

**Desarrollo de un instrumento de diagnóstico visual para la optimización del uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays*): Principios basados en el medidor de clorofila SPAD y la intensidad de verde**

**Juan Carlos Brito Vera  
Erik Eduardo Corado Cano**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2009

ZAMORANO  
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

**Desarrollo de un instrumento de diagnóstico visual para la optimización del uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays*): Principios basados en el medidor de clorofila SPAD y la intensidad de verde**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Administración de Agronegocios en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Juan Carlos Brito Vera**  
**Erik Eduardo Corado Cano**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2009

# **Desarrollo de un instrumento de diagnóstico visual para la optimización del uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays*): Principios basados en el medidor de clorofila SPAD y la intensidad de verde**

Presentado por:

Juan Carlos Brito Vera  
Erik Eduardo Corado Cano

Aprobado:

---

Fredi Arias, Ph.D.  
Asesor principal

---

Ernesto Gallo, M.Sc. M.B.A.  
Director  
Carrera de Administración de  
Agronegocios

---

Adolfo Fonseca, M.A.E.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Dorivar RuizDiaz, Ph.D.  
Asesor Externo

---

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.  
Rector

---

Jeffery Pack, D.P.M.  
Asesor

## RESUMEN

Brito J. y Corado E. 2009. Desarrollo de un instrumento de diagnóstico visual para la optimización del uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays*): Principios basados en el medidor de clorofila SPAD y la intensidad de verde. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Administración de Agronegocios. Zamorano, Honduras. 60 P.

Se desarrolló una tecnología que optimice el uso de nitrógeno en producción de maíz basado en el principio del medidor de clorofila SPAD, siendo económico y accesible para pequeños y medianos productores. La primera fase se realizó en la Universidad Estatal de Kansas, consistió de un experimento de invernadero bajo condiciones controladas, utilizando un diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones de nitrógeno (0Kg/ha, 30Kg/ha, 60Kg/ha y 200Kg/ha). Se obtuvo el disco 15 -1 con mayor significancia estadística. La segunda fase se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con parcelas subdivididas, usando cinco tratamientos de nitrógeno (10 Kg/ha, 30 Kg/ha, 60Kg/ha, 100Kg/ha y 160Kg/ha) y tres repeticiones, determinando rendimientos entre tratamientos y testigo, a las 10 hojas y al momento de la emisión de espiga. La fase tres consistió en un análisis estadístico y económico de las fases anteriores. Se obtuvo que los tratamientos mostraron mayor productividad que el testigo en 640 Kg/ha maíz. El máximo de producción se encuentra aplicando 132 Kg/ha N con un rendimiento de 13,433 Kg/ha maíz. En el análisis de la Función de producción se encontró que los límites para la primera fase van desde 0- 99 Kg/ha N con rendimientos de 65-92% y valores entre 3-10 del disco de colores; para la fase dos los límites van desde 99-132 Kg/ha N con rendimientos de 92% -100% del total de producción y valores entre 10-13 del disco de colores. Además el disco muestra correcciones para las deficiencias desde el 30%-79% de la dosis de nitrógeno recomendada para la primera fase y entre 30% - 0% para la fase dos de producción, facilitando al agricultor la aplicación óptima de N en maíz.

**Palabras clave:** Curva de absorción de nutrientes, disco de colores, fases de producción, función de producción, modelo económico.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, Figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4. CONCLUSIONES.....	44
5. RECOMENDACIONES .....	45
6. LITERATURA CITADA .....	46
7. ANEXOS.....	48

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

### Cuadro

1. Clasificación Botánica del Maíz.....	2
2. Descomposición de colores basados en el LCC por el software IM color Picker.....	14
3. Análisis estadístico para el color rojo.....	15
4. Valores ajustados vs residuales del color rojo.....	16
5. Análisis estadístico para el color verde .....	16
6. Valores ajustados vs residuales del color verde .....	18
7. Análisis estadístico para el color Azul .....	18
8. Valores ajustados vs residuales del color azul .....	19
9. Datos SPAD color (Disco 15- 1).....	22
10. Análisis estadístico SPAD vs color (Disco 15 – 1) .....	23
11. Datos SPAD – color (Disco 30-0.4).....	24
12. Análisis estadístico SPAD vs color (Disco 30– 0.4) .....	24
13. Datos SPAD – Color (Disco 20-1) .....	25
14. Análisis estadístico SPAD vs Color (Disco 20 – 1) .....	26
15. Fórmulas utilizadas y sus aportes.....	28
16. Cantidad de fertilizante por tratamiento.....	29
17. Cantidad de fertilizante por unidad experimental .....	29
18. Datos generales del cultivo.....	30
19. Análisis de regresión del mejor modelo para la función de producción de maíz.....	32
20. Análisis de regresión del mejor modelo para función color con nitrógeno.....	39
21. Cuadro de resumen sobre el análisis estadístico.....	42
22. Tabla de ejemplo de utilización del disco. ....	43

### Figura

1. Valor observado (Ajustado) vs Color Rojo .....	15
2. Valor observado (Ajustado) vs Color verde.....	17
3. Valor observado (Ajustado) vs Color Azul.....	19
4. Valores observados vs Disco de Colores 15-1 .....	23
5. Valores observados vs Disco de Colores 30 – 0.4.....	25
6. Valores observados vs Disco de Colores 20-1 .....	27
7. Datos obtenidos en campo.....	31
8. Residuos estándares de modelo No.6, para la función de producción de maíz.....	33

9. Función de producción de maíz.....	34
10. Contraste de rendimientos entre tratamiento y testigo .....	34
11. Fases de producción .....	36
12. Colores del disco muestreados a las 10 hojas.....	37
13. Colores del disco muestreados al momento de emisión de espiga de elote. ....	37
14. Residuos estándares de modelo No. 6, para el modelo color con nitrógeno. ....	39
15. Regresión de color .....	40
16. Contraste producción y color.....	41
17. Porcentaje de producción esperada para cada una de las fases de producción.....	42

## **Anexos**

1. Figura de aumento de costos en insumos agrícolas en términos porcentuales.....	48
2. Cuadro de macro y micro elementos para la producción de 1 ton de maíz. ....	48
3. Deficiencia de Nutrientes .....	49
4. Figura del espectro electromagnético .....	49
5. Figura Análisis de regresión nitrógeno en la hoja vs. color. ....	50
6. LCC Universidad de California Davis .....	50
7. Selección de color con el software IM picker. ....	51
8. Carta de colores basado en los colores de la hoja de Arroz. ....	51
9. Cuadro de gama de colores 15 -1 .....	52
10. Figura de disco de colores 15-1 .....	52
11. Cuadro de gama de colores 30-0.4 .....	53
12. Figura de disco de colores 30-0.4.....	54
13. Cuadro de gama de colores 20-1 .....	54
14. Figura de disco de colores 20-1 .....	55
15. Figura de curva de absorción de nutrientes .....	55
16. Cuadro de análisis de suelo zona II .....	56
17. Cuadro de análisis de Abono zona II.....	56
18. Cosecha y Pesado de Elotes .....	57
19. Cuadro de los modelos de producción en SAS (Statistical Analysis System) .....	57
20. Cuadro de los modelos de relación color nitrógeno en SAS .....	58
21. Figura de diseño experimental invernadero – Universidad Estatal de Kansas.....	59
22. Figura de diseño experimental Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.....	60

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La