando a la hoja que alberga la mazorca y de ahí a los granos (Subedi y Ma, 2005; Escobar y Combe, 2012). Por ello, aumentos en la biomasa traen consigo aumentos en el rendimiento (Barbieri *et al.*, 2008), en el contenido de nitrógeno (Berenguer *et al.*, 2009) y proteína del grano (Hammad *et al.*, 2011).

En los primeros estados de desarrollo el maíz absorbe el nitrógeno de forma lenta; así un 10% de la absorción total del nutriente se realiza hasta el estado de 6 a 8 hojas (Licht y Al-Kaisi, 2005). Desde octava hoja hasta llenado de grano (R3-R4) seguirá aumentando la absorción de este nutriente (Ciampitti y Vyn, 2012), siendo máxima la tasa de absorción en la etapa cercana a la floración (Mohkum *et al.*, 2011). Por lo tanto, la aplicación de nitrógeno debe estar orientada a suministrar el nutriente entre la octava

y decima hoja, debido a que en estados de desarrollo posteriores aumenta la demanda por un rápido crecimiento y desarrollo de la mazorca (Mohkum *et al.*, 2011). Durante la etapa de floración no debe faltar este elemento, ya que en este estado de desarrollo se determina el número de granos por unidad de superficie (D'andrea *et al.*, 2008). Aplicaciones de nitrógeno tardías (desde floración hasta llenado de grano), aumentan la tasa diaria de absorción del nitrógeno, retrasando la remobilización desde las hojas hacia la mazorca y logrando con ello aumentar el rendimiento (Ciampitti and Vyn, 2011).

Híbridos

Los híbridos de maíz difieren en su capacidad de absorber nitrógeno, observándose que híbridos, de un mismo periodo vegetativo, tienen eficiencias distintas (D'andrea *et al.*, 2008), debido a la variación genética que hay entre ellos (Ladha *et al.*, 2005). Por su parte Oliveira *et al.* (2008) señalan que estas diferencias genéticas también están influenciadas por el medio ambiente (D'andrea *et al.*, 2008). La principal diferencia entre los híbridos está asociada a la cantidad de nitrógeno que acumulan en su biomasa, así como a la que acumulan durante los periodos de prefloración y post-floración femenina y en menor medida al índice de cosecha (Ciampitti y Vyn, 2012).

Nitrógeno, contenido de clorofila y rendimiento

El nitrógeno es uno de los nutrientes más abundante en el tejido vegetal, el cual es tomado como nitrato y/o amonio a través de las raíces (Marschner, 2011). Este es utilizado para producir proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos en la planta, los cuales son almacenados en distintas estructuras celulares (Hirel *et al.*, 2005). La mayor parte del nitrógeno foliar está asociado a la molécula de clorofila (Ladha *et al.*, 2005), proteínas del cloroplasto como la Rubisco y otros componentes de los fotosistemas (Hirel *et al.*, 2005). Se relaciona como componente primario de la vía ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa en el proceso de fotosíntesis (Ciampitti y Vyn, 2012). De esta manera, tanto el contenido de N como el contenido de clorofila de la hoja están estrechamente relacionados (Szélez *et al.*, 2012).

Al fertilizar con nitrógeno el suelo, el contenido de clorofila tiende a aumentar (Daughtry *et al.*, 2000) y al aumentar la concentración de clorofila en la hoja se producen hojas de color verde más oscuro (Varinderpal-Singh *et al.*, 2011) y mayores rendimientos (Ning *et al.*, 2012). Estudios llevados a cabo por Hammad (2011), demostraron que al realizar aplicaciones de nitrógeno aumentó el número de granos por mazorca, el peso de los granos y por consiguiente el rendimiento. Por su parte Daughtry *et al.* (2000), observaron que aplicaciones excesivas de nitrógeno no produjeron aumento del rendimiento. Este hecho estaría asociado principalmente a que estas aplicaciones estimulan el crecimiento vegetativo de la planta, especialmente la elongación de los internodos (Marschner, 2011).

El estado nutricional del cultivo puede ser evaluado a través de la medición del contenido de clorofila de la hoja realizada mediante clorofilómetros (Daughtry *et al.*, 2000). Dichas lecturas se relacionan a su vez directamente con el rendimiento de la planta, y por lo tanto se podrían utilizar para poder diagnosticar deficiencias en los requerimientos de nitrógeno del cultivo (Pagani *et al.*, 2009).

Herramientas de diagnóstico del status de N en la planta

Una forma de mejorar la EUN es realizar las aplicaciones de N utilizando algún tipo de metodología que permita precisar la necesidad de nitrógeno del cultivo en función del rendimiento esperado (Ladha *et al.*, 2005). La metodología más común es estimar la cantidad de N que el cultivo extrae desde el suelo y utiliza para producir biomasa; además de determinar una eficiencia de fertilización y el suministro aportado por el suelo (Shanahan *et al.*, 2008). Otra forma es utilizando un índice de nutrición nitrogenada, basado en el estado nutricional de la planta, el cual relaciona la concentración de nitrógeno actual en la planta y una concentración crítica, que es la concentración mínima para lograr la máxima tasa de crecimiento (Errecart *et al.*, 2012). Sin embargo, una desventaja común a tales métodos es el esfuerzo requerido para la obtención de la muestra, procesamiento de la misma y el tiempo demandado para el análisis (Sainz y Echeverría, 1998). Una alternativa a estos métodos, tendiente a mejorar la EUN en maíz, es la agricultura de precisión (Ladha *et al.*, 2005), la cual puede ser utilizada de distintas formas, entre ellas: a) manejo de sitio específico, el cual considera la variabilidad espacial, en donde el manejo del nitrógeno (tanto dosis como momento de aplicación), depende de información generada antes de la siembra, basada en la demanda del cultivo y el suministro del suelo; b) monitoreo del cultivo con indicadores de su estado nutricional. Dentro de este último destacan evaluaciones visuales usando parcelas de referencia, sensores remotos satelitales o aéreos y sensores que miden el contenido relativo de clorofila en la hoja (Shanahan *et al.*, 2008).

Clorofilómetros SPAD

La radiación que llega a la hoja puede ser reflejada, absorbida o transmitida a través de ella. Las características espectrales de la hoja pueden proporcionar respuestas fisiológicas a las condiciones de crecimiento y adaptaciones medioambientales de la planta (Carter y Knapp, 2001). Wei *et al.* (2012) señalan que la absorbancia a longitudes de onda cercanas a los 700 nm se correlacionan fuertemente con el contenido de clorofila en la hoja y pueden ser indicadores de estrés en la planta. Por lo tanto una forma para determinar el nitrógeno foliar en forma rápida y no destructiva (Zhang *et al.*, 2008), podría ser el uso de medidores de clorofila. Entre ellos se encuentra el clorofilómetro marca Minolta® SPAD 502 que mide el índice de verdor (Rorie *et al.*, 2011), el cual está directamente relacionado con el contenido de clorofila en las hojas (Escobar y Combe, 2012); el cual está asociado a la actividad fotosintética de la hoja (Haboudane *et al.* 2002).

La medición del contenido relativo de clorofila que realiza este tipo de instrumento está basado en una relación de transmitancia/absorbancia, en donde la luz es transmitida a través de la hoja en 650 y 940 nm del espectro electromagnético (Zhang *et al.*, 2008). La cantidad de luz roja que se absorbe (650 nm) es función de la cantidad de clorofila, por lo tanto, mientras mayor sea la cantidad de luz roja absorbida por las hojas, mayor es el contenido de clorofila presente. Por otro lado, la cantidad de luz en el infrarrojo

cercano (940 nm) funciona como un factor de corrección de humedad y espesor de la hoja (Marek *et al.*, 2009).

La utilización de este instrumento ha dado resultados satisfactorios en la evaluación del estado nutricional de N en varios cultivos (Ladha *et al.*, 2005), ya que cambios en la concentración de clorofila en las hojas producen diferencias en la transmitancia (Daughtry *et al.*, 2000), la que es detectada por los sensores de este equipo, mucho antes que el ojo humano. Esto ha permitido hacer correcciones respecto a aplicaciones de nitrógeno cuando aún la planta es capaz de responder y mejorar su rendimiento (Marek *et al.*, 2009).

Los valores obtenidos por los clorofilómetros no poseen unidades y se expresan como contenido relativo de clorofila en la hoja (Valores SPAD) (Marek *et al.*, 2009). El contenido de clorofila se puede estimar a través de una regresión no lineal entre los valores SPAD y el contenido de clorofila medido en la hoja (Escobar y Combe, 2012). La mayor parte de los estudios llevados a cabo en maíz se han focalizado en la determinación de valores SPAD críticos asociados a un rendimiento máximo. Esto debido a que no necesariamente un muy alto contenido de clorofila en la hoja provocará un aumento del rendimiento del cultivo (Ziadi *et al.*, 2008). La correlación que existe entre las lecturas del clorofilómetro y el rendimiento, también está asociada al estado de desarrollo de la planta; así, relacionando rendimiento con mediciones en etapas tempranas (V6-V10) tienen bajo coeficiente de determinación (Ziadi *et al.*, 2008) a diferencia de relaciones hechas al estado de R1. Esto se debe a que en R1 la planta ha absorbido cerca del 70% del nitrógeno total requerido (Licht y Al-Kaisi, 2005), siendo significativa esta relación con el rendimiento (Liu y Wiatrak, 2011). Etapas posteriores del desarrollo (R3-R5) tienen coeficientes de determinación mayores ($R^2=0,67-0,99$) (Ziadi *et al.*, 2008).

Limitaciones de SPAD

Una de las principales críticas que se ha hecho a este tipo de mediciones está relacionada a que cada valor SPAD puede ser afectado por diversos factores (Argenta *et al.*, 2004). El contenido de clorofila en la hoja de maíz puede variar (Marek *et al.*, 2009) en función de: el estado de desarrollo de la planta, temporada, año, localidad (Errecart *et al.*, 2012), híbrido, estado de desarrollo, tipo de suelo, condiciones medio ambientales (Rorie *et al.*, 2011), deficiencias de otros nutrientes, herbicidas, daño por heladas y deficiencias hídricas (Zhu *et al.*, 2011); sin embargo, la disponibilidad de N en el suelo es uno de los factores de mayor peso (Marek *et al.*, 2009).

Otra de las críticas asociadas a este tipo de mediciones es que bajo condiciones de deficiencia de N en la planta los clorofilómetros tienden a ser muy sensibles (Ladha *et al.*, 2005), por lo que se pueden producir alteraciones en las lecturas SPAD (Zhang *et al.*, 2008). Las razones del déficit de nitrógeno en la planta pueden provenir de deficiencia de este nutriente en el suelo, o por factores en el suelo que no permiten a la planta adquirir el elemento, como por ejemplo compactaciones de suelo, anegamientos, etc. (Sharma *et al.*, 2012).

Arregui *et al.* (2006) indican que no es recomendable correlacionar lecturas SPAD con rendimiento cuando el set de datos se obtiene de zonas climáticas diferentes, porque la

correlación tiende a disminuir. Así por ejemplo, la luminosidad del ambiente también puede afectar las lecturas SPAD. En este sentido, Marek *et al.* (2009) señalan que plantas de maíz a la sombra presentan alrededor de 2 unidades más en los valores que las plantas con luz directa del sol; debido a que cuando la radiación es baja los cloroplastos se orientan a lo largo de las paredes superiores e inferiores de la célula para maximizar la absorción de la luz (Olav y Asbjørn, 1998). Por su parte Schlemmer *et al.* (2005) señalan que existen diferencias en las mediciones SPAD, según sea el contenido de agua en el suelo, sobre todo cuando estos tienen altos contenidos de N. Así, diferencias en el turgor de la célula hacen variar la transmitancia de energía en el infrarrojo cercano y por lo tanto pueden hacer variar las lecturas SPAD (Daughtry *et al.*, 2000).

Otros factores que también pueden influenciar las lecturas SPAD son las diferencias entre híbridos (Subedi y Ma, 2005), asociado principalmente a la constitución genética (Wu *et al.*, 2011), lo que determina el contenido de clorofila de la hoja (El y Salem, 2010). Así por ejemplo la intensidad del verdor puede variar hasta en un 10% en las mediciones SPAD en híbridos de maíz (Pagani *et al.*, 2009). Por ello que los clorofilómetros deben calibrarse para cada híbrido en particular (Sánchez *et al.*, 2009). Por su parte Subedi y Ma (2005) señalan que existen diferencias significativas de los valores SPAD en distintos híbridos de maíz de grano para distintas dosis de nitrógeno aplicadas y que estas diferencias se mantienen en los diferentes estados de desarrollo del cultivo.

El valor SPAD, además, se ve influenciado por el estado fenológico del cultivo, observándose que la variación en las primeras etapas del desarrollo es alta (entre V3 y V7) con un promedio 0,48 unidades día⁻¹. Desde V8 hasta V11 los valores SPAD varían entre 0,18-0,19 unidades día⁻¹ y en la etapas reproductivas (R1y R6) los valores varían en 0,1 unidades día⁻¹, en promedio (Argenta *et al.*, 2004).

La presencia de plagas podría también hacer variar las lecturas SPAD (Argenta *et al.*, 2004); entre ellas, pulgones y arañas las cuales causan pérdidas de clorofila en las hojas y por lo tanto aumentar su amarillez, disminuyendo los valores de las lecturas SPAD (Deol *et al.*, 1997). Las enfermedades también pueden alterar las lecturas SPAD (Argenta *et al.*, 2004); así por ejemplo enfermedades radicales como *fusarium* que obstruyen el sistema vascular de la planta causando amarillez en las hojas (El-Kot, 2008). Otros patógenos como el complejo de hongos fumagina, bloquean directamente la radiación solar, especialmente en el espectro de la fotosíntesis, disminuyendo la actividad fotosintética (Leao *et al.*, 2004).

Índice de Suficiencia de Nitrógeno

Una forma de disminuir estas variaciones es a través de la normalización de estos valores (Varvel *et al.*, 2007), por medio del Índice de Suficiencia de Nitrógeno (ISN) (Marek *et al.*, 2009). Este corresponde al cociente entre el valor de índice de verdor (medido con un clorofilómetro, SPAD) de plantas sometidas a un tratamiento de nitrógeno y el valor promedio de lectura de plantas que teóricamente no presentan

deficiencias de N (franja de referencia) (Mendonça *et al.*, 2009). El ISN presenta valores que fluctúan entre cero y uno (Holland y Schepers, 2010) (Ecuación 4).

$$\text{ISN} = \frac{\text{Promedio de lecturas de campo}}{\text{Promedio de lecturas franjas de referencia}}$$

La franja de referencia corresponde a áreas pequeñas de cultivo con una alta dosis de nitrógeno, con el objetivo de desarrollar el máximo de concentración de clorofila en ellas (Solarí *et al.*, 2010). Estas deben disponerse en sectores representativos del terreno y lo más homogéneos posibles (Marek *et al.*, 2009).

Pagani *et al.* (2009) señalan para maíz un valor crítico de ISN de 0,95 en octava hoja, bajo este valor se empieza a afectar el rendimiento (Shanahan *et al.*, 2008). Por su parte Binder *et al.* (2000) señala que con un ISN de 0,95 constante en todos los estados de desarrollo, tanto vegetativo como reproductivo se pierde un 3% de rendimiento, mientras que valores de 0,85, 0,75 y 0,65 las pérdidas de rendimiento fueron 18, 32 y 47%. Por su parte Varvel *et al.* (2007), corrigieron los valores de ISN entre 0,95- 0,90 logrando corregir las deficiencias sin ver afectados los rendimientos en octava y decima hoja. Raun *et al.* (2005) determinaron que cuando el ISN estuvo bajo de 0,90 el rendimiento disminuyó y las aplicaciones de nitrógeno no lograron corregir estas deficiencias; esto se debe a la disminución en el crecimiento y la formación de la espiga (Shanahan *et al.*, 2008). Por esta razón Varvel *et al.*, (2007) recomiendan realizar aplicaciones de nitrógeno cuando el ISN es inferior a 0,95 de esta manera se logra corregir la deficiencias de nitrógeno y se evitan pérdidas de rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akmal, M., Hameed-ur-rehman, Farhatullah, M. Asim and H. Akbar. 2010. Response of maize varieties to nitrogen application for leaf area profile, crop growth, yield and yield components. *Pakistan Journal Botanical* 42: 1941- 1947.
- Argenta, G., P. Ferreira and L. Sangoi . 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Ciencia Rural* 34(5): 1379-1387.
- Arregui, L., B. Lasa, A. Lafarga, I. Iraneta, E. Baroja and M. Quemada. 2006. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 24: 140–148.
- Barbieri, P., H. Echeverría, H. Saínz and F. Andrade. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal* 100: 1094-1100.
- Berenguer, P., F. Santiveri, J. Boixadera, J. Lloveras. 2009. Nitrogen fertilisation of irrigated maize under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 30: 163- 171.
- Binder, D., D. Sander and D. Walters. 2000. Maize Response to Time of Nitrogen Application as Affected by Level of Nitrogen Deficiency. *Agronomy Journal* 92: 1228-1236.
- Burkart, M and J. Stoner. 2008. Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management. 177- 202. Ed J.L. Hatfield and R.F. Follett . USA.
- Carter, G. and A. Knapp. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88: 677–684.
- Ciampitti, I. and T. Vyn. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research* 133: 48–67.
- D’Andrea , K., M. Otegui and A. Cirilo. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research* 105: 228–239.
- Daughtry, C., C. Walthall, M. Kim, E. Brown de Colstoun and J. McMurtrey. 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment* 74: 229-239.
- Deol, G., J. Reese and B. Gill. 1997. A rapid, non destructive technique for assessing chlorophyll loss from greenbug (Homoptera: Aphidae) feeding damage on sorghum leaves. *Journal of the Kansas Entomological Society* 70: 305- 312.

Dobermann, A. and K. Cassman. 2004. Environmental dimensions of fertilizer nitrogen: What can be done to increase nitrogen use efficiency and ensure global food security? In "Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment". Eds. A. R. Mosier, J. K. Syers, and J. R. Freney, Eds., Paris, France. pp. 261–278.

El, N and H. Salem. 2010. Influence of nitrogen sources on yield and its components of some maize varieties. *World Journal of Agricultural Science* 6:218-223.

El-Kot, G. 2008. Biological control of black scurf and dry rot of potato. *Egyptian Journal Phytopathology* 36: 45-56.

Errecart, P., M. Agnusdei, F. Lattanzi and M. Marino. 2012. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research* 129: 46–58.

Escobar, A. and L. Combe. 2012. Senescence in field-grown maize: From flowering to harvest. *Field Crops Research* 134: 47–58.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. Post-Harvest compendium: cereals and grain. Disponible en sitio web: www.fao.org Leído 11 noviembre 2012.

Haboudane, D., J. Miller, N. Tremblay, P. Zarco and L. Dextraz. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 81: 416 – 426.

Hammad, H., H. Ahmad, T. Khaliq, W. Farhad and M. Mubeen. 2011. Optimizing rate of nitrogen application for higher yield and quality in maize under semiarid environment. *Crop & Environment* 2: 38-41

Hirel, B., A. Martin, T. Tercé, M. Gonzalez and J. Estabillo. 2005. Physiology of maize I: A comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C4 plant. *Physiologia Plantarum* 124: 167-177.

Holland, K. and J. Schepers. 2010. Derivation of a Variable Rate Nitrogen Application Model for In-Season Fertilization of Corn. *Agronomy Journal* 102: 1415-1424.

Jin, L., H. Cui, B. Li, J. Zhang, S. Dong and P. Liu. 2012. Effects of integrated agronomic management practices on yield and nitrogen efficiency of summer maize in North China. *Field Crops Research* 134: 30–35.

Kumar, M. and J. Lin. 2010. Co-existence of anammox and denitrification for simultaneous nitrogen and carbon removal—Strategies and issues. *Journal of Hazardous Materials* 178: 1–9.

Ladha, J., H. Pathak, T. Krupnik, J. Six and C. Van Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.

Leão, M., M. Deon, L. Sáes and R. Pierry. 2004. Genetic analysis for sooty mold resistance and heart of palm yield in *Archontophoenix*. *Science Agricultural (Piracicaba, Braz.)* 61: 178-184.

Liu, K and P. Wiatrak. 2011. Corn production and plant characteristics response to N fertilization management in dry-land conventional tillage system. *International Journal of Plant Production* 5: 405-416.

Licht, M. and M. Al-Kaisi. 2005. Corn Response, Nitrogen Uptake, and Water Use in Strip-Tillage Compared with No-Tillage and Chisel Plow. *Agronomy Journal* 97: 705-710.

Marek S., N. Tremblay and E. Fallo. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal* 101: 800-816.

Marschner's, H. 2011. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 237-270. Editorial Academic Press. Londres, Inglaterra. 235-26.

Mejía, D. 2003. *Maize: Post-Harvest Operation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. EEUU. 21-23 p.

Mendonça, S., R. Peres, B. Nastaro and L. Barbosa de Freitas. 2012. The Nitrogen Sufficiency Index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:183-191.

Mohkum, H., A. Ahmad, A. Wajid and J. Akhter. 2011. Maize response to time and rate of nitrogen application. *Journal Botanical Pakistán* 43: 1935-1942.

Moll, R., E Kamprath and W. Jackson. 1982. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.

Ning, T., Y. Zheng, H. Ha, G. Jiang and Z. Li. 2012. Nitrogen uptake, biomass yield and quality of intercropped spring- and summer-sown maize at different nitrogen levels in the North China Plain. *Biomass and Bioenergy* 47:1-8.

Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). 2012. Boletín de insumos. Disponible en sitio web: <http://www.odepa.gob.cl> Leído: 11 Noviembre 2012.

Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). 2012. Maíz: producción, precios y comercio exterior. Disponible en sitio web: <http://www.odepa.gob.cl> Leído: 11 Noviembre 2012.

Oliveira, A., E. Campostrini, P. Magalhães, L. Moreira, F. Machado, I. Marriel and A. Torres. 2008. Nitrogen-use efficiency of maize genotypes in contrasting environments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 8: 291-298.

- Ortega, R. and O. Santibañez. 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and electronics in agriculture* 58: 49-59.
- Olav, B. and K. Asbjørn. 1998. Effect of Irradiance on Chlorophyll Estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. *Annals of Botany* 82: 389-392.
- Pagani, A., H. Echeverría, F. Andrade and H. Sainz. 2009. Characterization of Corn Nitrogen Status with a Greenness Index under Different Availability of Sulfur. *Agronomy Journal* 101: 315- 322.
- Rathke, G., T. Behrens and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80–108.
- Raun, W., J. Solie, M. Stone, K. Martin, K. Freeman, R. Mullen, H. Zhang, J. Schepers and G. Johnson. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Soil Science and Plant Analysis* 36: 2759–2781.
- Rorie, R., L. Purcell, M. Muzaffari, D. Karcher, A. King, M. Marsh and D. Longer, 2011. Association of “Greenness” in Corn with Yield and Leaf Nitrogen Concentration. *Agronomy Journal* 103: 529-535.
- Rui, Y., J. Shi-ling, Z. Fu-suo and S. Jian-bo. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia* 43:21-27.
- Sánchez, A., V. Rodríguez, J. Lorbes, L. Figueredo y A. Rivero. 2009. Calibración de Lecturas de clorofilómetro en hojas de *Zea mays* L. en el valle medio del río Yuracuy, estado Yuracuy. *Revista Unell Ciencia y Tecnología* 27: 83-94.
- Sainz-Rozas, H. y H. Echeverría. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista Facultad de Agronomía, La Plata* 103: 37-44.
- Schlemmer, M., D. Francis, J. Shanahan and J. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal* 97:106–112.
- Shanahan, J., N. Kitchenb, W. Raun and J. Schepers. 2008. Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 61: 51-62.
- Sharma, P., M. Shukla, T. Sammis, R. Steiner and J. Mexal. 2012. Nitrate-nitrogen leaching from three specialty crops of New Mexico under furrow irrigation system. *Agricultural Water Management* 109: 71– 80.
- Solari, F., J. Shanahan, R. Ferguson and V. Adamchuk. 2010. An active sensor algorithm for corn nitrogen recommendations based on a chlorophyll meter algorithm. *Agronomy Journal* 102: 1090-1098.

- Subedi, K. and B. Ma. 2005. Nitrogen Uptake and Partitioning in Stay-Green and Leafy Maize Hybrids. *Crop Science Society of America* 45: 740-747.
- Széles, A., A. Megyes and Nagy, J. 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. *Agricultural Water Management* 107: 133– 144.
- Varinderpal-Singh, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, H. Thind, A. Kumar and M. Vashistha. 2011. Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Field Crops Research* 120: 276–282.
- Varvel, G., W. Wilhelm, J. Shanahan and J. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agronomy Journal* 99: 701-706.
- Watanabe, S., M. Kodama and M. Fukuda. 2009. Nitrogen stable isotope ratio in the manila clam, *Ruditapes philippinarum*, reflects eutrophication levels in tidal flats. *Marine Pollution Bulletin* 58:1447–1453.
- Wei, G., S. Shalei, Z. Bo, S. Shuo, L. Faqua and C. Xuwu. 2012. Multi-wavelength canopy LiDAR for remote sensing of vegetation: Design and system performance. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 69: 1–9.
- Wu, X. , Y. Liu, M. Tian, R. Chen, Z. Zheng, C. He, Y. Huang, J. Zhang, H. Liu and Z. Li. 2011. Genomics analysis of genes expressed reveals differential responses to low chronic nitrogen stress in maize. *African Journal of Biotechnology* 10: 939-949.
- Ziadi, N., G. Bélanger, A. Claessens, L. Lefebvre, N. Tremblay, A. Cambouris, M. Nolin and L. Parent. 2010. Plant-based diagnostic tools for evaluating wheat nitrogen status. *Crop Science* 50: 2580-2590.
- Ziadi, N., M. Brassard, G. Bélanger, A. Claessens, N. Tremblay, A. Cambouris, M. Nolin and L. Parent. 2008. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. *Agronomy Journal* 100: 1264–1273.
- Zhang, J., A. Blackmer, J. Ellsworth and K. Koehler. 2008. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. *Agronomy Journal* 100: 543–550.
- Zhang, J., A. Blackmer, J. Ellsworth, P. Kyveryga and T. Blacker. 2008. Luxury Production of Leaf Chlorophyll and Mid-Season Recovery from Nitrogen Deficiencies in Corn. *Agronomy Journal* 100: 658-664.
- Zhu, J., Y. Liang and N. Tremblay. 2011. Responses of Nitrogen Status Indicators to Nitrogen Rates and Soil Moisture in Corn (*Zea mays* L.). *Acta Agronomica Sinica* 37: 1259-1265.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO COMO MEJORADOR DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LAS LECTURAS SPAD EN HÍBRIDOS DE MAÍZ

RESUMEN

En la actualidad se requiere innovar en la búsqueda de herramientas de diagnóstico que permitan hacer un uso más eficiente de los recursos. El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de asociación entre el Índice de Suficiencia de Nitrógeno (ISN), valores SPAD y rendimiento en grano en tres híbridos de maíz sometidos a distintas aplicaciones de nitrógeno. El ensayo se realizó en la Estación Experimental Antumapu de la Universidad de Chile en la temporada 2011-2012 bajo condiciones de riego. Los valores SPAD fueron medidos desde el estado de desarrollo V4 hasta R3, en los híbridos: Maipo, DK619 y NK703, en siete niveles de nitrógeno: 0, 100, 200, 300, 400, 500 y 600 kg N ha⁻¹, en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar en donde la parcela principal fue el nivel de nitrógeno y la sub parcela el híbrido. El ISN fue calculado a partir de los valores SPAD utilizando como parcela de referencia la dosis de 600 kg N ha⁻¹. Los resultados mostraron un efecto significativo de las aplicaciones de nitrógeno en donde a partir de los 200 Kg de nitrógeno ha⁻¹ no se observaron rendimientos estadísticamente diferentes a los obtenidos con las dosis superiores de nitrógeno; tampoco se observaron diferencias significativas entre los híbridos, logrando valores de rendimiento de 20.000 kg ha⁻¹. Las lecturas SPAD en etapas tempranas (V4-V6) no se asociaron con el rendimiento, en tanto que desde octava hoja (V8) se observa una asociación ($R^2= 0,88$) por híbrido, lográndose los más altos coeficientes de determinación en los estados reproductivos ($R^2=0,85$ en R3). El ISN también comienza a ser significativo a partir V8 ($R^2= 0,86$), manteniendo la misma tendencia que el SPAD. Por lo tanto el ISN no mejora la capacidad predictiva del SPAD. Sin embargo, permite eliminar las diferencias entre los híbridos de maíz de ciclo intermedio cultivados en Chile.

Palabras claves: Clorofilometro, Nitrógeno, ISN, color de la hoja, eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN).

ABSTRACT

Is currently required to find innovative diagnostic tools that allow making a more efficient use of resources. The objective of this research was to determine the level of association between Nitrogen Sufficiency Index (NSI), SPAD values and grain yield of three maize hybrids under different nitrogen applications. The trial was conducted at the Antumapu Experimental Station of the University of Chile in the 2011-2012 season under irrigated conditions. SPAD values were measured from the V4 stage of development to R3, in hybrids: Maipo, DK619 and NK703, seven nitrogen levels: 0, 100, 200, 300, 400, 500 and 600 kg N ha⁻¹ at a split plot design randomized complete block where the main plot was the nitrogen level and the hybrid subplots. The NSI was calculated from SPAD values used as reference plot the dose of 600 kg N ha⁻¹. The results showed a significant effect of nitrogen applications below 200 kg ha⁻¹ over the nitrogen yields were observed not statistically different from those obtained with higher doses of nitrogen, nor significant differences among hybrids, achieving performance values of 20,000 kg ha⁻¹. SPAD readings in early stages (V4-V6) were not associated with performance, while from eighth leaf (V8) shows an association (R² = 0.88) by hybrid, achieving the highest coefficient of determination in the reproductive stages (R² = 0.85 R³). The ISN also begins to be significant from V8 (R² = 0.86), keeping the same trend as the SPAD. Therefore, the NSI does not improve the predictive ability of SPAD. However, eliminates the differences between corn hybrids grown in Chile intermediate cycle.

Keywords:

Chlorophyllmeter, Nitrogen, NSI, Leaf Color Chart, Nitrogen Use Efficiency (NUE)

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal con mayor producción a nivel mundial (FAO, 2012). En Chile, la superficie de siembra en la temporada 2011-2012 alcanzó las 139.268 ha, con un rendimiento promedio nacional de 12.000 kg ha⁻¹ (ODEPA, 2012). El principal costo de producción del maíz es el fertilizante y dentro de estos el 95% corresponde al fertilizante nitrogenado (ODEPA, 2012). Por ello, existe la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN), no solo para reducir costos de producción sino también para evitar la contaminación de las fuentes de consumo humano y animal (Burkat y Stoner, 2008). Una forma de mejorar la EUN es realizar las aplicaciones de N utilizando algún tipo de metodología que permita precisar la necesidad de nitrógeno del cultivo en función del rendimiento esperado (Ladha *et al.*, 2005), ya que existe una alta correlación entre el nivel de N en la planta y el rendimiento (Ziadi *et al.*, 2008). Una forma para determinar el nitrógeno foliar de manera rápida y no destructiva (Zhang *et al.*, 2008), es mediante el uso de clorofilómetros Minolta ® SPAD 502 que miden el contenido relativo de clorofila en la hoja a través de un índice de verdor (Rorie *et al.*, 2011), basado en una relación de transmitancia/ absorbancia, en donde la luz es transmitida a través de la hoja en 650 nm del espectro electromagnético (Zhang *et al.*, 2008), mientras mayor sea la cantidad de luz que se absorba mayor será el contenido de clorofila presente en las hojas de la planta (Escobar y Combe, 2012). Su utilización ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la evaluación del estado nutricional de N en varios cultivos permitiendo hacer correcciones cuando aún la planta es capaz de responder y mejorar su rendimiento (Marek *et al.*, 2009); sin embargo existen ciertos inconvenientes en su uso debido a que cada valor SPAD puede ser afectado por diversos factores entre ellos: el estado de desarrollo, tipo de híbrido, año, localidad (Errecart *et al.*, 2012), disponibilidad de N en el suelo, siendo este último uno de los factores de mayor peso (Marek *et al.*, 2009). Para disminuir las variaciones de las lecturas del clorofilómetro ellos pueden normalizarse (Varvel *et al.*, 2007), originándose con ello el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) (Marek *et al.*, 2009). Pagani *et al.* (2009) señalan como valor crítico de ISN 0,95, a partir de octava hoja, por tanto un valor inferior a 0,95 estará asociado a pérdidas de rendimiento (Shanahan *et al.*, 2008). Por ello es aconsejable mantener este valor a través de correcciones de deficiencias de este nutriente, de tal manera de evitar pérdidas en el rendimiento (Varvel *et al.*, 2007). La mayor parte de los estudios se han llevado a cabo con maíces de bajo rendimiento y/o bajo condiciones de secano (Binder *et al.*, 2000; Marek *et al.*, 2009; Pagani *et al.*, 2009; Raun *et al.*, 2005; Shannahan *et al.*, 2008; Varvel *et al.*, 2007); sin embargo, para climas mediterráneos como los presente en Chile, con maíces de alto rendimiento y bajo condiciones de riego no se han encontrado estudios que evalúen el ISN como mejorador de la capacidad predictiva del SPAD.

HIPÓTESIS

El índice de suficiencia de nitrógeno mejora la capacidad predictiva del SPAD para estimar rendimiento en híbridos de maíz de ciclo intermedio cultivados en Chile.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el nivel de asociación entre el Índice de Suficiencia de Nitrógeno, valores SPAD y rendimiento en grano en tres híbridos de maíz sometidos a distintas aplicaciones de nitrógeno.

Objetivos específicos

Determinar los valores SPAD e Índice de Suficiencia de Nitrógeno en los tres híbridos sometidos a distintas aplicaciones de nitrógeno.

Relacionar mediciones SPAD e Índice de Suficiencia de Nitrógeno con rendimiento de grano y el contenido final de nitrógeno en la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento y condición edafoclimática

El experimento fue realizado durante la temporada 2011/2012, en la Estación Experimental Antumapu, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana, Chile (33°40' latitud sur, 70°38' longitud oeste y 605 m.s.n.m.). El clima es templado mesotermal estenotermico mediterráneo semiárido (INIA, 1989), con temperaturas anuales que varían entre una máxima media de 28,2 °C en Enero y una mínima media de 4,4 °C en Julio. Las precipitaciones son invernales, con una media anual de 369,5 mm y un período seco de 8 meses entre Septiembre y Abril (Santibáñez y Uribe, 1990). El suelo está incluido en la Serie Santiago (CIREN, 1996), de origen aluvial, con profundidad media de 60 cm, textura franco arenosa, buen drenaje, contenido de materia orgánica del 2,4% y pH 7,5.

Material Vegetal

En el estudio se utilizaron tres híbridos de maíz grano de ciclo intermedio: MAIPO (WINTERSEED), DK619 (ANASAC) y NK703 (SYNGENTA) procedentes del mercado chileno.

Tratamientos, diseño del experimento y labores culturales

El ensayo estuvo constituido por 21 tratamientos compuestos por dos factores: dosis de nitrógeno con 7 niveles e híbrido de maíz con 3 niveles. En el cuadro 1. se presenta un resumen de los tratamientos.

El primer nivel de fertilización nitrogenada (0 kg ha⁻¹: testigo) está asociado al aporte del suelo y el nivel más alto de fertilización (600 kg ha⁻¹) buscó maximizar el rendimiento de grano, para un rendimiento objetivo de 20.000 kg ha⁻¹. Para el cálculo se consideró un nivel de absorción de 50%.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar, en arreglo factorial de 3 x 7 (híbridos y dosis de nitrógeno) con cuatro repeticiones, en donde la parcela principal correspondió a la dosis de nitrógeno y la subparcela al híbrido. La unidad experimental tuvo una dimensión de 20,6 m², equivalente a 5,5 m de largo y 3,75 m de ancho.

El suelo donde se llevó a cabo el ensayo provenía de una pradera natural de 3 años, la cual fue incorporada al suelo con arado de vertedera en marzo del 2011. Para acondicionar el suelo para la siembra, este se regó y posteriormente se rastreó, lo que permitió dejarlo mullido. Los requerimientos de P y K se determinaron en función del análisis de suelo. Para el caso del fósforo se aplicaron 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato triple. Respecto al potasio se fertilizó con 50 kg de K₂O en forma de sulfato de potasio. Ambos fertilizantes fueron incorporados en el último rastraje. La fertilización nitrogenada se aplicó de forma parcializada como urea 1/3 de la dosis al

momento de la siembra junto al fósforo y potasio, y 2/3 en el estado de octava hoja del cultivo aplicado entre la hilera en forma manual. La siembra del maíz se realizó con bastón el 20 de octubre, con una distancia entre hilera de 75 cm y sobre hilera 12,5 cm, equivalente a 10,7 plantas m⁻².

Cuadro 1. : Composición de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Híbrido
1	0	Maipo
2	0	DK619
3	0	NK703
4	100	Maipo
5	100	DK619
6	100	NK703
7	200	Maipo
8	200	DK619
9	200	NK703
10	300	Maipo
11	300	DK619
12	300	NK703
13	400	Maipo
14	400	DK619
15	400	NK703
16	500	Maipo
17	500	DK619
18	500	NK703
19	600	Maipo
20	600	DK619
21	600	NK703

Las plantas fueron regadas, considerando un umbral de riego del 50% de la humedad aprovechable, el sistema de riego fue por medio de surcos. El control de plagas, enfermedades y malezas fue seguido de tal manera de mantener el cultivo libre de ellas durante todo su desarrollo.

Mediciones

Fenología

Se registraron las fechas de emergencia, V4 (cuarta hoja), V6 (sexta hoja), V8 (octava hoja), V10 (décima hoja), V12 (duodécima hoja), R1 (floración), R2 (grano ampolla), R3 (grano lechoso) y R7 (Madurez fisiológica: contenido de humedad del grano de 36-37%). Los estados fueron definidos cuando el 50% de las plantas de cada unidad experimental lo presentaron.

Establecimiento de plantas

Se contó el número de plantas establecidas en un metro lineal tres veces por sub parcela en el estado de V2. El promedio se expresó en número de plantas m^{-2} .

Mediciones SPAD

Con la finalidad de determinar el contenido relativo de clorofila en la hoja, se utilizó el instrumento medidor de clorofila SPAD, marca Minolta modelo 502. El valor SPAD promedio por subparcela se obtuvo muestreando 20 hojas recientemente expandidas (con la lígula visible) para los estados vegetativos, antes indicados (V4, V6, V8, V10 y V12). Para el caso de los estados reproductivos (R1, R2 y R3) se seleccionó la hoja de la mazorca principal. Las plantas muestreadas se escogieron de las hileras centrales de cada unidad experimental, seleccionando aquellas que crecían en competencia perfecta y que no presentaban problemas sanitarios. Las lecturas SPAD fueron expresadas en unidades SPAD.

Altura de plantas e inserción de la mazorca.

Al estado de R1 (floración) se midió la altura de planta e inserción de la mazorca en 10 plantas ubicadas en las hileras centrales de cada unidad experimental. La medición contempló desde la base hasta la inserción de la panoja. La altura se expresó en centímetros.

Número de hojas verdes bajo la mazorca

Al estado de R1, en las mismas plantas que se midió la altura, se contabilizó el número de hojas verdes bajo la mazorca principal.

Contenido de clorofila

Para la determinación del contenido de clorofila proveniente de la lectura SPAD, se seleccionaron 10 plantas por híbrido que presentarán distintos tonos de coloración desde amarilla a un verde intenso en duodécima hoja (V12). En la hoja de esas plantas se midió el valor SPAD y luego en ese sector se tomaron dos discos de hoja de 1cm^2 . Estos discos fueron congelados en nitrógeno líquido hasta que se determinó el contenido de clorofila total en laboratorio, de acuerdo al método descrito por Lichtenthaler y Wellbur (1983). El contenido de clorofila se expresó como $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Mediciones de color

Esta medición se realizó utilizando una tabla de color “Munsell Plant Tissue Color Chart”, (Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, USA), la cual describe los colores en términos de tres parámetros: matiz (hue), claridad (value) y saturación (chroma). El matiz representa los colores cromáticos divididos en 5 clases principales (rojo, amarillo, verde, azul y morado). El valor indica el grado de luminosidad u oscuridad de un color en relación a la escala del gris, el que se extiende de un negro puro (simbolizado como 0/) a un blanco puro (simbolizado 10/). Finalmente, el croma indica el grado de saturación de un color, su escala de medición se extiende de /0 para un gris neutro hasta /14 o más para colores saturados. La notación Munsell para cualquier color se escribe en el siguiente orden: Matiz Valor/Croma.

La determinación del color se realizó el mismo día que las mediciones SPAD, muestreándose 10 hojas, de plantas independientes, recientemente expandidas para los estados vegetativos (V6, V8, V10 y V12) y la hoja de la mazorca principal en los estados reproductivos (R1, R2 y R3). Las plantas se escogieron de las hileras centrales de cada unidad experimental, que estuviesen creciendo en competencia perfecta y que no presentaron problemas sanitarios.

Mediciones del contenido de nitrógeno en la planta

La determinación del contenido de N fue llevada a cabo en forma separada para grano y para el resto de la biomasa aérea. Esta medición se hizo utilizando el método Kjeldahl, con un tamaño de muestra de 0,5 g de peso seco por tratamiento, obtenidos de una muestra de 10 plantas por unidad experimental. El estado de desarrollo en el cual se tomaron las muestras fue después del estado de madurez fisiológica. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelo de la Universidad de Chile. La cantidad de nitrógeno tanto en grano como en el resto de la biomasa se expresó en porcentaje.

Biomasa seca aérea

Una vez que las plantas llegaron a madurez fisiológica (36% de humedad) se cosecharon 10 plantas por unidad experimental provenientes de las 3 hileras centrales. Las plantas fueron cortadas a ras de suelo y llevadas a estufa a 72 °C hasta lograr peso constante. El valor se expresó en kg ha^{-1} .

Rendimiento y sus componentes

La medición se llevó a cabo una vez que las plantas llegaron a madurez fisiológica cosechándose las mazorcas provenientes de dos metros lineales de plantas crecidas en competencia perfecta ubicadas en las 3 hileras centrales de cada unidad experimental.

Se contabilizó el número de mazorcas cosechadas por planta y luego se eligieron 10 al azar, a las cuales se les determinó largo y ancho de la mazorca, porción apical sin grano, número de hileras, número de granos por hilera. Posteriormente las mazorcas fueron desgranadas, los granos fueron llevados a estufa a 72 °C hasta lograr un peso constante. Una vez secos, se eligieron al azar 1.000 granos y se les determinó su peso.

Con esta información se calculó el rendimiento y sus componentes: número de plantas por ha, número de mazorcas por planta, número de granos por mazorca, peso de los 1.000 granos.

Estimaciones

Índice de Suficiencia de Nitrógeno

Se calculó el índice de suficiencia de nitrógeno para cada híbrido, según lo descrito por Holland y Schepers (2010):

$$\text{ISN} = \frac{\text{Promedio de lecturas de campo}}{\text{Promedio de lecturas franjas de referencia}}$$

La franja de referencia correspondió al tratamiento con un nivel de nitrógeno de 600 kg ha⁻¹

Eficiencia del uso de Nitrógeno

Para el cálculo de la EUN se utilizó el método propuesto por Novoa y Loomis (1981), quienes definen la EUN como la producción en grano por unidad de nitrógeno aplicado:

$$\text{Eficiencia uso del Nitrógeno (kg kg}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{N_i}$$

$$\text{Eficiencia de Absorción de Nitrógeno (EA) (%): } \frac{NR_i - NR_o}{N_i} \times 100$$

$$\text{Eficiencia Fisiológica de Nitrógeno (EF) (kg kg}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{NR_i - NR_o}$$

$$\text{Índice de Cosecha de Nitrógeno (ICN) (%): } \frac{NG}{NR_i} \times 100$$

Definiendo N_i como la dosis de nitrógeno aplicado; NR_i como el nitrógeno absorbido en una parcela fertilizada con una dosis i ; NR_0 el nitrógeno absorbido en una parcela con dosis 0; Y_i como el rendimiento en grano en la parcela fertilizada con dosis i ; Y_0 como el rendimiento en grano en la parcela con dosis 0 y NG como nitrógeno en grano.

Información meteorológica

La información meteorológica necesaria para caracterizar la temporada (temperatura máxima, mínima y media del aire, humedad relativa y precipitaciones), fue obtenida a partir de una estación meteorológica ubicada en la Estación Experimental Antumapu.

Análisis estadístico

Los resultados de las mediciones fueron sometidos a un ANDEVA mediante el programa Infostat versión estudiantil y Ri386 versión 2.15.2. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \beta_k + p_{ik} + \varepsilon_{ijk}; i=1, \dots, T; j=1, \dots, G; k=1, \dots, B.$$

Donde:

Y_{ijk} = respuesta observada en el k -ésimo bloque, i -ésimo nivel del factor principal y j -ésimo nivel de factor asociado a las subparcelas; μ = media general de la respuesta;

τ_i = efecto del i -ésimo nivel del factor asociado a las parcelas principales; γ_j = efecto del j -ésimo nivel del factor asociado a las subparcelas; δ_{ij} = representa el efecto de la interacción del ij -ésimo tratamiento; β_k , p_{ik} y ε_{ijk} = corresponden a efectos aleatorios de los bloques, de las parcelas dentro de los bloques y de los errores experimentales.

Al identificarse diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron separadas mediante el test de DGC ($p \leq 0,05$).

Se realizaron regresiones entre las variables rendimiento y valores SPAD e ISN tomados en los distintos estados de desarrollo, utilizando las medias ajustadas del modelo. La estimación de las rectas de regresión se realizó mediante el método de mínimos cuadrados (Steel y Torrie, 1985). Para ello se utilizó el programa Microsoft® Office Excel®. Los coeficientes de regresión fueron comparados por medio de los intervalos de confianza al 95%, con el objetivo de discriminar el comportamiento de los híbridos para los valores SPAD e ISN frente al rendimiento.

Para relacionar color de hoja con las variables rendimientos y porcentaje de nitrógeno en grano, se realizó un análisis de correspondencia múltiple en los estados de desarrollo V8 y R1, utilizando el programa Infostat versión estudiantil 2013. Este tipo de análisis es cualitativo, por lo que los valores de rendimiento, valor SPAD, ISN y croma fueron categorizados de acuerdo al Cuadro 2.

Cuadro 2. Categorización de los datos de rendimiento, valor SPAD, ISN y croma.

Propiedad	Categoría	Rango
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Muy bajo	< 10.000
	Bajo	10.000-13.999
	Medio	14.000-16.999
	Alto	17.000-20.000
	Muy alto	>20.000
Valor SPAD	Muy bajo	<45
	Bajo	45-50
	Medio	51-55
	Alto	56-60
	Muy alto	>60
ISN	Muy bajo	< 0,9
	Bajo	0,9-0,92
	Medio	0,93-0,94
	Alto	0,95-0,97
	Muy alto	0,98-1,00
Croma	Saturado bajo	4
	Saturado moderado	6
	Saturado medio	8
	Saturado alto	10

RESULTADOS

Caracterización de la temporada y análisis de suelo

La temporada 2011-2012 se caracterizó por ser una primavera-verano seca y calurosa en la Región Metropolitana, con temperaturas máximas de 30 °C, en tanto que las mínimas más bajas se registraron en octubre con 7,1 °C y la temperatura promedio más baja también ocurrió en este mes con 14,9 °C. La temperatura promedio se mantuvo alrededor de 20 °C, mientras que la humedad relativa en general fue 52% aumentando en abril a 63% (Cuadro 3.).

Cuadro 3. Temperaturas máximas, mínimas, promedio, humedad relativa y precipitaciones durante el periodo de desarrollo del cultivo.

Mes	T°max (°C)	T°min (°C)	T°prom (°C)	HR (%)	Pp (mm)
Octubre	23,8	7,1	14,9	52,5	0,2
Noviembre	27,7	8,9	17,8	52,6	0,0
Diciembre	30,1	11,8	20,6	52,8	0,0
Enero	29,7	12,7	20,8	57,0	0,0
Febrero	30,5	13,2	21,4	52,4	0,0
Marzo	30,1	11,5	20,2	52,4	0,0
Abril	23,9	8,8	15,6	63,4	0,8

T= temperatura, HR= humedad relativa, pp= precipitación.

Para el análisis de suelo la muestra se tomó al momento de la siembra con una profundidad de 20 cm y una densidad aparente de 1,4 Mg m⁻³, en donde la cantidad de nitrógeno disponible fue de 15 ppm, catalogado como alto aportando 42 kg N ha⁻¹ (Apéndice 1.).

Estados fenológicos

En el Cuadro 4. se puede observar que en los estados de desarrollo vegetativos (V6, V8, V12) solo NK703 mostró un retraso equivalente a un día más que DK619 y Maipo. Mientras que en los estados reproductivos (R1 y R7) aumentó la diferencia, siendo este

híbrido el más tardío, llegando a madurez fisiológica 8 días después que DK619 y Maipo (detalles ver Apéndice 4.).

Cuadro 4. Periodo fenológico en días desde la siembra (DDS) a V6, V8, R1 y R7.

Híbrido	V6 (DDS)	V8 (DDS)	V12 (DDS)	R1 (DDS)	R7 (DDS)
Maipo	40 b	53 b	70 b	87 b	139 b
DK619	40 b	53 b	70 b	84 c	139 b
NK703	41 a	54 a	71 a	91 a	147 a

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

Número de hojas verdes bajo la mazorca

La medición del número de hojas verdes bajo la mazorca se llevó a cabo en R1, es decir a inicios de floración. Al realizar el análisis combinado de varianza para este parámetro, no se observó interacción híbrido*nitrógeno, existiendo diferencias significativas en el número de hojas verdes entre los híbridos y también entre las distintas dosis de nitrógeno aplicadas (Cuadro 5.).

Cuadro 5. Análisis combinado de varianza para número de hojas bajo la mazorca.

Fuente	Número de hojas bajo la mazorca
Híbrido	*
Nitrógeno	***
Híbrido*Nitrógeno	ns

*: $p \leq 0,05$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo

El híbrido que presentó un mayor número de hojas verdes bajo la mazorca fue NK703 con 7 hojas, a diferencia de DK619 y Maipo los cuales presentaron una hoja menos (Cuadro 6.)

Cuadro 6. Número de hojas verdes bajo la mazorca en los distintos híbridos.

Híbrido	Número de hojas bajo la mazorca
Maipo	6 b
DK619	6 b
NK703	7 a

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).

El número de hojas verdes bajo la mazorca aumentó en forma significativa hasta los 400 kg N ha⁻¹, dosis a partir de la cual el número se estabilizó llegando a un total de 8 hojas. Al comparar este valor con el de los tratamientos con 0 kg N ha⁻¹, se observó en este último 4 a 5 hojas verdes menos bajo la mazorca (Cuadro 7.).

Cuadro 7. Número de hojas verdes bajo la mazorca con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.

Nitrógeno Aplicado (kg ha ⁻¹)	Número de hojas bajo la mazorca
0	3 d
100	5 c
200	6 b
300	6 b
400	7 a
500	8 a
600	7 a

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).

Biomasa, Rendimiento y sus componentes

Al realizar el análisis combinado de varianza no se detectó interacción híbrido*nitrógeno en ninguno de los parámetros analizados, existiendo diferencias significativas en todos los parámetros con respecto a la dosis de nitrógeno ($p \leq 0,01$). Mientras que solo se observan diferencias significativas para los híbridos en el índice de cosecha y en el número de granos m⁻² (Cuadro 8.)

Cuadro 8. Análisis combinado de varianza para biomasa, rendimiento, índice de cosecha (IC) y componentes del rendimiento.

Fuente	Biomasa	Rendimiento	IC	Peso 1000 granos	Granos m ⁻²
Híbrido	ns	ns	***	ns	**
Nitrógeno	***	***	*	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo

Los híbridos no tuvieron diferencias significativas en los parámetros de biomasa, rendimiento y peso de mil granos, rindiendo en promedio 27.412 Kg ha⁻¹, 17.822 Kg ha⁻¹ y 296 g, respectivamente (Cuadro 9.). El híbrido que presentó un mayor índice de cosecha fue DK619 con un 67%, mientras que el menor índice de cosecha lo presentó Maipo con 62%. En cuanto al número de granos por metro cuadrado no hubo diferencias significativas entre Maipo y DK619 los que presentaron en promedio 6.039 granos m⁻², mientras que NK703 tuvo 9% menos de grano m⁻².

Cuadro 9. Biomasa, rendimiento, índice de cosecha (IC) y componentes del rendimiento en tres híbridos.

Híbrido	Biomasa total (Kg ha ⁻¹)	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	IC (%)	Peso 1000 granos (g)	Granos m ⁻²
Maipo	27.069 a	16.962 a	62 c	293 a	5.908 a
DK619	27.204 a	18.416 a	67 a	290 a	6.170 a
NK703	27.963 a	18.088 a	64 b	306 a	5.487 b
C.V. (%)	9,5	6,9	6,2	6,6	11,7

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

Al analizar los resultados con respecto a la dosis de nitrógeno se observó que a partir de los 200 kg N ha⁻¹ no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en los parámetros evaluados, excepto en el índice de cosecha cuyo valor se mantuvo constante a partir de los 300 kg N ha⁻¹. Dosis de nitrógeno de 0 y 100 kg N ha⁻¹ presentaron una disminución respecto de las dosis superiores de 27%, 32%, 13% y 22% en biomasa, rendimiento, peso de los 1000 granos y granos m⁻², respectivamente, mientras que el IC disminuyó en un 7% con dosis iguales o inferiores a 200 kg N ha⁻¹ (Cuadro 10.).

Cuadro 10. Biomasa, de rendimiento, e Índice de Cosecha (IC) con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.

Nitrógeno Aplicado (kg ha ⁻¹)	Biomasa total (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	IC (%)	Peso 1000 granos (g)	Granos m ⁻²
0	20.279 b	12.130 b	60 b	263 b	4.544 b
100	23.121 b	14.319 b	62 b	275 b	5.157 b
200	29.030 a	18.487 a	64 b	299 a	6.116 a
300	28.648 a	18.742 a	65 a	306 a	6.196 a
400	30.311 a	20.073 a	66 a	309 a	6.354 a
500	30.104 a	20.456 a	67 a	315 a	6.176 a
600	30.392 a	20.548 a	68 a	311 a	6.439 a
C.V.(%)	9,5	6,9	6,2	6,0	11,7

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto a las características de las mazorcas, el análisis combinado de varianza no detectó interacción híbrido*nitrógeno en ninguno de los componentes del rendimiento. Respecto a los factores híbrido y nitrógeno por separado, se observó que solo en el número de mazorcas por planta, el factor nitrógeno no fue significativo (Cuadro 11.).

Cuadro 11. Análisis combinado de varianza para componentes del rendimiento.

Fuente	Número mazorcas por planta	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
Híbrido	***	***	***	**
Nitrógeno	ns	*	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo

Los tres híbridos presentaron una mazorca comercial por planta; sin embargo NK703 tendió a producir en forma adicional una mazorca pequeña. El híbrido que presentó un menor número de hileras por mazorca fue Maipo con 14 hileras, siendo inferior en tres hileras a las obtenidas por DK619 (Cuadro 12.). El mayor número de granos por hilera lo presentó Maipo con 39 granos, en tanto que los otros dos híbridos presentaron en promedio 35 granos por hilera. Maipo y DK619 no presentaron diferencias en el número de granos por mazorca, logrando un valor promedio de 568, siendo este significativamente superior al de NK703 (Cuadro 12.).

Cuadro 12. Componentes del rendimiento en tres híbridos.

Híbrido	Número mazorcas por planta	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
Maipo	1,0 b	14 c	39 a	555 a
DK619	1,0 b	17 a	34 b	580 a
NK703	1,1 a	15 b	35 b	516 b
C.V.(%)	2,2	2,2	10,8	11,7

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto al factor nitrógeno y como se observa en el Cuadro 13., no existió diferencia significativa para el número de mazorcas por planta entre las distintas dosis de nitrógeno. En tanto que para el número, granos por hilera y granos por mazorca se observó que a partir de los 200 kg de N ha⁻¹ no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; para el caso de número de hileras por mazorca, las diferencias se observaron a partir de los 300 kg de N ha⁻¹. Dosis inferiores a las señaladas disminuyeron en promedio hasta un 6,3% el número de hileras, en un 23,7% el número de granos por hilera y en un 27,4% el número de granos por mazorca.

Cuadro 13. Medias para componentes del rendimiento con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.

Nitrógeno Aplicado (kg ha ⁻¹)	Número mazorcas por planta	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca
0	1 a	15 b	29 b	427 b
100	1 a	15 b	33 b	485 b
200	1 a	15 b	38 a	575 a
300	1 a	16 a	37 a	582 a
400	1 a	16 a	38 a	597 a
500	1 a	16 a	38 a	580 a
600	1 a	16 a	39 a	605 a
C.V. (%)	2,2	2,2	10,8	11,7

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto a los parámetros longitud, diámetro de la mazorca y porción apical sin granos, el análisis combinado de varianza (Cuadro 14.) no detectó interacción híbrido*nitrógeno, motivo por el cual estos parámetros fueron analizados en forma separada.

Cuadro 14. Análisis combinado de varianza para longitud, diámetro y porción apical sin granos en la mazorca.

Fuente	Longitud Mazorca	Diámetro por mazorca	Porción apical Sin granos
Híbrido	***	***	**
Nitrógeno	***	**	**
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns

** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; ns: no significativo

Cada uno de los híbridos se caracterizó por presentar alguna característica de la mazorca que lo diferenció de los otros dos; así por ejemplo Maipo presentó mazorcas más largas, DK619 mazorcas más anchas y NK703 mazorcas con una menor porción apical sin granos (Cuadro 15.).

Cuadro 15. Longitud, diámetro y porción apical sin granos de la mazorca en tres híbridos.

Híbrido	Longitud mazorca (cm)	Diámetro por mazorca (cm)	Porción apical sin granos (%)
Maipo	18,9 a	4,6 c	13,0 b
DK619	17,5 b	4,9 a	15,5 a
NK703	17,6 b	4,7 b	11,5 c
C.V.(%)	6,4	3,8	19,4

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto al efecto del nitrógeno sobre los parámetros analizados anteriormente se observan diferencias significativas respecto del tratamiento testigo y 100 kg N ha⁻¹; a partir de los 200 kg N ha⁻¹, estas diferencias desaparecieron. El tratamiento testigo presentó mazorcas cuyo largo y ancho fue de 3,5 cm y 3,8 mm inferior al de los tratamientos con niveles iguales o superiores a 200 kg N ha⁻¹. Cabe destacar además que se observó un aumento de 6,6% en la porción apical sin granos en el testigo (Cuadro 16.).

Cuadro 16. Longitud, diámetro y porción apical sin granos de la mazorca con distintas dosis de nitrógeno aplicadas.

Nitrógeno Aplicado (kg ha ⁻¹)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro por mazorca (mm)	Porción apical sin granos (%)
0	15,3 b	44,2 b	18,1 a
100	16,9 b	45,6 b	17,9 a
200	18,5 a	47,5 a	10,8 b
300	18,9 a	48,0 a	13,1 b
400	18,7 a	48,0 a	11,1 b
500	18,6 a	48,3 a	11,3 b
600	19,2 a	48,2 a	11,0 b
C.V. (%)	6,4	3,8	19,37

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al DGC (p≤0,05).
C.V.: Coeficiente de variación.

Mediciones de nitrógeno en la planta y grano

El análisis combinado de varianza detectó interacción entre híbrido*nitrógeno en las mediciones de nitrógeno en el rastrojo y en la planta; sin embargo, en el contenido de nitrógeno en el grano la interacción no fue significativa (Cuadro 17.).

Cuadro 17. Análisis combinado de varianza para nitrógeno en el grano, en la planta sin granos y planta entera.

Fuente	Nitrógeno en grano (%)	Nitrógeno en el rastrojo ^a (%)	Nitrógeno en planta ^b (%)
Híbrido	*	***	***
Nitrógeno	***	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	***	*

*: p≤0,05; ***p ≤0,001; ns: no significativo

a: chalas, tallos y hojas.

b: granos+rastrojo

Tal como se muestra en el Cuadro 18. el híbrido que presentó un mayor porcentaje de nitrógeno en el grano fue Maipo con 1,06%, mientras que DK619 y NK703 no tuvieron diferencias en el contenido de nitrógeno en el grano, logrando en promedio 0,98%.

Cuadro 18. Porcentaje de nitrógeno en grano para los 3 híbridos.

Híbrido	Nitrógeno en grano (%)
Maipo	1,06 a
DK619	1,00 b
NK703	0,96 b
C.V. (%)	11,9

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

En el Cuadro 19. se presentan las medias por dosis de nitrógeno para el contenido de nitrógeno en el grano. Aplicaciones a partir de los 300 kg N ha⁻¹ no generaron diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno en el grano, logrando un promedio de 1,13%; en comparación al 0,84% promedio obtenido por los híbridos con dosis menores o iguales a 200 kg N ha⁻¹.

Cuadro 19. Contenido de nitrógeno en el grano con distintas dosis de nitrógeno aplicadas

Nitrógeno Aplicado (kg Nha ⁻¹)	Nitrógeno en grano (%)
0	0,77 b
100	0,84 b
200	0,91 b
300	1,11 a
400	1,20 a
500	1,10 a
600	1,11 a
C.V. (%)	11,9

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto del contenido del nitrógeno en el rastrojo y en la planta entera, en el Cuadro 20. se presentan los resultados de la interacción de ambos parámetros. Se observa que los máximos valores de nitrógeno en el rastrojo y en la planta entera lo obtuvieron los híbridos DK619 y Maipo con 400 y 500 kg de N ha⁻¹, respectivamente, con un promedio de 1,14 y 1,16% de nitrógeno en el rastrojo y en la planta entera, respectivamente. Cabe destacar que para estos mismos híbridos los valores de N tanto, en el rastrojo como en la planta entera, disminuyeron significativamente su valor con aplicaciones de 600 kg N ha⁻¹.

Cuadro 20. Medias para el contenido de nitrógeno en el rastrojo y en la planta.

Tratamiento	Nitrógeno (Kg ha ⁻¹)	Híbrido	Nitrógeno en el rastrojo (%)	Nitrógeno en planta (%)
1	0	Maipo	0,52 c	0,67 c
2	0	DK-619	0,78 c	0,75 c
3	0	NK-703	0,58 c	0,65 c
4	100	Maipo	0,69 c	0,76 c
5	100	DK-619	0,61 c	0,74 c
6	100	NK-703	0,51 c	0,67 c
7	200	Maipo	0,94 b	0,95 b
8	200	DK-619	0,57 c	0,78 c
9	200	NK-703	0,56 c	0,69 c
10	300	Maipo	0,76 c	1,01 b
11	300	DK-619	0,90 b	1,00 b
12	300	NK-703	0,56 c	0,79 c
13	400	Maipo	0,94 b	1,08 b
14	400	DK-619	1,12 a	1,16 a
15	400	NK-703	0,65 c	0,95 b
16	500	Maipo	1,16 a	1,16 a
17	500	DK-619	0,85 b	1,01 b
18	500	NK-703	0,72 c	0,89 b
19	600	Maipo	0,94 b	1,06 b
20	600	DK-619	0,75 c	0,94 b
21	600	NK-703	0,71 c	0,92 b
	CV(%)		14,6	10,1

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

Eficiencia del Uso de Nitrógeno

Respecto a los parámetros de eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno (ICN), el análisis combinado de varianza (Cuadro 21.), no detectó interacción entre híbrido*nitrógeno ($p > 0,05$), motivo por el cual estos parámetros fueron analizados en forma separada para el efecto del híbrido y la dosis de nitrógeno.

Cuadro 21. Análisis combinado de varianza para eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica, EUN e índice de cosecha de nitrógeno.

Fuente	Eficiencia de Absorción	Eficiencia Fisiológica	EUN	ICN
Híbrido	**	**	*	***
Nitrógeno	*	*	**	**
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo. EUN: Eficiencia en uso del nitrógeno. ICN: Índice de cosecha de nitrógeno.

En el Cuadro 22. se presentan las medias por híbrido para la eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno. Los resultados mostraron que no hay diferencias en la eficiencia de absorción entre Maipo y DK619, presentando en promedio 41,7%, mientras que NK703 fue menos eficiente logrando solo un valor de 29,2%. En cuanto a la eficiencia fisiológica no se observaron diferencias significativas entre NK703 y DK619, los cuales produjeron en promedio 68,2 kg de grano kg de N absorbido, mientras que en Maipo esta eficiencia fue de tan solo 20,5 kg de grano kg de N absorbido, siendo estadísticamente significativa respecto de los otros dos híbridos. El híbrido más eficiente en el uso de nitrógeno fue DK619, el que logró producir 27,8 kg de grano kg de N aplicado¹, mientras que Maipo y NK703 no se diferenciaron en este parámetro, logrando en promedio 20,6 kg de grano por kg N aplicado. En cuanto al índice de cosecha de nitrógeno el híbrido NK703 presentó el mayor valor siendo un 3,6% y 9% superior al obtenido por DK619 y Maipo, respectivamente.

Cuadro 22. Eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno en los distintos híbridos (ICN).

Híbrido	EA (%)	EF (Kg grano kg N ⁻¹)	EUN (Kg grano kg N ⁻¹)	ICN (%)
Maipo	43,2 a	48,1 b	22,4 b	68,7 c
NK703	29,2 b	64,6 a	18,8 b	77,7 a
DK619	40,1 a	73,6 a	27,8 a	73,9 b
CV (%)	1,3	6,7	14,7	8,3

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

Respecto al factor nitrógeno, en el Cuadro 23. se presentan las medias para eficiencia de absorción, fisiológica, de uso de nitrógeno e índice de cosecha de nitrógeno. Como se puede observar, la menor eficiencia de absorción, cuyo valor fue de 25,4%, se observó en el tratamiento que contempló las dosis de nitrógeno de 600 kg N ha⁻¹, mientras que dosis menores (desde 100 a 500 kg N ha⁻¹) no difirieron en ella teniendo un valor promedio de 40%. En cuanto a la eficiencia fisiológica, no hubo diferencias a partir de los 300 kg N ha⁻¹, observándose los mayores valores más altos en las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ cuyo promedio fue 80,9 kg de grano por kg N absorbido versus 51,8 kg de

grano por kg de N absorbido del resto de los tratamientos. La mayor eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) se obtuvo con las dosis de 200 y 300 kg N ha⁻¹, alcanzando en promedio 31 kg de grano por kg N aplicado, dosis inferiores o superiores no presentaron diferencias significativas entre ellos alcanzando solo 19 kg de grano por kg de N aplicado en promedio, lo cual es un 38,7% más bajo. En cuanto al índice de cosecha de nitrógeno solo el tratamiento sin aplicación de nitrógeno tuvo el valor más bajo, equivalente a un 7,8% inferior respecto del valor promedio de 74,6% obtenido por los otros tratamientos.

Cuadro 23. Eficiencia de absorción (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) e índice de cosecha de nitrógeno en función de la aplicación de distintas dosis de nitrógeno aplicadas.

Nitrógeno Aplicado (kg ha ⁻¹)	EA (%)	EF (Kg grano kg N ⁻¹)	EUN (Kg grano kg N ⁻¹)	ICN (%)
0	-	-	-	66,8 b
100	34,1 a	77,6 a	20,6 b	71,6 a
200	47,0 a	84,2 a	34,3 a	72,1 a
300	47,0 a	55,0 b	27,6 a	78,1 a
400	38,7 a	42,2 b	21,3 b	75,3 a
500	33,0 a	55,2 b	18,8 b	72,8 a
600	25,4 b	55,2 b	16,5 b	77,5 a
CV (%)	1,28	6,7	14,7	8,3

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).

Contenido de clorofila

En la Figura 1. se muestran las ecuaciones de regresión para el contenido de clorofila respecto del valor SPAD para los tres híbridos. El análisis de los mínimos cuadrados indica que no hay diferencias en el comportamiento de los tres híbridos ya que los intervalos de confianza al 95% se traslapan (Apéndice 6.). Sin embargo en la práctica al separarlos se explica mejor el comportamiento de los híbridos frente a aumentos en los valores SPAD, es así como a las 40 unidades SPAD NK703 presentó 2 $\mu\text{g cm}^{-2}$ más de clorofila que Maipo, diferencia que tiende a mantenerse con el aumento de las unidades SPAD. Siendo siempre NK 703 el híbrido que presentó un mayor contenido de clorofila para todos los valores SPAD, mientras que Maipo presentó los valores más bajos.

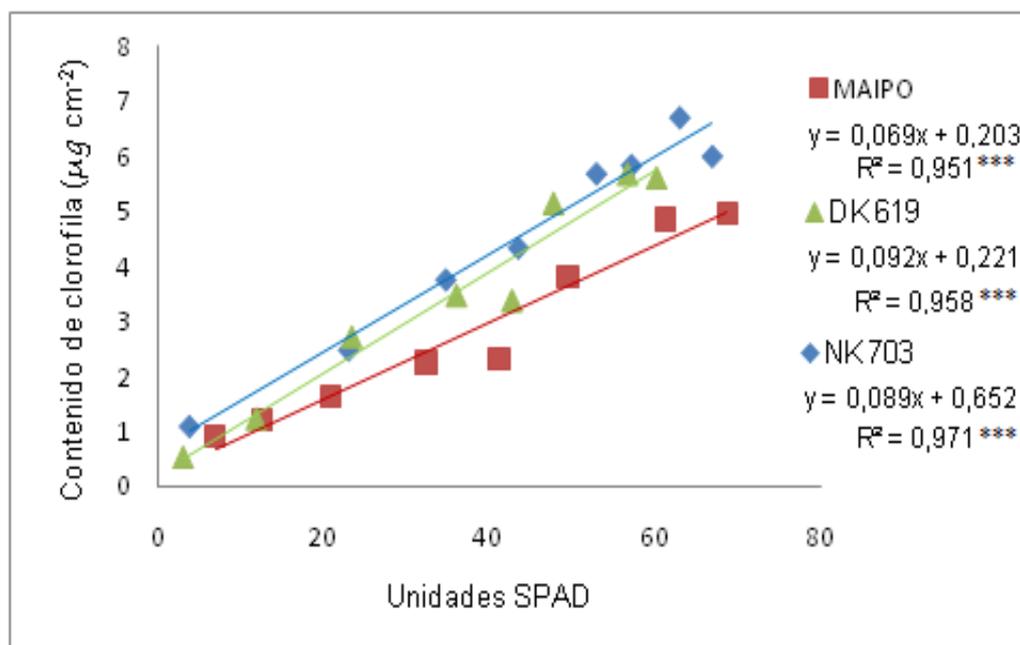


Figura 1. Regresión entre las unidades SPAD y el contenido de clorofila en tres híbridos de maíz.

*** = $p \leq 0,0001$

Mediciones SPAD

En la Figura 2. se observan las lecturas SPAD de los tres híbridos, siendo cada punto el promedio de las dosis nitrogenadas a partir de las cuales se alcanzó el máximo rendimiento (entre 200 y 600 kg N ha⁻¹) entre los estados de cuarta hoja (V4) y grano lechoso (R3). Los valores promedios más bajos se encontraron en el estado V4 con 40 unidades SPAD y en la medida que el cultivo avanzó en su desarrollo estos tendieron a aumentar logrando un valor máximo en floración (R1) de 58 unidades SPAD. El mayor incremento de los valores SPAD se obtuvo entre V4 y V6 con un valor de 0,64 unidades por día, tomando valores algo menores entre V8- V10 y V10-V12 de 0,12 y 0,28 unidades SPAD por día, respectivamente. En tanto que entre V12 y R1 disminuyó el valor de incremento con tan solo 0,08 unidades SPAD por día. A partir de R1 el valor SPAD tendió a disminuir a razón de 0,07 unidades SPAD por día

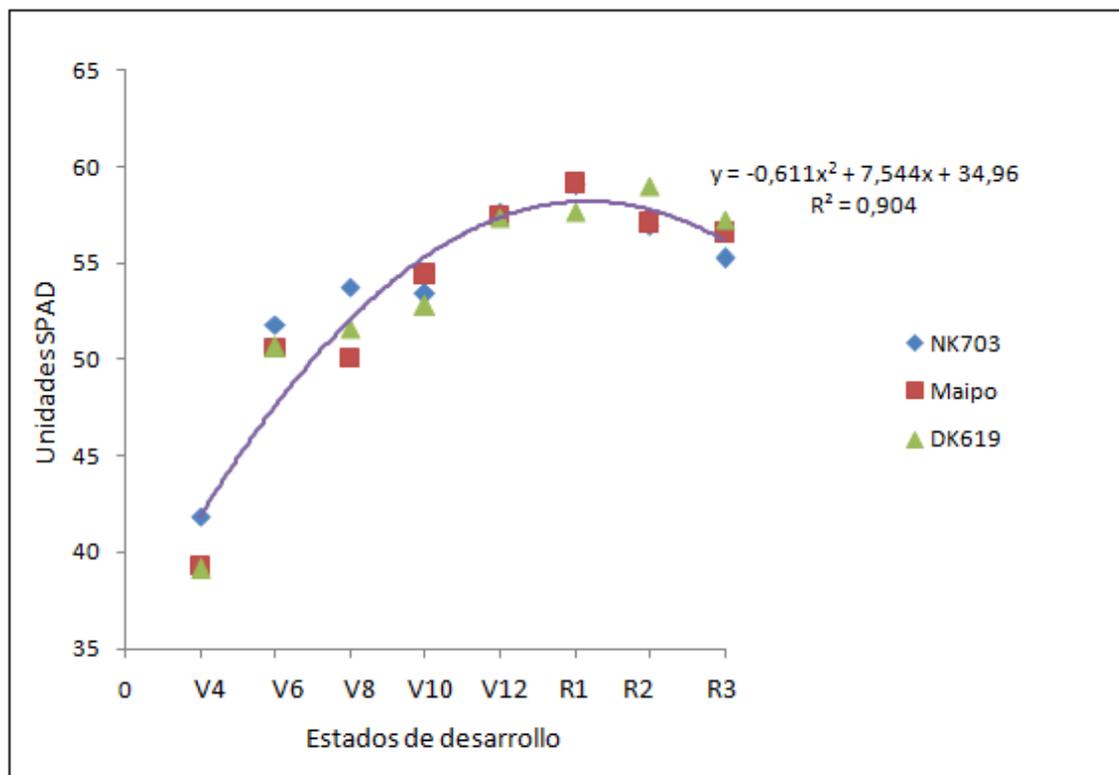


Figura 2. Lecturas SPAD en función de los estados de desarrollo para los tres híbridos con dosis entre 200 y 600 kg N ha⁻¹.

Para los valores SPAD medidos en etapas vegetativas el análisis combinado de varianza (Cuadro 24.) no mostró interacción híbrido*nitrógeno, por tanto los factores híbrido y nitrógeno se analizaron por separado. En cuanto al efecto del híbrido se pudo observar que este fue significativo hasta la décima hoja (V10), en tanto que para la dosis de nitrógeno la significancia se presentó a partir de la octava hoja (V8).

Cuadro 24. Análisis combinado de varianza para los valores SPAD en distintos estados de desarrollo vegetativos.

Fuente	SPAD V4	SPAD V6	SPAD V8	SPAD V10	SPAD V12
Híbrido	***	**	***	*	ns
Nitrógeno	ns	ns	**	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns

*: p<0,05; **: p<0,01; ***p ≤0,001; ns: no significativo

El híbrido que presentó mayores valores SPAD entre los estados de desarrollo V4 y V8 fue NK703 (Cuadro 25.), en tanto que en V10 Maipo fue el híbrido sobresaliente. Cabe destacar que al estado de V12 no existieron diferencias entre los híbridos.

Cuadro 25. Valores SPAD en estados vegetativos desde V4 a V12 para los tres híbridos.

Híbrido	V4	V6	V8	V10	V12
Maipo	39,4 b	50,1 b	48,9 c	53,3 a	54,9 a
DK619	39,2 b	50,4 b	50,6 b	51,5 b	55,1 a
NK703	42,0 a	51,6 a	52,6 a	52,2 b	55,6 a
CV (%)	4,5	2,7	4,6	4,0	4,3

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

A diferencia de lo observado entre los híbridos, cuyo valor SPAD fue reduciendo su variación a medida que la planta avanzaba en los estados de desarrollo vegetativo; en el caso de los tratamientos que contemplaron distintas dosis de nitrógeno, se observó que a partir de V8, las plantas mostraron clara diferencia en su valor SPAD entre las dosis menores (0 y 100 kg N ha⁻¹) y las dosis mayores o iguales a 200 kg N ha⁻¹ (Cuadro 26.). La diferencia entre ambos grupos de tratamiento fueron de 51,8 unidades SPAD (de 200 a 600 kg N ha⁻¹) y 47,9 unidades SPAD (0 y 100 kg N ha⁻¹).

Cuadro 26. Valores SPAD en estados de desarrollo vegetativo con distintas dosis de nitrógeno aplicadas

Nitrógeno Aplicado (kg Nha ⁻¹)	V4	V6	V8	V10	V12
0	40,7 a	51,0 a	47,4 b	45,6 b	45,1 c
100	40,2 a	49,3 a	48,3 b	52,9 a	53,7 b
200	39,6 a	50,6 a	52,5 a	53,6 a	57,3 a
300	40,9 a	51,4 a	50,8 a	53,1 a	57,6 a
400	39,7 a	50,4 a	51,5 a	53,3 a	56,3 a
500	39,7 a	51,5 a	52,4 a	54,4 a	57,6 a
600	40,6 a	51,4 a	51,7 a	53,4 a	58,7 a
CV (%)	4,5	2,7	4,6	3,9	4,3

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Para los estados de desarrollo más avanzados, entre inicios de floración (R1) y grano lechoso (R3), el análisis combinado de varianza (Cuadro 27.) no detectó interacción híbrido*nitrógeno en los estados de desarrollo antes mencionados. A nivel de híbrido, se observó efectos significativos a partir de R2; en tanto que el factor nitrógeno, tuvo un efecto significativo en los tres estados de desarrollo.

Cuadro 27. Análisis combinado de varianza para los valores SPAD en distintos estados de desarrollo reproductivos.

Fuente	SPAD R1	SPAD R2	SPAD R3
Híbrido	ns	*	**
Nitrógeno	***	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo

Maipo y NK 703 fueron los híbridos que presentaron mayores valores SPAD en R1, mientras que en los estados de desarrollo siguientes (R2 y R3) el que tuvo mayores valores fue DK619 (Cuadro 28.).

Cuadro 28. Valores SPAD en estados de desarrollo reproductivos para los distintos híbridos.

Híbrido	R1	R2	R3
Maipo	56,2 a	53,8 b	52,4 b
DK619	54,7 b	55,7 a	53,4 a
NK703	56,1 a	54,3 b	51,4 b
CV (%)	4,6	3,9	4,0

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto al factor nitrógeno, en el Cuadro 29. se observa que el tratamiento con 0 kg N ha⁻¹ tuvo los valores SPAD más bajos en todos los estados de desarrollo, en tanto que al aumentar la dosis de nitrógeno aplicada aumentó también el valor SPAD. A partir de los 400 kg N ha⁻¹ en R1 no hubo diferencias significativas en el valor SPAD, alcanzando en promedio 59,7 unidades.

Cuadro 29. Valores SPAD en estados de desarrollo reproductivos con distintas dosis de nitrógeno aplicadas

Nitrógeno Aplicado (kg N ha ⁻¹)	R1	R2	R3
0	43,3 d	41,4 e	37,9 d
100	53,1 c	52,3 d	47,0 c
200	56,3 b	55,8 c	53,6 b
300	57,5 b	56,0 c	54,0 b
400	59,4 a	57,6 b	55,1 b
500	59,7 a	58,3 b	58,5 a
600	60,1 a	60,7 a	60,1 a
CV (%)	4,6	3,9	4,0

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Índice de Suficiencia de Nitrógeno (ISN)

Al realizar un análisis combinado de varianza para el ISN en los estados de desarrollo vegetativo se observó que no hubo interacción híbrido*nitrógeno (Cuadro 30.), tampoco existió efecto del híbrido en el valor de ISN, en tanto que para nitrógeno el efecto fue significativo a partir de V8.

Cuadro 30. Análisis combinado de varianza para el ISN en los distintos estados de desarrollo vegetativos.

Fuente	ISN V4	ISN V6	ISN V8	ISN V10	ISN V12
Híbrido	ns	ns	ns	ns	ns
Nitrógeno	ns	ns	***	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns

***p $\leq 0,001$; ns: no significativo

Pese a no existir diferencias entre los híbridos, en el Cuadro 31. se señalan las medias por híbrido para el ISN en los distintos estados de desarrollo vegetativo. En los estados de desarrollo V4 y V6 se observó que el índice de suficiencia fue 1,0, mientras que a partir de V8 este valor tiende a disminuir, tomando valores de 0,98, 0,99 y 0,94 para V8, V10 y V12, respectivamente.

Cuadro 31. ISN en los distintos estados vegetativos para los 3 híbridos.

Híbrido	V4	V6	V8	V10	V12
Maipo	1,00 a	1,00 a	0,98 a	1,00 a	0,93 a
DK619	1,00 a	0,99 a	0,98 a	0,98 a	0,94 a
NK703	1,00 a	1,00 a	0,98 a	0,98 a	0,95 a
CV (%)	5,0	3,0	4,0	4,0	6,4

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto al factor nitrógeno en el Cuadro 32. se presentan las medias del ISN en los estados de desarrollo vegetativo con distintas dosis de nitrógeno aplicadas. En los estados de desarrollo V4 y V6 no se observó diferencias significativas alcanzando valores promedio de 1,0 para ambos estados. A partir de V8 las diferencias significativas se encontraron entre los tratamientos con dosis iguales o inferiores a 100 kg N ha⁻¹, alcanzando estos, valores de 0,92 en promedio versus el valor de 1,0 para el resto de los tratamientos, situación que se repite para V10 y V12. Cabe destacar que los valores del ISN tendieron a disminuir a medida que avanzó el estado de desarrollo de las plantas.

Cuadro 32. ISN en estados de desarrollo vegetativo con distintas dosis de nitrógeno aplicadas

Nitrógeno Aplicado (kg N ha ⁻¹)	V4	V6	V8	V10	V12
0	1,01 a	1,00 a	0,91 b	0,86 b	0,77 c
100	1,00 a	0,96 a	0,93 b	1,00 a	0,92 b
200	0,99 a	0,99 a	1,01 a	1,01 a	0,98 a
300	1,02 a	1,01 a	0,98 a	1,00 a	0,98 a
400	0,99 a	0,99 a	0,99 a	1,00 a	0,96 a
500	0,99 a	1,01 a	1,01 a	1,02 a	0,98 a
600	1,01 a	1,01 a	1,00 a	1,01 a	1,00 a
CV (%)	5,0	3,0	4,0	4,0	6,4

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Para los estados de desarrollo reproductivo el análisis combinado de varianza (Cuadro 33.) muestra que no hubo interacción híbrido *nitrógeno en ninguno de los estados de desarrollo. Solo hubo efecto del factor híbrido en grano lechoso (R3), en tanto que para el factor nitrógeno existió efecto significativo en los tres estados de desarrollo.

Cuadro 33. Análisis combinado de varianza para el ISN en distintos estados de desarrollo reproductivo.

Fuente	ISN R1	ISN R2	ISN R3
Híbrido	ns	ns	***
Nitrógeno	***	***	***
Híbrido*Nitrógeno	ns	ns	ns

*** $p \leq 0,001$; ns: no significativo

En los estados de desarrollo R1 y R2 no hubo diferencias en los valores de ISN para los híbridos, obteniéndose un valor de 0,93 y 0,9, respectivamente. En R3 el híbrido que presentó un menor valor de ISN fue Maipo con 0,85, mientras que no hubo diferencias entre DK619 y NK703 (Cuadro 34.).

Cuadro 34. Valores ISN en estados de desarrollo reproductivos para los distintos híbridos.

Híbrido	R1	R2	R3
Maipo	0,93 a	0,90 a	0,85 b
DK619	0,93 a	0,90 a	0,89 a
NK703	0,93 a	0,90 a	0,88 a
CV (%)	5,4	6,7	4,6

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

En el Cuadro 35. se observó que los tratamientos asociados a 0 kg N ha^{-1} originaron los valores de ISN más bajos en todos los estados de desarrollo, en tanto que al ir aumentando la dosis de nitrógeno aplicada el ISN también aumentó. A partir de los 400 kg N ha^{-1} en R1 no hubo diferencias significativas en el valor de ISN alcanzando el valor de 1,00. En R2 se hacen más notorias las diferencias entre las dosis de nitrógeno aplicado disminuyendo a 0,68 el ISN para tratamientos asociados a 0 kg N ha^{-1} , aplicaciones desde los 100 hasta 500 kg N ha^{-1} continúan disminuyendo su valor respecto de R1. Al avanzar el estado de desarrollo a R3, los valores de ISN continúan la tendencia observada en el estado de desarrollo anterior.

Cuadro 35. Valores ISN en estados de desarrollo reproductivos con distintas dosis de nitrógeno aplicadas

Nitrógeno Aplicado (kg N ha^{-1})	R1	R2	R3
0	0,72 d	0,68 e	0,63 d
100	0,88 c	0,86 d	0,78 c
200	0,94 b	0,92 c	0,89 b
300	0,96 b	0,92 c	0,91 b
400	0,99 a	0,95 b	0,92 b
500	0,99 a	0,96 b	0,97 a
600	1,00 a	1,00 a	1,00 a
CV (%)	5,4	6,7	4,6

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test DGC ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Relación entre el rendimiento y valores SPAD

Al analizar los coeficientes de determinación de las regresiones entre medición SPAD y rendimiento por híbrido en todos los estados de desarrollo, se observó que a partir de V8 las regresiones comienzan a ser significativas (Figura 3.).

En la Figura 4. se muestra la regresión entre las unidades SPAD, en diferentes estados de desarrollo, y el rendimiento de los híbridos. En el estado de octava hoja (Figura 4.a), pese a que no hay diferencias en el comportamiento de los tres híbridos, pues tanto las pendientes como el intercepto se igualan al 95% de confianza (ver Apéndice 7.3), al separar las ecuaciones de regresión se logra apreciar mejor el efecto del híbrido en el rendimiento para los distintas unidades SPAD. Las regresiones presentaron un alto nivel de significancia para cada uno de los híbridos ($p \leq 0,01$) y el coeficiente de determinación fue de 0,889 en promedio. En cuanto a las unidades SPAD los híbridos presentaron, para un mismo nivel de rendimiento, diferencias en estos valores. A partir de las 49,1, 50,6 y 52,2 unidades SPAD para Maipo, DK619 y NK703, respectivamente, no se observaron aumentos significativos en el rendimiento. Al avanzar en el estado de desarrollo, llegando a décima hoja (V10; Figura 4.b), los resultados mostraron que no hubo diferencias en el comportamiento de los tres híbridos respecto a la relación entre las unidades SPAD y el rendimiento, por lo que se realizó una sola regresión (ver

Apéndice 7.4. a 7.8). La regresión tuvo un alto nivel de significancia, aunque su coeficiente de determinación fue más bajo que el estado de desarrollo anterior, teniendo un valor de 0,58. A partir de las 52,3 unidades SPAD no se observó aumentos en el rendimiento (Cuadro 10.), con la excepción de aplicaciones de 100 Kg N ha⁻¹ que logran valores similares de unidades SPAD, pero con menores rendimientos (14.300 kg ha⁻¹). Esto indica que con esa dosis aun el SPAD no es capaz de detectar la deficiencia. Mientras que en duodécima hoja (V12) la regresión entre las unidades SPAD en este estado de desarrollo y el rendimiento (Figura 4.c) tuvo un coeficiente de determinación alto y significativo. A las 56 unidades SPAD ya no se produjeron aumentos significativos para ninguno de los híbridos (Cuadro 10.). Valores de 45 y 54 unidades SPAD reflejaron pérdidas de rendimiento de un 36% y 29%, respectivamente. Al analizar la regresión entre las unidades SPAD en floración (R1) y el rendimiento (Figura 4.d) esta fue estadísticamente significativa y con un alto coeficiente de determinación ($R^2= 0,86$), observándose que a partir de las 55,4 unidades SPAD no se observan aumentos significativos en rendimiento (Cuadro 10.). En grano acuoso (R2) la regresión entre las unidades SPAD en este estado de desarrollo y el rendimiento (Figura 4.e) fue estadísticamente significativa y con un alto coeficiente de determinación ($R^2= 0,83$), en este caso a partir de las 55,3 unidades SPAD ya no hay aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.). En grano lechoso (R3) la regresión entre las unidades SPAD y el rendimiento (Figura 4.f) fue estadísticamente significativa y con un alto coeficiente de determinación ($R^2= 0,89$) y a partir de las 52,2 unidades SPAD ya no hay aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.).

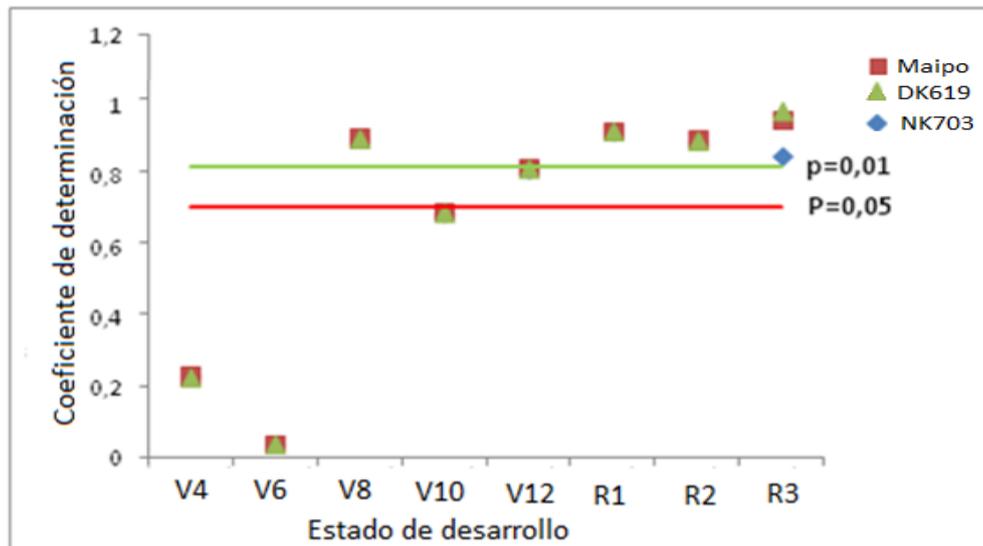


Figura 3. Relación entre los coeficientes de determinación de la regresión entre el rendimiento y los valores SPAD en los distintos estados de desarrollo.

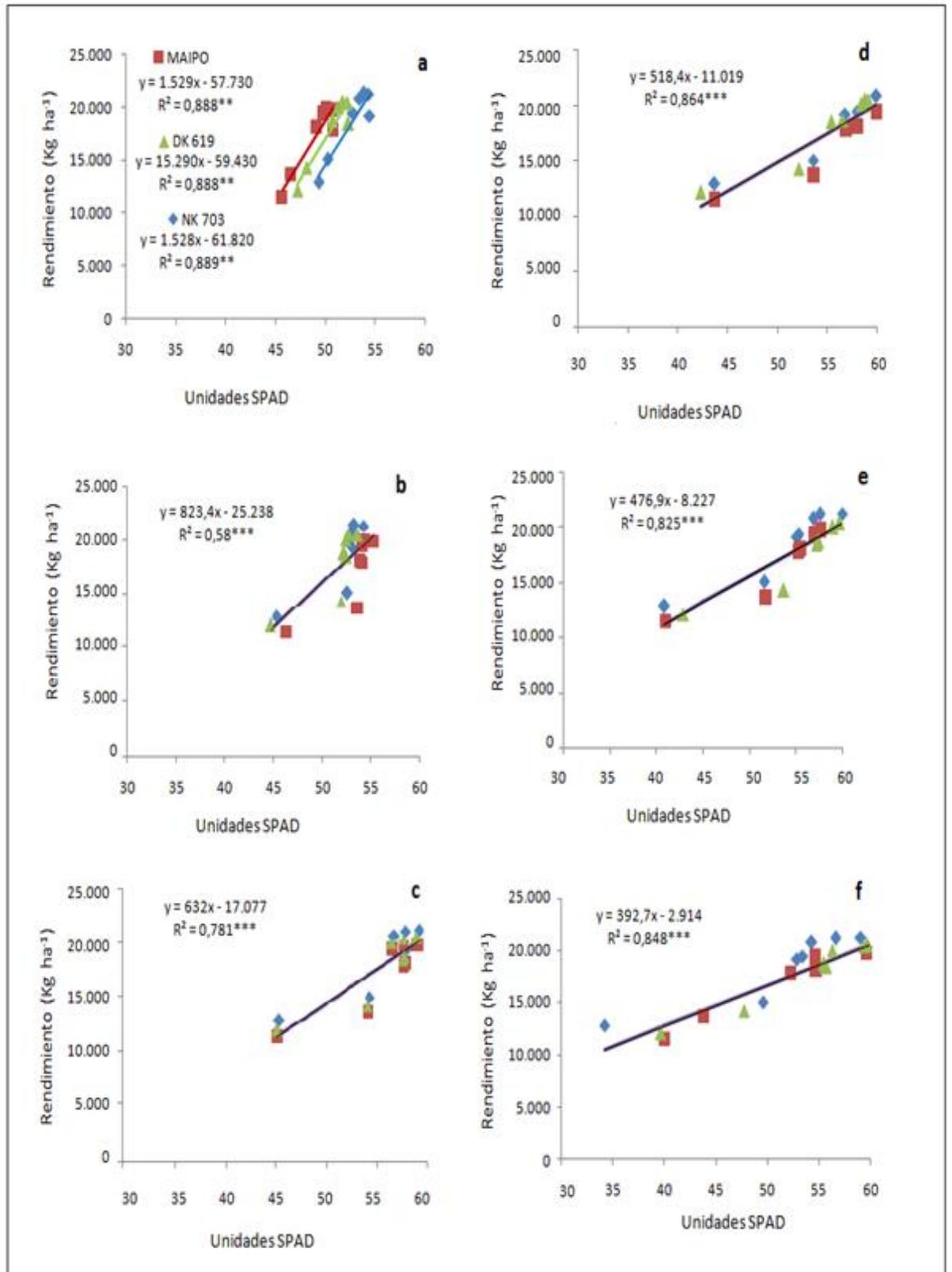


Figura 4. Regresión entre las unidades SPAD al estado de V8 (a), V10 (b), V12 (c), R1 (d), R2 (e), R3 (f) y Rendimiento (kg ha⁻¹).

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$.

Relación entre el rendimiento y el Índice de Suficiencia de Nitrógeno

Al analizar los coeficientes de determinación de las regresiones entre el ISN y rendimiento por híbrido en todos los estados de desarrollo, se observa que a partir de V8 las regresiones comienzan a ser significativas (Figura 5.).

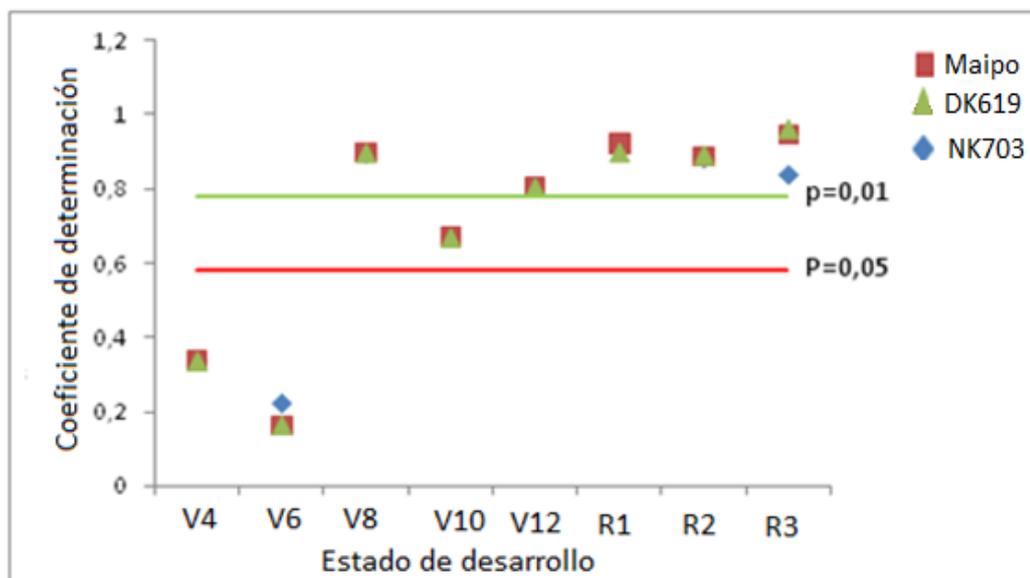


Figura 5. Relación entre los estados de desarrollo y el coeficiente de determinación de la regresión entre el ISN y el rendimiento.

En la Figura 6. se muestran las regresiones entre el ISN en los distintos estados de desarrollo (V8, V10, V12, R1, R2 y R3). Los resultados indican que no hubo diferencias en el comportamiento de los tres híbridos, por ello se presenta una sola regresión para cada uno de los estados (Apéndice 8.). En octava hoja (V8) la regresión entre el ISN y el rendimiento (Figura 6.a) fue estadísticamente significativa con un alto coeficiente de determinación ($R^2=0,87$), valores de ISN por sobre 0,98 en este estado de desarrollo no presentan aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.). Valores de ISN de 0,93 y 0,91 presentaron disminuciones significativas en el rendimiento entre un 25 a un 36%, respectivamente. Al avanzar el estado de desarrollo, llegando a décima hoja (V10; Figura 6.b), la regresión continuó siendo significativa pero con un coeficiente de determinación menor que el estado de desarrollo anterior ($R^2=0,58$). En este estado solo se diferenciaron los tratamientos sin aplicación de nitrógeno de los con aplicación de nitrógeno y es por ello que valores de ISN iguales o superiores a 0,99 no tuvieron aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.), los valores de ISN más bajos de 0,86 corresponderían a parcelas sin fertilización nitrogenada. Continuando con el avance de los estados de desarrollo, la regresión entre el ISN y el rendimiento (Figura 6.c, d, e, f) continuó siendo estadísticamente significativa y mejorando su coeficiente de determinación. Así en V12 este fue de $R^2=0,78$ y en este estado a partir de valores de 0,96 en el ISN no se observaron aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.; Figura 6.c). En floración (R1) se mejora sustancialmente el coeficiente de determinación ($R^2=0,88$), observándose que valores mayores o iguales a 0,99 de ISN no se producen aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.; Figura 6.d). En

el estado de llenado de grano el coeficiente de determinación sigue siendo alto ($R^2=0,86$), mientras que el valor de ISN, a partir del cual ya no se produjeron aumentos en el rendimiento fue de 0,92 (Cuadro 10.; Figura 6.e). Al estado de grano lechoso (R3) el ajuste continua siendo alto ($R^2=0,89$) y valores de ISN por sobre 0,89 no produjeron aumentos significativos en el rendimiento (Cuadro 10.; Figura 6.f).

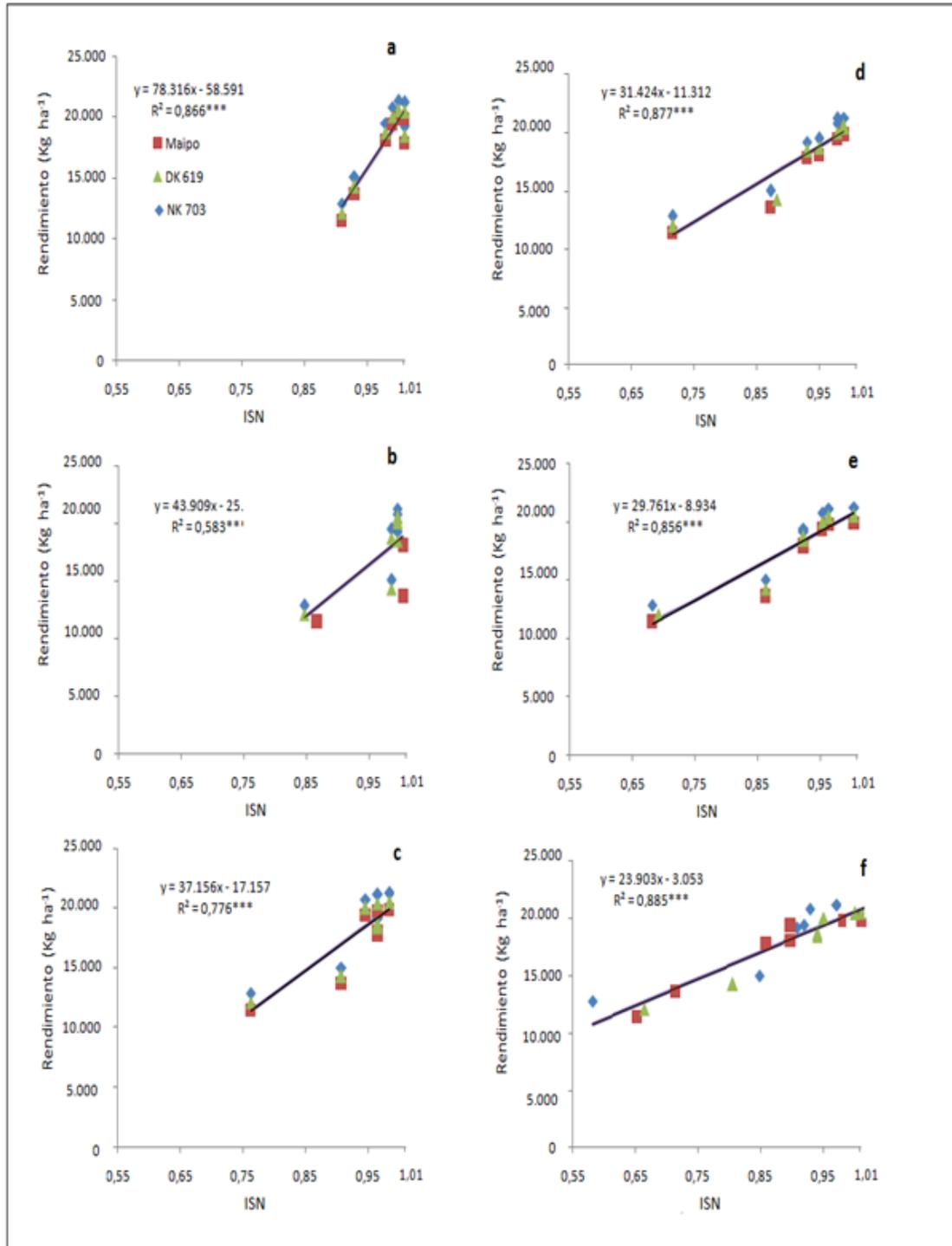


Figura 6. II. Regresión entre el ISN al estado de V8 (a), V10 (b), V12 (c), R1 (d), R2 (e), R3 (f) y Rendimiento (kg ha⁻¹).

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$.

7.12. Mediciones de color

En todos los estados de desarrollo los híbridos presentaron un matiz de 5GY (verde amarillo). El “croma” tuvo un mayor rango de variación que el valor con respecto a la dosis de nitrógeno. El rango de “valor/croma” fluctuó entre 4/8 hasta 4/4 en los estados de desarrollo vegetativos (Cuadro 36.), mientras que en los estados reproductivos varió desde 5/10 hasta 4/4 (Cuadro 37.).

El “valor” es la intensidad de luminosidad del color, midiéndose en la cantidad de luz que refleja una superficie. Este tomó el valor de 4 para los tres híbridos, en los estados de desarrollo vegetativos, con excepción de DK619 sin fertilización nitrogenada al estado de V12, el cual tuvo un valor mayor de 5 (Cuadro 36.). Este aumento en el “valor” significa que aumentó la luz que se refleja en la hoja y por tanto se ve más blanca. Mientras que en los estados de desarrollo reproductivos, con dosis iguales o superiores a 100 N ha⁻¹ no se observaron diferencias en el “valor” manteniéndose en 4 (Cuadro 37.).

El “croma”, por su parte, refleja la pureza de un color. Un “croma” mayor indica que las longitudes de onda se mezclan logrando una mayor saturación y con ello, en este caso, colores más amarillos. En este experimento el “croma” varió según el estado de desarrollo y el nivel de fertilizante aplicado, es así como al estado de sexta hoja (V6), el híbrido Maipo tuvo un “croma” de 6, excepto en los tratamientos de 500 y 600 kilos N ha⁻¹; DK619 tuvo un “croma” de 8 en tratamientos con 0 y 100 kilos N ha⁻¹, luego cambió a 6 con dosis mayores; mientras que NK703 presentó un “croma” de 8, hasta las 300 kilos N ha⁻¹, luego cambió a 6 con dosis de nitrógeno de 400 y 500 kilos ha⁻¹. En V8 los tres híbridos presentaron un croma de 8 en los tratamientos sin aplicación de nitrógeno y con dosis de 100 kilos N ha⁻¹; NK703 mantuvo este valor hasta 200 kilos N ha⁻¹, mientras que DK619 y Maipo disminuyeron el croma a 6. Aplicaciones de 600 kilos N ha⁻¹ alcanzaron valores de 4 para todos los híbridos. En general estos valores se mantuvieron en los siguientes estados de desarrollo vegetativos, observándose claramente una respuesta a la fertilización nitrogenada, logrando “croma” menos saturados, lo que se traduce en colores más verdes (ver anexo).

En el cuadro 37. se muestra el porcentaje de color dominante para los estados reproductivos, observándose que en los tratamientos sin aplicación de nitrógeno los rangos de “croma” fueron de 10, siendo por tanto más saturados que tratamientos con la aplicación de nitrógeno que alcanzaron un croma de 8, mientras que tratamientos sobre 200 kilos N ha⁻¹ tuvieron valores entre 6 y 4 dependiendo del híbrido y la dosis de nitrógeno aplicada. Esta disminución en este valor estaría indicando una menor saturación, y por tanto una mayor pureza y un color más verde en respuesta a la fertilización nitrogenada (ver anexo).

Cuadro 36. Porcentaje de color dominante en estados vegetativos

Nitrógeno (Kg ha ⁻¹)	Híbrido	Color V6	Color V8	Color V10	Color V12
0	Maipo	78% 4/6	60% 4/8	57% 4/8	53% 4/8
0	DK619	53% 4/8	83% 4/8	86% 4/8	53% 5/8
0	NK703	55% 4/8	75% 4/8	68% 4/8	53% 4/8
100	Maipo	60% 4/6	78% 4/8	73% 4/6	55% 4/6
100	DK619	93% 4/8	73% 4/8	55% 4/8	53% 4/6
100	NK703	55% 4/8	80% 4/8	73% 4/6	53% 4/6
200	Maipo	68% 4/6	58% 4/6	58% 4/6	70% 4/6
200	DK619	58% 4/6	58% 4/6	78% 4/6	68% 4/6
200	NK703	73% 4/8	60% 4/8	73% 4/6	70% 4/6
300	Maipo	67% 4/6	75% 4/6	58% 4/6	55% 4/6
300	DK619	85% 4/6	83% 4/6	85% 4/6	65% 4/4
300	NK703	80% 4/8	55% 4/6	78% 4/6	53% 4/4
400	Maipo	53% 4/6	65% 4/6	58% 4/4	83% 4/4
400	DK619	53% 4/6	70% 4/6	53% 4/6	68% 4/4
400	NK703	58% 4/6	53% 4/6	73% 4/6	63% 4/4
500	Maipo	53% 4/4	58% 4/4	63% 4/4	83% 4/4
500	DK619	85% 4/6	53% 4/6	55% 4/6	88% 4/4
500	NK703	83% 4/6	70% 4/6	70% 4/6	68% 4/4
600	Maipo	68% 4/4	60% 4/4	58% 4/4	55% 4/4
600	DK619	75% 4/6	53% 4/4	53% 4/4	53% 4/4
600	NK703	55% 4/8	63% 4/4	68% 4/4	68% 4/4

%= porcentaje dominante del color por parcela. a/b= Valor/Croma. El valor corresponde a la luminosidad del grano y varía de 0 (negro) a 10 (blanco). El croma es la pureza del color, un mayor valor indica una mayor saturación colores más amarillos.

Con la finalidad de asociar el color de hoja con los valores SPAD, el ISN y el rendimiento se realizó un análisis de correspondencia múltiple. Este análisis es de tipo cualitativo y para ello consideró una categorización de los parámetros de rendimiento, SPAD, ISN y croma (Cuadro 2.) asociando cada una de estas variables en los estados V8 y R1 (Figura 7.).

Los resultados del análisis de correspondencia múltiple (Figura 7.) mostraron que hubo una asociación entre colores más verdes asociados a una menor saturación y una mayor pureza (croma=4) en V8 y R1, con valores SPAD (56-60) e ISN (0,98-1,0) muy altos en R1 y rendimientos muy altos (>20.000 kg ha⁻¹). Mientras que saturaciones moderadas (croma= 6) que indicarían un color verde menos intenso más amarillo en ambos estados de desarrollo se asociaron rendimientos altos (17.000- 20.000 kg ha⁻¹), valores SPAD medios en V8 y altos para R1. Saturaciones altas con hojas más bien amarillas (croma= 10) fueron asociados a rendimientos bajos (10.000- 14.000 kg ha⁻¹) valores SPAD bajos (45-50) y valores ISN muy bajos (< 0,9) para ambos estados de desarrollo.

Cuadro 37. Porcentaje de color dominante en estados reproductivo.

Nitrógeno (Kg ha ⁻¹)	Híbrido	Color R1	Color R2	Color R3
0	Maipo	53% 5/10	80% 4/8	58% 5/10
0	DK619	70% 4/8	53% 5/8	70% 5/10
0	NK703	53% 5/10	53% 5/10	70% 5/10
100	Maipo	63% 4/8	60% 4/8	53% 4/8
100	DK619	63% 4/6	55% 4/6	53% 4/8
100	NK703	65% 4/8	55% 4/8	85% 4/8
200	Maipo	68% 4/6	70% 4/6	70% 4/6
200	DK619	58% 4/4	75% 4/6	53% 4/6
200	NK703	60% 4/6	65% 4/6	75% 4/6
300	Maipo	68% 4/6	68% 4/6	73% 4/6
300	DK619	65% 4/6	68% 4/6	53% 4/6
300	NK703	60% 4/6	73% 4/6	55% 4/8
400	Maipo	53% 4/6	80% 4/6	53% 4/4
400	DK619	55% 4/4	53% 4/6	53% 4/4
400	NK703	85% 4/6	58% 4/4	55% 4/6
500	Maipo	58% 4/4	63% 4/4	95% 4/4
500	DK619	65% 4/4	63% 4/6	70% 4/4
500	NK703	63% 4/4	53% 4/4	60% 4/6
600	Maipo	75% 4/4	83% 4/4	55% 4/4
600	DK619	80% 4/4	70% 4/4	65% 4/4
600	NK703	73% 4/4	70% 4/4	65% 4/6

%= porcentaje dominante del color por parcela. a/b= Valor/Croma. El valor corresponde a la luminosidad del grano y varía de 0 (negro) a 10 (blanco). El croma es la pureza del color, un mayor valor indica una mayor saturación, colores más amarillos.

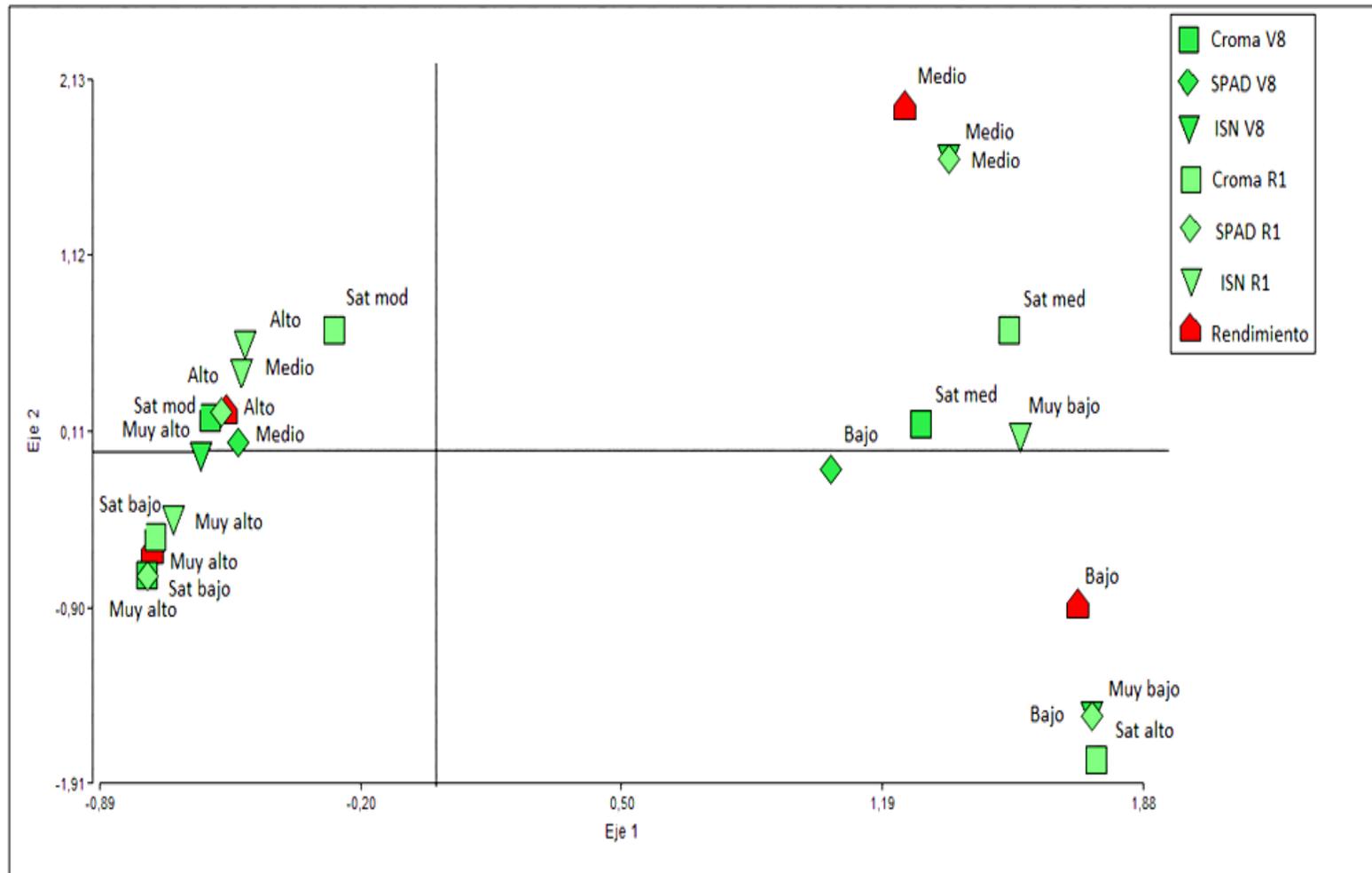


Figura 7. Análisis de correspondencia múltiple considerando rendimiento, SPAD, ISN y el croma del color de la hoja en los estados V8 y R1. Separación de puntos con respecto al centro 0,0 del gráfico. Puntos cercanos entre sí representan asociación entre las variables.

DISCUSIÓN

Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento

La dosis de nitrógeno aplicada influye directamente en la biomasa, el rendimiento y sus componentes (Akmal *et al.*, 2010) y aplicaciones de este elemento mejoran su disponibilidad en la planta (Boomsma y Vyn, 2007). En este sentido y tal como se observa en el Cuadro 10., dosis de nitrógeno inferiores a 200 kg N ha⁻¹ disminuyeron la biomasa en un 27% respecto de los tratamientos con mayores dosis. Esta disminución se debe principalmente a que deficiencias de este elemento causan una disminución en el área foliar (Akmal *et al.*, 2010) acelerando la senescencia foliar y reduciendo el periodo en que el que la planta realiza fotosíntesis (Masclaux-Daubresse *et al.*, 2010); es así, como tratamientos con bajos niveles de nitrógeno perdieron entre 4 a 5 hojas bajo la mazorca, respecto a aquellos con dosis más altas, los que a su vez lograron máximos rendimientos (Cuadros 7. y 10.). Este hecho obedece principalmente a que existe una estrecha relación entre la duración de una hoja, el contenido de clorofila, la capacidad fotosintética y el nitrógeno presente en ella (Workuet *et al.*, 2012). Por ello, el contenido de nitrógeno presente en el tejido de la planta en madurez fisiológica también disminuyó de 0,98% a 0,71% para dosis iguales o inferiores a 200 Kg N ha⁻¹ (Cuadro 20.).

La biomasa del cultivo se transforma en rendimiento a través del índice de cosecha (Ciampitti y Vyn, 2012), el cual disminuye frente a una deficiencia de nitrógeno en la planta (Kandil, 2013), tal como se muestra en el Cuadro 10., en donde dosis iguales o inferiores a 200 Kg N ha⁻¹ en promedio presentaron valores de índice de cosecha de 62%, mientras que dosis superiores alcanzaron valores promedio de 67%; aumentos similares fueron logrados por Akmal *et al.* (2010) y Hammad *et al.* (2011). El índice de cosecha de nitrógeno (ICN) tuvo un comportamiento similar al índice de cosecha, observándose que en parcelas sin fertilización de nitrógeno este fue de 66,8% ascendiendo a 74,6% cuando el nivel de nitrógeno fue igual o superior a 200 kg N ha⁻¹ (Cuadro 23.). Este comportamiento provocó que finalmente el rendimiento de los híbridos disminuyera en un 32,8% cuando la dosis de nitrógeno fue inferior a 200 kg N ha⁻¹ (Cuadro 10.). Según Akmal *et al.* (2010), Hammad *et al.* (2011) y Hokmalipour (2011), este menor rendimiento está asociado a un menor peso de los granos y a un menor número de granos por m² frente a déficit de nitrógeno, tal cual se presentó en el presente estudio donde se observó una disminución de un 12,8% en el peso de los mil granos en estos tratamientos y un 22,5% en el número de granos m⁻² (Cuadro 10.). Este resultado podría estar relacionado a que dosis menores a las requeridas para el cultivo disminuyen el número de hojas y la clorofila presente en estas lo que se traduce en una menor cantidad de asimilados producto de una disminución de la fotosíntesis, que durante la senescencia son removilizados a los granos disminuyendo con ello su peso (Escobar y Combe, 2012). Por su parte, la disminución en el número de granos por metro cuadrado se debió principalmente a un menor número de granos por mazorca (Cuadro 13.), asociado este factor a un menor diámetro, longitud y una mayor porción apical sin granos (Cuadro 16.), lo que finalmente se traduce en un número menor de granos por hilera de mazorca (Cuadro 13.). Estos resultados concuerdan con los

obtenidos por Akmal *et al.* (2010) quienes señalan reducciones del orden de 30,5% en el número de granos por mazorca; así también Hokmalipour (2011), indican disminuciones de hasta 7 granos por hilera en la mazorca.

Tal como era de esperar el rendimiento aumentó con la dosis de nitrógeno hasta llegar a un plató, así el rendimiento en grano no aumentó a partir de los 200 kg N ha⁻¹ con un valor promedio de 19.600 kg ha⁻¹ (Cuadro 10.), que es muy inferior a las dosis usadas por la mayoría de los agricultores chilenos (ODEPA, 2012). Sin embargo, el contenido de nitrógeno presente en el grano aumentó de 0,84% a 1,13% con dosis superiores a la dosis señalada anteriormente (Cuadro 19.). Este hecho estaría asociado a que el contenido de nitrógeno presente en el suelo está directamente relacionado con el contenido de nitrógeno presente en las hojas, el cual es removilizado hacia los granos y transformado a proteína (Hammad *et al.*, 2011). Sin embargo dosis superiores a las necesidades del cultivo tienden a disminuir la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) (Berenguer *et al.*, 2009), tal como se muestra en el Cuadro 23., donde la mayor EUN fue alcanzada con dosis entre 200 y 300 kg N ha⁻¹.

Híbridos

Los híbridos presentaron características similares en cuanto a la biomasa total y el rendimiento, produciendo en promedio 27.410 Kg ha⁻¹ y 17.822 Kg ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 9.). Estos altos valores se pueden explicar porque en Chile a diferencia de los grandes países productores de maíz, el cultivo crece bajo condición de clima mediterráneo y por lo tanto bajo riego, utilizando híbridos de alto potencial de rendimiento y de ciclo largo (Meza *et al.*, 2008). Similares resultados fueron obtenidos por Berenguer *et al.* (2009) en híbridos de maíz bajo riego en un clima mediterráneo, señalando valores de 29.600 Kg ha⁻¹ y 13.600 Kg ha⁻¹ para producción de biomasa y rendimiento, respectivamente. Estos valores son escasos en la literatura ya que la mayoría de los estudios señalan valores en estos parámetros inferiores, que pueden alcanzar tan solo el 25% del obtenido en Chile, lo cual obedece principalmente a uso de híbridos estables, establecidos bajo condiciones de secano (Akmal *et al.*, 2010; Amanullah *et al.*, 2009; Ciampitti y Vyn, 2012; Hammad *et al.*, 2011).

Dentro de los componentes del rendimiento el peso de los mil granos fue similar en todos los híbridos evaluados teniendo un valor promedio de 296,8 g (Cuadro 9.), lo que concuerda con estudios realizados por Ciampitti y Vyn (2012), quienes señalan valores promedio de 272 g para 194 genotipos. Distinto es el caso del número de granos por metro cuadrado, el cual fue mayor en Maipo y DK619 sin diferencias significativas entre ellos, con un promedio de 6.039 granos m⁻², mientras que en NK703 el valor fue de tan solo 5.487 granos m⁻² (Cuadro 9.). La diferencia en este parámetro estaría dada por el número de granos por mazorca, puesto que Maipo y DK619 presentaron 568 granos a diferencia de NK703 que solo presentó 516 (Cuadro 12.), caracterizándose además Maipo por producir mazorcas más largas, en tanto que DK619 presentó un mayor número de hileras (Cuadro 12. y Cuadro 15.), Características similares en la variabilidad entre los híbridos, en el número de granos por mazorcas debido a

diferencias en las hileras y los granos por hilera han sido reportados en otros estudios (El y Salem, 2010; Hokmalipour, 2011; Ciampitti y Vyn, 2012).

Los híbridos presentaron diferencias en el contenido de nitrógeno en el grano a madurez fisiológica (Cuadro 18. y Cuadro 20.) siendo Maipo el que tuvo un mayor valor con 1,1%, mientras que DK619 y NK703 alcanzaron en promedio 0,98%. Este resultado concuerda con lo indicado por D'andrea *et al.* (2008), quienes señalan que el contenido de nitrógeno que presentan los híbridos, varía en función del genotipo, como también de las prácticas de manejo asociadas al cultivo (Rathke *et al.*, 2006). Resultados similares fueron encontrados por Ciampitti y Vyn (2012) con contenidos de nitrógeno en el grano cercanos a 1,2%. Cabe destacar que en los últimos años se ha intentado disminuir este valor del tal manera de producir el máximo de rendimiento con una menor cantidad de proteína en el grano (Ciampitti y Vyn, 2012). Estas diferencias podrían explicar las distintas eficiencias del uso de nitrógeno (EUN), siendo DK619 el más eficiente con 27,8 Kg de grano por Kg N aplicado (Cuadro 22.). Valores promedio similares señalan Ciampitti y Vyn (2012) con 27 kg de grano por kg de nitrógeno aplicado. Estudios señalan haber encontrado diferencias en la EUN para distintas variedades de maíz, ya sea en la absorción de nitrógeno desde el suelo, su asimilación por la planta o su removilización al grano (Kumar *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2013). La explicación de ello podría estar relacionada a que se han identificado regiones genéticas en los híbridos de maíz que generan variabilidad en los aspectos antes mencionados (Coque y Gallais, 2006). Por su parte los híbridos que absorbieron una mayor cantidad de nitrógeno desde el suelo fueron Maipo y DK619 con 41.7% (Cuadro 22.), lo que podría ser atribuido a un componente genético, asociado a una mayor acumulación de biomasa radical generándose esta diferencia en la absorción del nitrógeno (Abdal *et al.*, 2013). Sin embargo, NK703 y DK619 fueron los más eficientes para convertir el nitrógeno absorbido a grano alcanzando una eficiencia fisiológica de 68,2 Kg de grano por Kg N absorbido (Cuadro 22.), valores que fueron algo superiores a lo señalado por Ciampitti y Vyn (2012) con 56 kg de grano kg N absorbido⁻¹. Estas diferencias podrían también ser explicadas a partir del complejo enzimático que participa en la asimilación de nitrógeno. Es así como se ha observado que la glutamina sintetasa varía en función del híbrido, existiendo además una correlación positiva entre esta enzima, el contenido de nitrato y el rendimiento. Por otro lado enzima nitrato reductasa presenta una correlación negativa con el contenido de nitrato y el rendimiento (Hirel *et al.*, 2001).

SPAD e ISN

Los valores SPAD se pueden relacionar directamente con el rendimiento (Figura 4.); sin embargo, tanto la relación como la capacidad predictiva dependen del estado de desarrollo del cultivo. Es por ello que al observar los valores SPAD de los tres híbridos entre los estados de desarrollo V4-R3, estos tendieron a aumentar en el tiempo desde 39 unidades SPAD en V4 hasta 56 unidades SPAD en R1 (Figura 2.). Una misma tendencia fue encontrada por diversos autores aunque con algunas diferencias en los valores que van desde las 30 hasta las 60 unidades SPAD (Argenta *et al.*, 2004;

Boomsma *et al.*, 2009; Pagani *et al.*, 2009; Rostomi *et al.*, 2008; Scharf *et al.*, 2006; Subedi y Ma, 2005).

En estados tempranos de desarrollo (V4-V6) ocurre la mayor tasa diaria de aumento en los valores SPAD, respecto de los otros estados de desarrollo (Figura 2.). Este incremento en el valor SPAD continua hasta alcanzar un máximo en R1 momento a partir del cual se mantiene, y es por ello que la tasa del incremento disminuye. Valores similares fueron obtenidos por Argenta *et al.* (2004) quienes en estos mismos estados de desarrollo (desde V4 hasta R1) obtuvieron valores de 0,48 unidades SPAD por día entre cuarta y sexta hoja y 0,18 unidades SPAD por día entre sexta y décima hoja. Estos rápidos incrementos en los valores SPAD indicarían un rápido aumento de la clorofila y por ende una rápida absorción del nitrógeno (Paliwai *et al.*, 2001). Este hecho podría inducir a errores al momento de estimar rendimiento en estados de desarrollo más tempranos, debido a que buena parte del nitrógeno absorbido está siendo utilizado para producir otras estructuras de la planta además de clorofila (Rostomi *et al.*, 2008). En floración, en tanto, los valores SPAD alcanzan su máximo en 56 unidades SPAD, sin embargo al avanzar el estado de desarrollo ellos tienden a disminuir (Figura 2.), ya que comienza la removilización del nitrógeno hacia el grano (Subedi y Ma, 2005).

Estados de desarrollo temprano (V4-V6) mostraron diferencias significativas en los valores SPAD entre los híbridos (Cuadro 25.). Este hecho podría atribuirse a diferencias en el contenido de clorofila entre ellos (Argenta *et al.*, 2004), tal como se observa en la Figura 1. Sin embargo, al hacer variar la dosis de nitrógeno en estos estados de desarrollo, no se observan diferencias en los valores SPAD (Cuadro 24.), y es por ello que la relación entre el rendimiento y los valores SPAD en estos estados de desarrollo, no fueron significativas (Figura 3.). Esto concuerda con lo obtenido por algunos autores (Argenta *et al.*, 2004; Rostomi *et al.*, 2008, Szélez *et al.*, 2012, Scharf *et al.*, 2006), sugiriendo que en estos estados de desarrollo la planta al estar tan pequeña no requeriría de otros aportes de nitrógeno, siendo suficiente el aporte del suelo (Szélez *et al.*, 2012). A partir de octava hoja (V8) la relación entre los valores SPAD y el rendimiento comienza a ser significativa (Figura 4.a), siendo este resultado de gran importancia desde el punto de vista del manejo del nitrógeno dado que en este estado de desarrollo los agricultores realizan la segunda parcialización del nitrógeno, debido a la alta tasa de demanda de este elemento (Binder *et al.*, 2000); por lo tanto se podrían realizar medidas correctivas en la fertilización nitrogenada. Sin embargo para un rendimiento igual, el valor SPAD varía dependiendo del híbrido (Kandil, 2013), lo cual fue verificado en este estudio puesto que para obtener los máximos rendimientos de 19.661 Kg ha⁻¹ (Cuadro 10.), el valor SPAD para Maipo fue de 48,9 unidades en tanto que el de NK703 fue de 52,6 (Cuadro 25.); atribuyéndose principalmente al distinto contenido de clorofila presente en las hojas (Figura 1.). Diversos autores señalan la significancia de la regresión, así como la variabilidad de los valores SPAD dependiendo del híbrido y la dosis de nitrógeno aplicada (Rostami *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2008; Subedi y Ma, 2005), lo cual complica el uso directo de los valores SPAD como herramienta de diagnóstica en este estado de desarrollo (V8); sin embargo estados de desarrollo avanzados (V10-V12) eliminan las diferencias (Figuras 4.b y 4.c). Este hecho se puede verificar al observar que los coeficientes de determinación aumentan en la medida que avanzan en el desarrollo (Figura 4.). Tal cual lo observaron otros estudios en maíz (Argenta *et al.*, 2004; Rostami *et al.*, 2008; Scharf *et al.*, 2006; Széles *et al.*,

2012; Ziadi *et al.*, 2008). Al estado V10 los rendimientos máximos son alcanzados con valores SPAD de 52,9 (Figura 4.b). En V12 el valor SPAD a partir del cual el rendimiento no aumentó fue de 56,3 (Cuadro 26.; Figura 4.c), similar a lo obtenido por Argenta *et al.* (2004) y algo más alto que lo señalado por Ziadi *et al.*(2008) quienes señalaron un valor de 50 unidades SPAD.

En estados de desarrollo reproductivos los coeficientes de determinación presentaron los más altos valores siendo en floración (R1) donde se llega a un máximo (Figura 4.d), momento en el cual existe una fuerte relación entre las unidades SPAD y el rendimiento (Széles *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2008; Rostami *et al.*, 2008; Scharf *et al.*, 2006). En el presente estudio, con un valor SPAD de 56,3 en este estado de desarrollo (Cuadro 29.), ya no se asocian a aumentos de rendimiento (Cuadro 10.). Otros autores han observado aumentos de rendimiento solo hasta 53 unidades SPAD (Berenguer *et al.*, 2009). En estados de desarrollo posteriores se mantienen altos los coeficientes de determinación (Figura 4.e y 4.f), sin embargo el valor a partir del cual no se producen aumentos del rendimiento disminuye con valor SPAD de 55,8 y 53,6 para R2 y R3, respectivamente (Cuadro 29.), esto se debe a que comienza la removilización del nitrógeno hacia los granos (Escobar y Combe, 2012), factor que depende del híbrido (Mushongi *et al.*, 2013).

La relación entre el ISN para el estado de desarrollo V4 y V6 y el rendimiento no fue significativa (Figura 5.), debido principalmente a que el ISN toma valores cercanos a 1,00 (Cuadro 29.), sugiriendo que no hay deficiencias de clorofila en la hoja y por ende tampoco de nitrógeno (Marek *et al.*, 2009). Este mismo resultado fue observado en las mediciones SPAD en estos estados de desarrollo; sin embargo, el ISN permite eliminar las diferencias entre los híbridos generadas por los valores SPAD (Cuadro 30.). Al estado V8 la regresión entre el ISN y el rendimiento comienza a ser significativa (Figura 5.a), y continua eliminando las diferencias generadas por las mediciones SPAD (Figura 6.a), al igual que lo encontrado por diversos autores (Bausch *et al.*, 2001; Pagani *et al.*, 2009; Varvel *et al.*, 2007). Valores por sobre 0,98 no produjeron aumentos significativos en el rendimiento (Cuadros 10. y 32.). Bausch *et al.* (2001) señalan valores del orden de 0,97 en híbridos comerciales, a partir del cual no se manifestaron deficiencias de nitrógeno ni pérdidas en el rendimiento, sin embargo los autores indican un valor crítico a partir del cual la pérdida en rendimiento comienza a ser significativa es de 0,95 (Raun *et al.*, 2005; Holland y Schepers, 2010; Ziadi *et al.*, 2012). En estados de desarrollo posteriores (V10-V12) la relación continua siendo significativa (Figuras 6.b y 6.c), al igual que lo observado en otros estudios (Rorie *et al.*, 2011; Varvel *et al.*, 2007; Pagani *et al.*, 2009; Bausch *et al.*, 2001). El valor crítico en el presente estudio fue de 0,98 en V12 (Cuadros 10. y 32.); sin embargo, la literatura señala para este estado un valor crítico de 0,95 (Ziadi *et al.*, 2012).

En estados de desarrollo reproductivos las regresiones tienden a mejorar (Figuras 6.d, 6.e y 6.f); así en floración, el valor crítico a partir del cual ya no se producen aumentos significativos en el rendimiento es de 0,94 (Cuadros 10. y 35.). Algo inferior a lo señalado por Solari *et al.* (2010), quienes señala un valor 0,95, mientras que Bausch y Diker (2001) encontraron valores críticos algo más bajos de 0,92 y 0,93 para híbridos comerciales. Para estados de desarrollo posteriores el valor crítico disminuye a 0,92 y 0,85 en R2 y R3, respectivamente (Cuadros 10. y 35.). Estos valores resultan algo más bajos que los señalados por Marek *et al.* (2009), quienes encontraron un valor crítico de

0,89. Esta disminución del ISN se puede explicar producto de la remobilización del nitrógeno hacia los granos (Holland y Schepers, 2010). Binder *et al.* (2000) señalan que con valores de 0,92 en R3 aun hay una respuesta a la fertilización nitrogenada que permite aumentar el rendimiento, sin embargo valores mayores no lo aumentarían.

Este es el primer estudio hecho en Chile, que relaciona el ISN y el rendimiento en maíz de grano, sin embargo se requiere avanzar en este tipo de estudios, de tal manera que se logre obtener un nivel crítico para los distintos estados de desarrollo y determinar en cuál de ellos se logran respuestas en aumentos de rendimiento con aplicación de nitrógeno. Cabe destacar que en la medida que se conozcan estos valores, se ayudará a un uso más eficiente del nitrógeno y lo que es más importante, a una agricultura menos contaminante.

CONCLUSIONES

El ISN no mejora la capacidad predictiva del SPAD para estimar rendimiento en híbridos de maíz de ciclo intermedio cultivados en Chile, por lo tanto se rechaza la hipótesis.

El ISN permite eliminar las diferencias generadas por los híbridos. El cual permitiría fijar un valor único, a partir del cual no hay aumentos significativos en el rendimiento.

En estados de desarrollo temprano (V4-V6) tanto SPAD como ISN, no son capaces de estimar rendimiento.

A partir de V8 tanto los valores SPAD como ISN son capaces de estimar rendimiento. Mejorando la estimación a medida que se avanza hacia los estados reproductivos.

Es factible reducir la dosis de fertilización nitrogenada que aplican los agricultores hasta un 66% (desde 600 kg N ha⁻¹ hasta 200 kg N ha⁻¹), sin afectar el rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel, A., B. Kumar, J. Reyes, P. Gonzalez, C. Jansen, J. San Martin, M. Lee and T. Lübberstedt. 2013. Genotypic variation and relationships between seedling and adult plant traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines grown under contrasting nitrogen levels. *Euphytica* 189: 123-133.
- Akmal, M., Hameed-ur-rehman, Farhatullah, M. Asim and H. Akbar. 2010. Response of maize varieties to nitrogen application for leaf area profile, crop growth, yield and yield components. *Pakistan Journal Botanical* 42: 1941-1947.
- Argenta, G., P. Ferreira and L. Sangoi . 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Ciencia Rural* 34: 1379-1387.
- Bausch W. and K. Diker. 2001. Innovate remote sensing techniques to increase nitrogen use efficiency of corn. *Soil Science Plant Anal* 32: 1371-1390.
- Binder, D., D. Sander and D. Walters. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agronomy Journal* 92: 1228-1236.
- Berenguer, P., F. Santiveri, J. Boixadera, J. Lloveras. 2009. Nitrogen fertilisation of irrigated maize under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 30: 163-171.
- Boomsma, C., J. Santini, M. Tollenaar and T. Vyn. 2009. Maize morphophysiological response to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. *Agronomy Journal* 101: 1426-1452.
- Boomsma, C. and T. Vyn. 2007. Plant population influences on maize physiological responses to nitrogen application. *North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference Proceedings* 23: 136-144.
- Burkart, M and J. Stoner. 2008. Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. 177- 202. Ed J.L. Hatfield and R.F. Follett . USA.
- Ciampitti, I. and T. Vyn. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research* 133: 48-67.
- Coque, M. and A. Gallais. 2006. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. *Theoretical and Applied Genetics* 112: 1205-1220.
- El, N and H. Salem. 2010. Influence of nitrogen sources on yield and its components of some maize varieties. *World Journal of Agricultural Science* 6:218-223.

Errecart, P., M. Agnusdei, F. Lattanzi and M. Marino. 2012. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research* 129: 46–58.

Escobar, A. and L. Combe. 2012. Senescence in field-grown maize: From flowering to harvest. *Field Crops Research* 134: 47–58.

Dominguez, G., H. Studdert, H. Echeverría y F. Andrade. 2001. Sistema de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. Post-Harvest compendium: cereals and grain. Disponible en sitio web: www.fao.org. Leído 11 noviembre 2012.

Hammad, H., H. Ahmad, T. Khaliq, W. Farhad and M. Mubeen. 2011. Optimizing rate of nitrogen application for higher yield and quality in maize under semiarid environment. *Crop & Environment* 2: 38-41.

Hirel, B., P. Bertin, I. Quillere, W. Bourdoncle, C. Attagnant, C. Delley, A. Gouy, S. Cadiou, C. Retailiau, M. Falque, and A. Gallais. 2001. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology* 125: 1258-1270.

Hokmalipour S. 2011. The study of phyllochron and leaf appearance rate in three cultivar of maize (*Zea mays* L.) at nitrogen fertilizer levels. *World Applied Sciences Journal* 12: 850-856.

Holland, K. and J. Schepers. 2010. Derivation of a Variable Rate Nitrogen Application Model for In-Season Fertilization of Corn. *Agronomy Journal* 102: 1415-1424.

Hu, H., T. Ning, Z. Li, H. Han, Z. Zhang, S. Qin and Y. Zheng. 2013. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen–water use and yield of different varieties of maize in northern China. *Field Crops Research* 142: 85–94.

Kandil, E. 2013. Response of Some Maize Hybrids (*Zea mays* L.) to Different Levels of Nitrogenous Fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 9: 1902-1908.

Kumar, B., A. Abdel, J. Reyes, F. Hochholdinger and T. Lübberstedt. 2012. Genotypic variation for root architecture traits in seedlings of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Plant Breeding* 131: 465-478.

Ladha, J., H. Pathak, T. Krupnik, J. Six and C. Van Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.

Liu, K and P. Wiatrak. 2011. Corn production and plant characteristics response to N fertilization management in dry-land conventional tillage system. *International Journal of Plant Production* 5: 405-416.

- Marek S., N. Tremblay and E. Fallo. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal* 101: 800-816.
- Masclaux-Daubresse C., F. Daniel-Vedele, J. Dechorgnat, F. Chardon, L. Gaufichon and A. Suzuki. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany* 105: 1141–1157.
- Meza F., D. Silva and H. Vigil. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems* 98: 21–30.
- Mohkum, H., A. Ahmad, A. Wajid and J. Akhter. 2011. Maize response to time and rate of nitrogen application. *Journal Botanical Pakistán* 43: 1935-1942.
- Mushongi, A., J. Derera, P. Tongoona and N. Lyimo. 2013. Generation mean analysis of leaf chlorophyll concentration from mid-silking to physiological maturity in some tropical maize (*Zea mays* L.) genotypes under low and high nitrogen dosages. *Euphytica* 189:111–122.
- Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). 2012. Boletín de insumos. Disponible en sitio web: <http://www.odepa.gob.cl> Leído: 11 Noviembre 2012.
- Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). 2012. Maíz: producción, precios y comercio exterior. Disponible en sitio web: <http://www.odepa.gob.cl> Leído: 11 Noviembre 2012.
- Oliveira, A., E. Campostrini, P. Magalhães, L. Moreira, F. Machado, I. Marriel and A. Torres. 2008. Nitrogen-use efficiency of maize genotypes in contrasting environments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 8: 291-298.
- Ortega, R. and O. Santibañez. 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and electronics in agriculture* 58: 49-59.
- Pagani, A., H. Echeverría, F. Andrade and H. Sainz. 2009. Characterization of Corn Nitrogen Status with a Greenness Index under Different Availability of Sulfur. *Agronomy Journal* 101: 315- 322.
- Paliwai, R., G. Granados, H. Lafitte y A. Violic. 2001. El Maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. 376p. Ed. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. Italia.
- Raun, W., J. Solie, M. Stone, K. Martin, K. Freeman, R. Mullen, H. Zhang, J. Schepers and G. Johnson. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Soil Science and Plant Analysis* 36: 2759–2781.

Rorie, R., L. Purcell, M. Muzaffari, D. Karcher, A. King, M. Marsh and D. Longer, 2011. Association of “Greenness” in corn with yield and leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal* 103: 529-535.

Rostami, M., A. Reza, M. Nassiri and M. Kafi. 2008. Evaluation of chlorophyll meter (SPAD) data for prediction of nitrogen status in corn (*Zea Mays* L.). *American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science* 3: 79-85.

Scharf, P., S. Brouder and R. Hoefl. 2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal* 98: 655- 665.

Subedi, K. and B. Ma. 2005. Nitrogen Uptake and Partitioning in Stay-Green and Leafy Maize Hybrids. *Crop Science Society of America* 45: 740-747.

Széles, A., A. Megyes and Nagy, J. 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. *Agricultural Water Management* 107: 133–144.

Varinderpal-Singh, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, H. Thind, A. Kumar and M. Vashistha. 2011. Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Field Crops Research* 120: 276–282.

Varvel, G., W. Wilhelm, J. Shanahan and J. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agronomy Journal* 99: 701-706.

Worku, M., M. Bänziger, G. Schulte auf'm Erley, D. Friesen, A. Diallo and W. Horst. 2012. Nitrogen efficiency as related to dry matter partitioning and root system size in tropical mid-altitude maize hybrids under different levels of nitrogen stress. *Field Crops Research* 130: 57–67.

Ziadi, N., G. Bélanger and A. Claessens. 2012. Relationship between soil nitrate accumulation and in-season corn N nutrition indicators. *Canadian Journal of Plant Science* 92: 331-339.

Ziadi, N., G. Bélanger, A. Claessens, L. Lefebvre, N. Tremblay, A. Cambouris, M. Nolin and L. Parent. 2010. Plant-based diagnostic tools for evaluating wheat nitrogen status. *Crop Science* 50: 2580-2590.

Ziadi, N., M. Brassard, G. Bélanger, A. Claessens, N. Tremblay, A. Cambouris, M. Nolin and L. Parent. 2008. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. *Agronomy Journal* 100: 1264–1273.

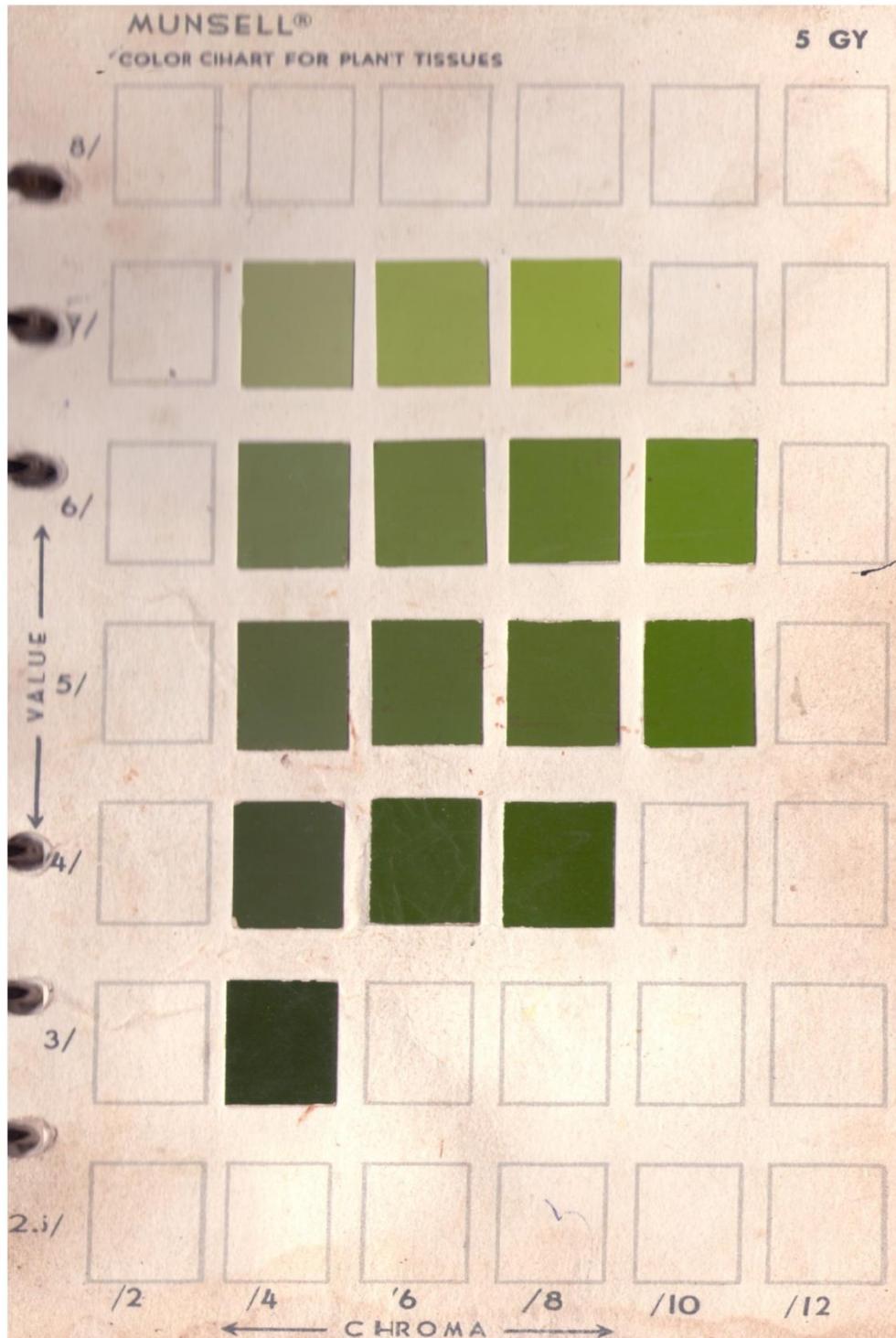
Zhang, J., A. Blackmer and T. Blackmer. 2008. Differences in Physiological Age Affect Diagnosis of Nitrogen Deficiencies in Cornfield. *Pedosphere* 18: 545-553

Zhang, J., A. Blackmer, J. Ellsworth and K. Koehler. 2008. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. *Agronomy Journal* 100: 543–550.

Zhang, J., A. Blackmer, J. Ellsworth, P. Kyveryga and T. Blacker. 2008. Luxury Production of leaf chlorophyll and mid-season recovery from nitrogen deficiencies in corn. *Agronomy Journal* 100: 658-664.

ANEXO

Página 5GY tabla munsell "Color Chart For Plant Tissues"



APÉNDICES

1. Análisis de Suelo

Laboratorio Agropecuario Las Garzas

N° Informe: SMIC-8958

Predio: Antumapu

pH en agua: 7,5

Conductividad eléctrica (1:2:5): 0,37(mmhos cm⁻¹)

Materia Orgánica: 2,4% M

N disponible: 15 mg kg⁻¹ B

P disponible (Olsen): 5 mg kg⁻¹ MB

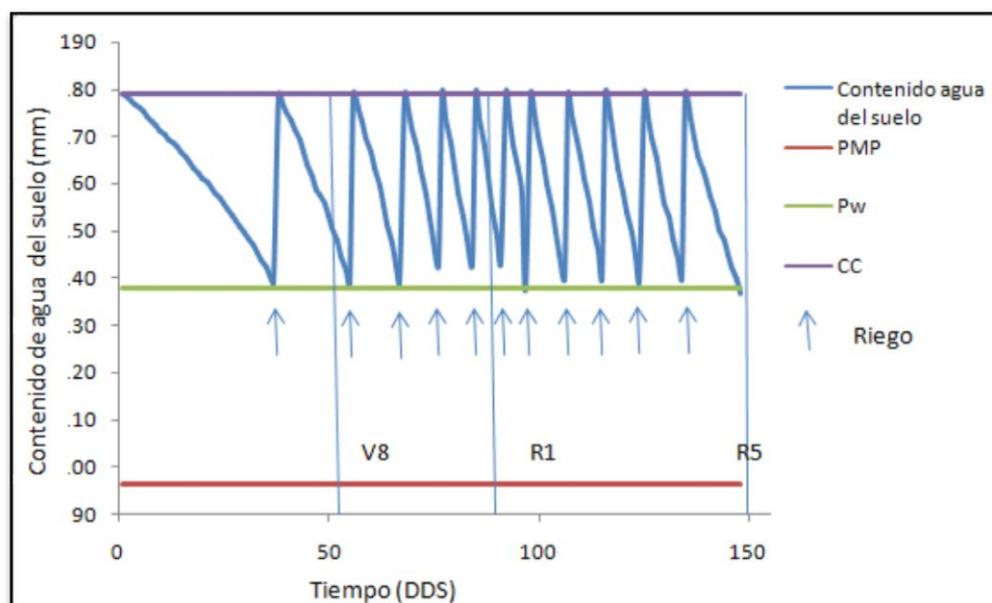
K disponible: 95 mg kg⁻¹ B

2. Análisis Meteorológico

En Cuadro se presentan las temperaturas máximas, mínimas, promedio, humedad relativa y precipitaciones durante el periodo de desarrollo del cultivo.

<i>Mes</i>	T°max (°C)	T°min (°C)	T°prom (°C)	HR (%)	pp (mm)
Octubre	23,8	7,1	14,9	52,5	0,2
Noviembre	27,7	8,9	17,8	52,6	0
Diciembre	30,1	11,8	20,6	52,8	0
Enero	29,7	12,7	20,8	57	0
Febrero	30,5	13,2	21,4	52,4	0
Marzo	30,1	11,5	20,2	52,4	0
Abril	23,9	8,8	15,6	63,4	0,8

3. Balance Hídrico



Balance hídrico en cultivo de maíz de grano. Las flechas indican los riegos, líneas verticales indican estados de desarrollo octava hoja (V8), antesis (R1) y madurez fisiológica (R5).

4. Análisis de varianza para los distintos estados de desarrollo

4.1. V4

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	236,20	289,78	-93,10	1,35	0,20	0,20	0,55

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	54160,98	<0,0001
N	6	18	0,33	0,9145
Híbrido	2	42	6,71	0,0030
N*Hib	12	42	0,96	0,4983

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	30,25	0,15	A
DK619	29,80	0,17	B
Maipo	29,57	0,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
400	30,12	0,33	A
200	30,03	0,34	A
0	30,00	0,34	A
500	29,92	0,34	A
600	29,77	0,35	A
100	29,77	0,35	A
300	29,52	0,36	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)**4.2. V6**

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	240,59	294,16	-95,29	0,05	0,36	0,36	0,42

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	160969,36	<0,0001
N	6	18	1,02	0,4430
Híbrido	2	42	11,69	0,0001
N*Hib	12	42	0,52	0,8889

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	40,75	0,17	A
DK619	39,89	0,16	B
Maipo	39,71	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
500	40,42	0,27	A
0	40,33	0,27	A
200	40,25	0,27	A
300	40,25	0,27	A
100	40,00	0,26	A
600	39,92	0,26	A
400	39,67	0,26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

4.3. V8

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	196,31	249,89	-73,15	1,766	0,36	0,36	0,41

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	580094,42	<0,0001
N	6	18	0,39	0,8789
Híbrido	2	42	12,24	0,0001
N*Hib	12	42	0,76	0,6875

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	53,46	0,11	A
DK619	52,68	0,12	B
Maipo	52,97	0,12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
0	53,17	0,18	A
400	53,17	0,18	A
500	53,08	0,18	A
100	53,08	0,18	A
200	52,92	0,19	A
300	52,92	0,19	A
600	52,92	0,19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)**4.4. V10**

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	237,75	291,33	-93,87	0,00	0,48	0,48	0,48

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	643550,09	<0,0001
N	6	18	1,41	0,2651
Híbrido	2	42	18,28	<0,0001
N*Hib	12	42	0,73	0,7172

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	N	E.E.	
NK703	71,25	28	0,23	A
DK619	69,86	28	0,13	B
Maipo	69,89	28	0,14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
400	70,67	0,30	A
100	70,42	0,27	A
600	70,33	0,26	A
500	70,33	0,27	A
0	70,25	0,27	A
200	70,08	0,25	A
300	69,83	0,22	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)**4.5. V12**

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	250,99	304,56	-100,49	0,00	0,40	0,40	0,40

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	659854,33	<0,0001
N	6	18	1,07	0,4185
Híbrido	2	42	16,16	<0,0001
N*Hib	12	42	0,29	0,9875

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	82,93	0,22	A
Maipo	81,82	0,17	B
DK619	81,46	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
100	82,5	0,30	A
400	82,17	0,29	A
600	82,17	0,29	A
500	82,17	0,29	A
0	82	0,27	A
200	81,83	0,27	A
300	81,67	0,25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

4.6. R1

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	236,46	290,04	-93,23	1,2E-0,9	0,96	0,96	0,96

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	93738,59	<0,0001
N	6	18	54,15	<0,0001
Híbrido	2	42	527,59	<0,0001
N*Hib	12	42	6,62	<0,0001

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Nitrogeno	Medias	E.E.	
NK703	0	95,50	0,64	A
NK703	100	93,75	0,59	A
Maipo	0	91,75	0,53	B
Maipo	100	91,25	0,52	B
NK703	200	90,25	0,50	B
NK703	500	90	0,49	B
NK703	400	90	0,49	B
NK703	300	90	0,49	B
NK703	600	89,5	0,48	B
DK619	0	86,25	0,40	C
Maipo	200	85,25	0,38	D
Maipo	600	84,75	0,37	D
Maipo	500	84,75	0,37	D
Maipo	400	84,75	0,37	D
Maipo	300	84,50	0,37	D
DK619	100	84,25	0,36	D
DK619	400	83,25	0,34	E
DK619	200	83,25	0,34	E
DK619	300	83,00	0,34	E
DK619	500	82,50	0,33	E
DK619	600	82,25	0,32	E

4.7. R2

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	224,23	277,81	-87,12	0,00	0,97	0,97	0,97

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	1429483,97	<0,0001
N	6	18	72,5	<0,0001
Híbrido	2	42	575,5	<0,0001
N*Hib	12	42	3,69	0,0008

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Nitrogeno	Medias	E.E.	
NK703	0	102,5	0,72	A
NK703	100	100,5	0,62	A
Maipo	0	98,5	0,54	B
NK703	200	97,5	0,50	B
NK703	400	97,25	0,49	B
Maipo	100	97,25	0,49	B
NK703	300	97	0,48	B
NK703	500	97	0,48	B
NK703	600	96,5	0,46	B
DK619	0	93,25	0,36	C
DK619	100	92,5	0,34	C
Maipo	400	91,75	0,32	D
Maipo	600	91,75	0,32	D
Maipo	500	91,75	0,32	D
Maipo	300	91,5	0,31	D
Maipo	200	91,5	0,31	D
DK619	300	90	0,28	E
DK619	400	89,75	0,27	E
DK619	500	89,5	0,27	E
DK619	200	89,5	0,27	E
DK619	600	89,25	0,26	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

4.8. R3

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	222,77	276,35	-86,39	0,00	0,97	0,97	0,97

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	1429483,97	<0,0001
N	6	18	64,42	<0,0001
Híbrido	2	42	618,21	<0,0001
N*Hib	12	42	2,16	0,0328

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Nitrógeno	Medias	E.E.	
NK703	0	116,5	0,67	A
NK703	100	114,5	0,59	B
Maipo	0	112,75	0,53	C
NK703	200	111,5	0,49	D
NK703	500	111,0	0,47	D
NK703	400	111,0	0,47	D
NK703	300	111,0	0,47	D
NK703	600	110,5	0,45	D
Maipo	100	108,0	0,38	E
DK619	0	107,5	0,37	E
Maipo	200	106,0	0,33	F
DK619	100	105,75	0,33	F
Maipo	500	105,75	0,33	F
Maipo	600	105,75	0,33	F
Maipo	400	105,5	0,32	F
Maipo	300	105,5	0,32	F
DK619	400	103,5	0,28	G
DK619	500	103,5	0,28	G
DK619	200	103,5	0,28	G
DK619	500	103,5	0,28	G
DK619	600	103,25	0,27	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

4.9. R7

Medidas de ajuste Del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	221,61	275,19	-85,80	0,00	0,97	0,97	0,98

Prueba de hipótesis

Test: DGC Alfa=0,05

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	812606,69	<0,0001
N	6	18	10,88	<0,0001
Híbrido	2	42	865,79	<0,0001
N*Hib	12	42	2,93	0,0049

Híbrido	Nitrógeno	Medias	E.E.	
NK703	200	146,76	0,48	A
NK703	400	146,76	0,48	A
NK703	600	146,74	0,48	A
NK703	300	146,51	0,47	A
NK703	500	146,50	0,47	A
NK703	100	146,24	0,47	A
NK703	0	145,75	0,46	A
Maipo	400	139,75	0,37	B
Maipo	600	139,74	0,37	B
Maipo	300	139,74	0,37	B
Maipo	500	139,74	0,37	B
Maipo	200	139,25	0,36	B
DK619	400	139,25	0,36	B
DK619	200	139,25	0,36	B
DK619	600	139	0,36	B
DK619	500	139	0,36	B
DK619	300	138,99	0,36	B
DK619	100	138,75	0,35	B
DK619	0	137,99	0,34	C
Maipo	100	137,99	0,34	C
Maipo	0	136,5	0,33	D

5. Altura planta y Altura inserción mazorca

5.1. Altura planta

N AIC BIC Log lik Sigma R20 R21 R22
84 673,33 724,77 -312,67 22,20 0,35 0,53 0,77

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	786,91	<0,0001
N	6	18	0,97	0,4747
Híbrido	2	42	22,54	<0,0001
N*Hib	12	42	0,72	0,7242

Test: DGC Alfa=0,05

Medidas de ajuste del modelo

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	257,81	9,20	A
Maipo	242,79	9,20	B
DK619	218,34	9,20	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p <= 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
200	253,50	13,25	A
500	250,25	13,25	A
600	243,42	13,25	A
300	240,88	13,25	A
100	237,04	13,25	A
400	228,07	13,25	A
0	224,38	13,25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p <= 0.05$)

5.2 Altura inserción de la mazorca

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Log lik	Sigma	R20	R21	R22
84	626,83	673,98	-291,42	19,6	0,49	0,49	0,49

Prueba de hipótesis

	numb DF	den DF	F-value	P-value
(Intercept)	1	42	30001,68	<0,0001
N	6	18	1,03	0,4164
Híbrido	2	42	23,30	<0,0001
N*Hib	12	42	0,58	0,8503

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
NK703	136,56	3,70	A
Maipo	113,68	3,70	B
DK619	101,31	3,70	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p <= 0.05$)

Test: DGC Alfa=0,05

Híbrido	Medias	E.E.	
300	123,00	5,66	A
500	121,77	5,66	A
200	120,73	5,66	A
600	119,13	5,66	A
100	116,42	5,66	A
400	111,96	5,66	A
0	107,28	5,66	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p <= 0.05$)

6. Clorofila

NK703

SPAD	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides	Total
3,9	0,2551	0,2959	0,5446	1,0956
23	0,6830	0,5223	0,2835	2,4888
34,7	2,4395	0,8748	0,4487	3,7630
43,4	2,9572	1,2506	0,1381	4,3458
52,8	3,4596	2,3344	-0,1008	5,6931
57	3,4442	2,5538	-0,1517	5,8462
62,8	3,8664	3,2320	-0,3841	6,7142
66,7	3,5838	2,6967	-0,2716	6,0080

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,98539022
Coefficiente de determinación R ²	0,97099388
R ² ajustado	0,96615953
Error típico	0,35871475
Observaciones	8

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	25,8450044	25,84500439	200,852912	7,71082E-06
Residuos	6	0,77205765	0,128676274		
Total	7	26,617062			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0,65279621	0,299271535	2,181284011	0,07193387	-0,07949485	1,38508728
SPAD NK	0,0892634	0,006298429	14,17225853	7,7108E-06	0,073851621	0,10467517

Maipo

SPAD	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides	Total
6,9	-0,0380	1,1435	-0,1916	0,9139
12,5	0,7081	0,2096	0,2895	1,2072
20,8	1,0302	0,3526	0,2543	1,6370
32,3	1,5607	0,4724	0,2267	2,2598
41,1	1,6644	0,4923	0,1607	2,3175
49,4	2,5333	1,0743	0,2279	3,8355
61,1	3,0796	1,7891	0,0089	4,8776
68,6	3,1237	1,9088	-0,0582	4,9743

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,97533529
Coefficiente de determinación R ²	0,95127893
R ² ajustado	0,94315876
Error típico	0,38305989
Observaciones	8

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17,18999352	17,18999352	117,1500146	3,6821E-05
Residuos	6	0,8804929	0,146734882		
Total	7	18,0704028			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0,203038344	0,271733895	0,7471955	0,483188375	-0,461870543	0,867947231
SPAD Maipo	0,06969072	0,006438783	10,82358603	3,6823E-05	0,053935586	0,085445854

DK619

SPAD	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides	Total
3,1	0,1452	0,1031	0,2708	0,5191
11,9	0,5908	0,2328	0,3940	1,2177
23,4	1,8227	0,6652	0,2247	2,7127
36	2,2602	0,9652	0,2447	3,4672
42,7	2,8327	0,3905	0,1399	3,3721
47,7	3,3445	1,7426	0,0584	5,1456
56,6	3,3331	2,5870	-0,2410	5,6791
60,1	3,2977	2,5138	-0,2041	5,6075

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,979055449
Coefficiente de determinación R ²	0,958549573
R ² ajustado	0,951641168
Error típico	0,42884183
Observaciones	8

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	25,51708728	25,51708728	138,7512221	2,26103E-05
Residuos	6	1,103431893	0,183905316		
Total	7	26,62051917			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	0,221879793	0,314320494	0,705903041	0,506718033	-0,547234748	0,99099433
SPAD DK619	0,092170295	0,007824788	11,77927086	2,26103E-05	0,073023729	0,11131686

7. Regresiones entre el rendimiento y los valores SPAD**7.1. V4****NK703***Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,47168896
Coefficiente de determinación R ²	0,22249047
R ² ajustado	0,06698857
Error típico	31,8875696
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1454,8511	1454,8511	1,43078937	0,2852598
Residuos	5	5084,08548	1016,8171		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	1604,71317	1186,54423	1,35242591	0,23428487	-1445,39588	4654,2222
SPAD V4 NK	-33,8277451	28,2803771	28,2803771	0,2852598	-106,524769	38,8692785

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,46826115
Coefficiente de determinación R ²	0,21926851
R ² ajustado	0,06312221
Error típico	31,9552834
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1433,93647	1433,93647	1,40425043	0,28926178
Residuos	5	5105,70067	1021,14013		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	1487,77596	1105,53538	1,34575156	0,23618162	-1354,0932	4329,64512
SPAD V4 DK	-33,4133206	28,1966397	-1,18501073	0,28926178	-105,89509	39,0684492

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,47262463
Coefficiente de determinación R ²	0,22337404
R ² ajustado	0,06804885
Error típico	31,8721953
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1460,88071	1460,88071	1,43810567	0,28417173
Residuos	5	5079,8418	1015,83684		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	1504,6159	1111,81954	1,35329147	0,23392708	-1353,40721	4362,639
SPAD V4 DK	-33,8468476	28,224277	-1,19921044	0,28417173	-106,399661	38,7059663

7.2. V6 NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17928271
Coefficiente de determinación R ²	0,03214229
R ² ajustado	-0,16142925
Error típico	35,577409
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	210,176401	210,176401	0,16604864	0,70050795
Residuos	5	6328,76017	1265,75203		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-173,086322	880,075318	-0,19667217	0,85182834	-2435,39195	2089,2193
SPAD V6 NK	6,94020586	17,035704	0,40749066	0,70050705	-36,8408396	50,7212514

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17934398
Coefficiente de determinación R ²	0,03216426
R ² ajustado	-0,16140289
Error típico	35,578911
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	210,342602	210,342602	0,16616591	0,7004892
Residuos	5	6329,29454	1265,85891		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-172,885679	860,357375	-0,20094636	0,84865908	-2384,50472	2038,73336
SPAD V6 DK	6,94294937	17,0322894	0,40763454	0,70040892	-36,8399444	50,7258432

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,18071053
Coefficiente de determinación R ²	0,03265629
R ² ajustado	-0,16081245
Error típico	35,5710292
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	213,574282	213,574282	0,16879365	0,69820086
Residuos	5	6326,4906	1265,29812		

Total	6	6540,06489				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-18,555696	859,174275	-0,21131417	0,84008504	-2390,13348	2027,02209
SPAD V6 M	6,99196228	17,0184903	0,41084504	0,69820086	-36,7554596	50,7393842

7.3. V8

NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94310619
Coefficiente de determinación R ²	0,88944928
R ² ajustado	0,86733914
Error típico	12,0240103
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5816,05245	5816,05245	40,2281103	0,00143797
Residuos	5	722,884122	144,576824		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-618,270045	126,806935	-4,87568007	0,00457017	-944,237648	-292,302441
SPAD V8 NK	15,2806907	2,4092248	6,34256339	0,00143797	9,08756916	21,4738122

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94271469
Coefficiente de determinación R ²	0,88871099
R ² ajustado	0,86645314
Error típico	12,0647397
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5811,84742	5811,84742	39,9280676	0,00146252
Residuos	5	727,789719	145,557944		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-594,34128	122,278523	-4,86055333	0,00463091	-908,668229	-280,014331
SPAD V8 DK	15,293133	2,42035727	6,31886601	0,00146252	9,07218686	21,5156397

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94271952
Coefficiente de determinación R ²	0,88872099
R ² ajustado	0,8664641

Error típico	12,0646414
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5812,28702	5812,28702	39,9317382	0,00146222
Residuos	5	727,777863	145,555573		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-577,364194	118,577066	-4,86910506	0,00496461	-882,176247	-272,552141
SPAD V8 M	15,2944917	2,42033756	6,31915645	0,00146222	9,07281593	21,5161675

7.4. V10**NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,82561503
Coefficiente de determinación R ²	0,68164018
R ² ajustado	0,61796822
Error típico	20,4045817
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4457,29192	4457,20192	10,02215132	0,0221513132
Residuos	5	2081,73465	416,346931		
Total	6	41636,031			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-285,274608	144,087822	-1,9798662	0,10459599	-655,664145	85,1149298
SPAD V10N	9,02646612	2,75876232	0,02215132	0,02215132	1,93484181	16,1180904

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,82525814
Coefficiente de determinación R ²	0,681051
R ² ajustado	0,6172612
Error típico	20,4245477
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4453,82641	4453,82641	10,6764874	0,02226031
Residuos	5	2085,81073	417,162147		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
--	----------------------	---------------------	----------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Intercepción	-287,26956	142,53634	-2,01541277	0,09995352	-653,670887	79,1317662
SPAD V10D	9,02638825	2,76248427	3,26748947	0,02226031	1,92519637	16,1275801

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,82532495
Coefficiente de determinación R ²	0,68116127
R ² ajustado	0,61739353
Error típico	20,4216844
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4454,83891	4454,83891	10,6819092	0,02223988
Residuos	5	2085,22597	417,045195		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-308,733993	147,10463	-2,09873743	0,08989717	-686,878484	69,410497
SPAD V10M	9,02607212	2,76168638	3,26831902	0,02223988	1,92693128	16,125213

Todos

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,76212546
Coefficiente de determinación R ²	0,58083522
R ² ajustado	0,55877391
Error típico	21,1712277
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	11800,865	11800,865	26,3282356	0,00005937
Residuos	19	8516,19675	448,220882		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-252,375994	84,0462137	-3,00282408	0,00731583	-428,286741	-76,4652475
SPAD V10	8,23487895	1,60489396	5,13110471	5,937E-05	4,8757973	11,5939606

7.5. V12

NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89682047
Coefficiente de determinación R ²	0,80428696
R ² ajustado	0,76514435
Error típico	15,9984698
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5259,18139	5259,18139	20,5476074	0,00620869
Residuos	5	1279,75518	225,951036		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-163,556046	77,2400184	-2,11750397	0,08778282	-362,107834	34,9957423
SPAD V12N	6,30623905	1,39120074	4,53294687	0,00620869	2,7300437	9,88243441

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89683495
Coefficiente de determinación R ²	0,80431293
R ² ajustado	0,76517552
Error típico	15,9982651
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5259,91471	5259,91471	20,5509984	0,00620656
Residuos	5	1279,72243	255,944486		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-169,48085	76,8407851	-2,2056106	0,07853714	-367,006376	28,0446765
SPAD V12D	6,30177308	1,39010082	4,5333209	0,00620656	2,72840518	9,87514099

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89692633
Coefficiente de determinación R ²	0,80447684
R ² ajustado	0,76537221
Error típico	15,9920865
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5261,33073	5261,33073	20,572418	0,00619314
Residuos	5	1278,73416	255,746832		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-176,605408	76,9613438	-2,29472874	0,07023323	-374,44084	21,2300246
SPAD V12M	6,30374933	1,38981267	4,53568275	0,00619314	2,73112214	9,87637653

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
-------------------------------------	--

Coefficiente de correlación múltiple	0,88379334
Coefficiente de determinación R ²	0,78109067
R ² ajustado	0,76956912
Error típico	15,2998013
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	15869,4673	15869,4673	67,7939234	0,0000000
Residuos	19	4447,59446	234,083919		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-170,768322	42,5168459	-4,01648614	0,00073788	-259,757103	-81,7795414
SPAD V12	6,31999687	0,76757616	8,23370654	1,0899E-07	4,7134415	7,92655224

7.6. R1**NK703***Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,95351372
Coefficiente de determinación R ²	0,90918842
R ² ajustado	0,8910261
Error típico	10,8978088
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5945,12539	5945,12539	50,0590553	0,0008727
Residuos	5	593,811184	118,762237		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-109,780173	41,9362498	-2,61778709	0,04722369	-217,580735	-1,97961151
SPAD R1N	5,26537056	0,74419649	7,07524242	0,0008727	3,35235259	7,17838853

DK619*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,9534884
Coefficiente de determinación R ²	0,90913174
R ² ajustado	0,89095808
Error típico	10,9017932
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5945,39167	5945,39167	50,0247113	0,00087408
Residuos	5	594,245476	118,849095		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-110,021221	40,8996803	-2,69002643	0,04329731	-215,157196	-4,88524568
SPAD R1D	5,26548848	0,74446858	7,07281495	0,00087408	3,35177108	7,179205890

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,95341211
Coefficiente de determinación R ²	0,90899464
R ² ajustado	0,89079357
Error típico	10,9103706
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5944,88395	5944,88395	49,94182214	0,00087743
Residuos	5	595,180931	119,036186		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-124,177719	42,0265291	-2,95474599	0,03171086	-232,210351	-16,1450862
SPAD R1M	5,26239706	0,74464868	7,06695277	0,00087743	3,34821669	7,17657744

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,92978009
Coefficiente de determinación R ²	0,86449102
R ² ajustado	0,855735897
Error típico	12,0375386
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17563,9174	17563,9174	121,212107	1,0939E-09
Residuos	19	2753,14436	144,902335		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-110,185442	26,3272724	-4,18522057	0,00050196	-165,289056	-55,0818277
SPAD R1	5,18398579	0,47085892	11,009637	1,0939E-09	4,19846675	6,16950484

7.7. R2

NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,93979221
Coefficiente de determinación R ²	0,88320939
R ² ajustado	0,85985127
Error típico	12,3586924

Observaciones 7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5775,25018	5775,25018	37,8116609	0,00165361
Residuos	5	763,686392	152,737278		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-79,1339288	43,2879118	-1,82808377	0,12708055	-190,409048	32,1411909
SPAD R2N	4,91104616	0,79865854	6,14911871	0,00165361	2,85802903	6,96406329

DK619

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,93969643
Coefficiente de determinación R ²	0,88302938
R ² ajustado	0,85963526
Error típico	12,3688756
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5774,69173	5774,69173	37,7457764	0,0016601
Residuos	5	764,945416	152,989083		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-96,7987675	44,9366156	-2,15411789	0,08380762	-212,312015	18,7144804
SPAD R2D	4,90837706	0,79892081	6,14375914	0,0016601	2,854685731	6,96206839

MAIPO

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,93979358
Coefficiente de determinación R ²	0,88321197
R ² ajustado	0,85985436
Error típico	12,3596222
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5776,26358	5776,26358	37,8126063	0,001653551
Residuos	5	763,801302	152,76026		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-93,9995812	43,4102785	-2,16537614	0,082624	-205,589255	17,590092
SPAD R2M	4,91147702	0,79871862	6,14919558	0,0016535	2,85830544	6,9646486

TODOS

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,90836981
Coefficiente de determinación R ²	0,82513572
R ² ajustado	0,81593234
Error típico	13,6742716
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	16764,3334	16764,3334	89,6556957	1,2588E-08
Residuos	19	3552,72837	186,985704		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-82,2776414	27,6730883	-2,97320055	0,00781132	-140,19808	-24,3572021
SPAD R2	4,76930696	0,50369348	9,46866916	1,2588E-08	3,71506438	5,82354954

7.8 R3**NK703***Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,9170695
Coefficiente de determinación R ²	0,8410165
R ² ajustado	0,8092197
Error típico	14,419316
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5499,3532	5499,3532	26,449795	0,003636363
Residuos	5	1039,5833	207,91667		
Total	6	6538,9366			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-5,6825414	37,570093	-0,1512517	0,8856902	-102,259541	90,89445805
SPAD R3N	3,7169142	0,7227222	5,1429364	0,0036364	1,859097714	5,574730695

DK619*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,9830807
Coefficiente de determinación R ²	0,9664477
R ² ajustado	0,9597372
Error típico	6,624501
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6320,2171	6320,2171	144,02095	0,0000708699
Residuos	5	219,42006	43,884013		
Total	6	6539,6371			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-61,37116	20,084731	-3,0556128	0,0282429	-113,000604	-9,74171643
SPAD R3D	4,4808172	0,3733743	12,000873	0,0000708	3,521028078	5,440606363

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9693347
Coefficiente de determinación R ²	0,9396097
R ² ajustado	0,925377
Error típico	8,887703
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6145,1086	6145,1086	77,794786	0,0003111
Residuos	5	394,95633	78,991265		
Total	6	6540,0649			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-40,835275	24,294654	-1,6808338	0,1536262	-103,286672	21,61612165
SPAD R2M	4,0504047	0,4592225	8,8201352	0,0003111	2,86993563	2,86993563

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,921034
Coefficiente de determinación R ²	0,8483036
R ² ajustado	0,8403195
Error típico	12,736243
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17235,036	17235,036	106,25014	3,22264E-09
Residuos	19	3082,0258	162,21188		
Total	20	2031,062			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-29,143662	20,308476	-1,4350492	0,1675305	-71,649793	13,36246732
SPAD R3	3,9572862	0,3839129	10,307771	3,223E-09	3,153747299	4,76082514

7.9.TODOS VEGETATIVO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,28825537
Coefficiente de determinación R ²	0,08309116
R ² ajustado	0,07418913
Error típico	30,0718343
Observaciones	105

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	8440,84122	8440,84122	9,33395906	0,00286421
Residuos	103	93144,4674	904,315217		
Total	104	101585,309			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	100,572108	25,5848803	3,93091963	0,00015353	49,830534	151,313683
SPAD R3	1,55762132	0,50983417	3,05515287	0,00286421	0,54648553	2,56875712

7.10. TODOS REPRODUCTIVO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89330277
Coefficiente de determinación R ²	0,79798983
R ² ajustado	0,79467819
Error típico	14,20734
Observaciones	63

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	48638,426	48638,426	240,964999	7,3901E-23
Residuos	61	12312,7591	201,84851		
Total	62	60951,1852			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-56,0114541	15,1951874	-3,68613119	0,000486	-86,3961089	25,6267993
SPAD R3	4,32018105	0,27830754	15,5230473	7,3901E-23	3,76367074	4,87669135

8. Regresiones entre el rendimiento e ISN**8.1. V4****NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,57910824
Coefficiente de determinación R ²	0,33536635
R ² ajustado	0,20243962
Error típico	29,4821888
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	2192,9393	2192,9393	2,52294142	0,1730670
Residuos	5	4345,99727	869,199454		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	2307,28235	1335,86795	1,72717847	0,14471678	-1126,67553	5741,24023
ISN V4 NK	-2124,82353	1337,73252	-1,58837698	0,17306701	-5563,57444	1313,92738

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,57908523
Coefficiente de determinación R ²	0,33533971
R ² ajustado	0,20240705
Error típico	29,484359
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	2193,00001	2193,00001	2,52263985	0,17308817
Residuos	5	4346,63713	869,327426		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	2299,60029	1335,96628	1,72130114	0,14581728	-1134,61037	5733,81096
ISN V4 DK	-2124,85294	1337,83099	-1,58828204	0,17308817	-5563,85698	1314,1511

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,57914645
Coefficiente de determinación R ²	0,33541061
R ² ajustado	0,20249273
Error típico	29,4837505
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	2193,60715	2193,60715	2,5234424	0,171303186
Residuos	5	4346,45773	869,291546		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	2293,49971	1335,93871	1,71677015	0,14667143	-1140,64008	5727,6395
ISN V4 M	-2125,14706	1337,80338	-1,58853467	0,17303186	-5564,06013	1313,78601

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,56907241
Coefficiente de determinación R ²	0,3238434
R ² ajustado	0,28825622
Error típico	26,8891636
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6579,5443	6579,54643	9,0999995	0,00709558
Residuos	19	13737,5153	723,027121		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	2300,12745	703,429332	3,26987708	0,00402954	827,832942	3772,42196
ISN V4 DK	-2124,94118	704,41116	-3,01662054	0,00709558	-3599,29068	-650,591677

**8.2. V6
NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,46812964
Coefficiente de determinación R ²	0,21914536
R ² ajustado	0,06297443
Error típico	31,9560917
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1432,9776	1432,9776	1,40324042	0,289416
Residuos	5	5105,95897	1021,19179		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-844,564894	869,637033	-0,97116942	0,37606762	-3080,04	1390,90627
ISN V6 NK	1033,01064	872,044709	1,18458449	0,28941581	-1208,65	3274,67293

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,40280575
Coefficiente de determinación R ²	0,16225244
R ² ajustado	0,00529707
Error típico	33,101556
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1061,07208	1061,07208	0,96838504	0,370274
Residuos	5	5478,56506	1095,7130		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-769,87	963,07895	-0,7993841	0,46033995	-3245,54	1705,80325
ISN V6 DK	951,731707	967,142578	0,98406556	0,37027429	-1534,39	3437,85085

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,40267383
Coefficiente de determinación R ²	0,16214621
R ² ajustado	-0,00542454
Error típico	33,1047372
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	1060,44675	1060,44675	0,96762833	0,370446
Residuos	5	5479,61813	1095,92363		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-775,985	963,171506	-0,805656	0,45702932	-3251,9	1699,92618
ISN V6 M	951,45122	967,235524	0,98368101	0,37044598	-1534,91	3437,80929

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,42579296
Coefficiente de determinación R ²	0,18129964
R ² ajustado	0,13821015
Error típico	29,5880361
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	3683,47604	3683,47604	4,20751401	0,054292
Residuos	19	16633,5857	875,451878		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-816,381856	484,926381	-1,6835171	0,10863405	-1831,3443	198,580721
ISN	998,407216	486,737633	2,05122256	0,05429195	-20,346356	2017,16079

8.3. V8

NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94745877
Coefficiente de determinación R ²	0,89767812
R ² ajustado	0,87721375
Error típico	11,5678544
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5869,8603	5869,8603	43,8654047	0,00118133
Residuos	5	669,076274	133,815255		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-578,602134	115,45128	-5,01165631	0,00406398	-875,379097	-281,825172
ISN V8 NK	783,114925	118,240003	6,6230963	0,00118133	479,169322	1087,06053

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9474658
Coefficiente de determinación R ²	0,89769144
R ² ajustado	0,87722973
Error típico	11,5677209
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5870,57631	5870,57631	43,8717679	0,00118093
Residuos	5	669,060832	133,812166		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-586,360164	115,449948	-5,07891235	0,00383797	-883,133702	-289,586626
ISN V8 DK	783,162687	118,238638	6,62357667	0,0118093	479,220591	1087,10478

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94746912
Coefficiente de determinación R ²	0,89769774
R ² ajustado	0,87723729
Error típico	11,5677433
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5871,00146	5871,00146	43,877753	0,00118075

Residuos	5	669,063422	133,812684
Total	6	6540,06489	

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-592,782119	115,450171	-5,13452786	0,00366212	-889,556232	-296,008007
ISN V8 M	783,191045	118,238867	6,62380369	0,00118075	479,248361	1087,13373

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,93103704
Coefficiente de determinación R ²	0,86682997
R ² ajustado	0,85982102
Error típico	11,9331993
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17611,438	17611,438	123,674747	9,2602E-10
Residuos	19	2705,62368	142,401246		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-585,914806	68,7610036	-8,52143337	6,4841E-08	-729,83324	-441,996372
ISN	783,156219	70,421924	11,209148	9,2602E-10	635,761438	930,551

8.4. V10

NK703

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,81762999
Coefficiente de determinación R ²	0,6685188
R ² ajustado	0,60222256
Error típico	20,8208288
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4371,4020	4371,4020	10,0838116	0,02466226
Residuos	5	2167,53456	433,6912		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-273,315115	144,6982217	-1,88886304	0,11753146	-645,273724	98,6434945
ISN V10N	468,856322	147,647948	3,17550178	0,02466226	89,3151887	848,397455

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
-------------------------------------	--

Coefficiente de correlación múltiple	0,81757617
Coefficiente de determinación R ²	0,66843079
R ² ajustado	0,60211695
Error típico	20,8247074
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4371,29484	4371,29484	10,079808	0,0246797
Residuos	5	2168,3423	433,66846		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-281,02092	144,725176	-1,94175559	0,1098236	-653,048828	91,0069891
ISN V10D	468,850575	147,675456	3,17487135	0,0246797	89,2387290	848,46242

MAIPO*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,81761583
Coefficiente de determinación R ²	0,66849564
R ² ajustado	0,60219477
Error típico	20,8233525
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	4372,00485	4372,00485	10,0827578	0,0246668
Residuos	5	2168,06004	433,612008		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-296,830237	147,664789	-2,0101626	0,10062543	-676,414662	82,7541883
ISN V10M	468,888649	147,665844	3,17533585	0,02466685	89,3015127	848,475786

Todos*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,76409036
Coefficiente de determinación R ²	0,58383408
R ² ajustado	0,56193061
Error típico	21,0953583
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	11861,793	11861,793	26,6548677	0,00005533
Residuos	19	8455,26868	445,014141		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-254,386306	83,9191139	-3,03132736	0,00686787	-430,031029	-78,7415822
ISN V10	439,090015	85,0482333	5,16283523	5,5333E-05	261,082018	617,098013

8.5. V12**NK703***Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,89668298
Coefficiente de determinación R ²	0,80404036
R ² ajustado	0,76484843
Error típico	16,0085456
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5257,56891	5257,56891	20,515458	0,0062
Residuos	5	1281,36766	256,273532		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-164,288803	77,4617252	-2,12090297	0,08740552	-363,4105072	34,8329003
ISN V12N	371,545011	82,0296436	4,52939931	0,00622892	160,6810996	582,408923

DK619*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,89664852
Coefficiente de determinación R ²	0,80397857
R ² ajustado	0,76477429
Error típico	16,0119268
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5257,72815	5257,72815	20,5074158	0,006233992
Residuos	5	1281,909	256,381799		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-172,005529	77,478086	-2,22005392	0,07712302	-371,1692895	27,1582317
ISN V12D	371,5506390	82,0469692	4,52851143	0,00623399	160,6421891	582,459086

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,89667894
Coefficiente de determinación R ²	0,80403313
R ² ajustado	0,76483975
Error típico	16,0102222
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5258,42881	5258,42881	20,5145162	0,006229511
Residuos	5	1281,63608	256,327215		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-178,423121	77,4698381	-2,30313016	0,0695004	-377,5656792	20,7194377
ISN V12M	371,575394	82,0382348	4,52929533	0,0062295	160,6893977	582,46139

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,88112332
Coefficiente de determinación R ²	0,7763783
R ² ajustado	0,76460874
Error típico	15,4636005
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	15773,7258	15773,7258	65,9649208	0,0000000
Residuos	19	4543,33587	239,122941		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-171,572484	43,2001528	-3,97157124	0,0008176	-261,9914431	-81,1535257
ISN V12	371,557014	45,747666	8,12187914	1,3379E-07	275,8060491	467,307979

8.6. R1**NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,95691854
Coefficiente de determinación R ²	0,9156931
R ² ajustado	0,89883172
Error típico	10,5002615
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
--	-------------	--------------------------	-----------------------	----------	----------

Regresión	1	5987,65911	5987,65911	54,3071277	0,0007
Residuos	5	551,277463	110,255493		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-107,999108	40,0224705	-2,69826192	0,04287302	-210,872143	-5,11007239
ISN R1N	317,036691	43,0210603	7,36933699	0,00072291	206,447535	427,625847

DK619*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,94839979
Coefficiente de determinación R ²	0,89946216
R ² ajustado	0,87935459
Error típico	11,4671791
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5882,5616	5882,5616	44,7325192	0,0011
Residuos	5	657,480984	131,496197		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-112,751821	43,6553342	-2,58277307	0,04926625	-224,97143	-0,53221224
ISN R1D	312,8835	46,7811595	6,68823738	0,00112972	192,628701	433,138299

MAIPO*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,95927452
Coefficiente de determinación R ²	0,92020761
R ² ajustado	0,90424913
Error típico	10,2161384
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6018,21746	6018,21746	57,6626155	0,0006
Residuos	5	521,847423	104,369485		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-119,964224	38,5620634	-3,11093893	0,0265226	-219,091164	-20,8372844
ISN R1M	314,248008	413833233	7,59359042	0,00062889	207,868788	420,627227

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,93695849
Coefficiente de determinación R ²	0,87789122
R ² ajustado	0,87146444
Error típico	11,426865
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17836,1701	17836,1701	136,598967	0,0004
Residuos	19	2480,89162	136,598967		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-113,120859	25,0520097	-4,51544049	0,00023674	-165,555318	-60,6864003
ISN R1	314,237188	26,8864753	11,6875561	4,0401E-10	257,963148	370,511227

8.7. R2**NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94066685
Coefficiente de determinación R ²	0,88485412
R ² ajustado	0,86182494
Error típico	12,271362
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5786,00494	5786,00494	38,4231763	0,00159497
Residuos	5	752,931628	150,586326		
Total	6	6538,93657			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-78,792422	42,8877552	-1,83717758	0,12560269	-189,03806	31,4540623
ISN R2N	294,118753	47,4488929	6,1986431	0,00159497	172,147491	416,090015

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94416729
Coefficiente de determinación R ²	0,89145187
R ² ajustado	0,86974224
Error típico	11,9152455
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5829,77176	5829,77176	41,0625163	0,00137265
Residuos	5	709,865382	141,973076		
Total	6	6539,63714			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-96,8681013	43,0965624	-2,24769903	0,07449158	-207,651342	13,915139
ISN R2D	305,167732	47,6228991	6,40800408	0,00137265	182,749172	427,586291

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94066903
Coefficiente de determinación R ²	0,88485822
R ² ajustado	0,86182987
Error típico	12,2722018
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5787,0302	5787,0302	38,4247255	0,00159482
Residuos	5	753,034683	150,606937		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-92,9215506	42,8906901	-2,16647367	0,082250957	-203,175579	17,3324783
ISN R2M	294,14481	47,45214	6,19876807	0,00159482	172,165201	416,124419

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,92527586
Coefficiente de determinación R ²	0,85613541
R ² ajustado	0,84856359
Error típico	12,4031102
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17394,156	17394,156	113,068637	1,9397E-09
Residuos	19	2922,90571	153,837143		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-89,3464171	25,308213	-3,53033291	0,00223594	-142,317115	-36,3757186
ISN R2	297,61307	27,9885836	10,633737	1,9397E-09	239,032291	356,193849

8.8. R3**NK703**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,91641179
Coefficiente de determinación R ²	0,83981057
R ² ajustado	0,80777268
Error típico	14,4738974
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	5491,46804	5491,46804	26,2130455	0,00370755
Residuos	5	1047,46853	209,493700		
Total	6	6538,9366			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-1,55022075	36,9404002	-0,04196546	0,96815048	-96,5085426	93,4081011
ISN R3N	213,59079	41,7180291	5,11986772	0,00370755	106,351183	320,830398

DK619

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,98116964
Coefficiente de determinación R ²	0,96269386
R ² ajustado	0,95523263
Error típico	6,98525037
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6295,66853	6295,66853	129,026198	0,000092514
Residuos	5	243,96861	48,7937228		
Total	6	6539,6371			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-60,0304765	21,1019851	-2,84477864	0,03604376	-114,274856	-5,78609687
ISN R3D	266,350934	23,4485112	11,3589699	9,2514E-05	206,074617	326,627251

MAIPO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,97156197
Coefficiente de determinación R ²	0,94393266
R ² ajustado	0,93271919
Error típico	8,56369109
Observaciones	7

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	6173,38086	6173,38086	84,1784811	0,00025796
Residuos	5	366,684025	73,3368051		
Total	6	6540,06489			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-40,4930525	23,3193863	-1,73645447	0,1429969	-100,437443	19,4513383
SPAD R2M	248,854256	27,1234251	9,17488317	0,00025796	179,131272	318,57724

TODOS

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,94099799
Coefficiente de determinación R ²	0,88547721
R ² ajustado	0,87944969
Error típico	11,0662279
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	17990,2951	17990,2951	146,905842	2,1883E-10
Residuos	19	2326,7666	122,4614		
Total	20	20317,0617			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-30,532591	17,3917645	-1,75557753	0,09527025	-66,9339724	5,86879041
ISN R3	293,031865	19,721333	12,120472	2,1883E-10	197,754641	280,30909

8.9 TODOS VEGETATIVO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,57551031
Coefficiente de determinación R ²	0,33121211
R ² ajustado	0,32471903
Error típico	25,6827213
Observaciones	105

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	33646,2846	33646,2846	51,0099662	1,3452E-10
Residuos	103	67939,024	659,602175		
Total	104	101585,309			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-177,853003	49,9185506	-3,56286392	0,00055737	-276,854672	-78,8513342
ISN V	363,553727	50,9027311	7,14212617	1,3452E-10	262,600169	464,507286

8.10. TODOS REPRODUCTIVO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,90776767
Coefficiente de determinación R ²	0,82404214
R ² ajustado	0,82115758
Error típico	13,2596024
Observaciones	63

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>G.L.</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Regresión	1	50226,3448	50226,3448	285,673905	1,079E-24
Residuos	61	10724,8404	175,817055		
Total	62	60951,1852			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-59,0647775	14,1381044	-4,17770133	9,5348E-05	-87,3356643	-30,7938908
ISN rep	263,698377	15,6017089	16,9018906	1,079E-24	232,500832	294,895922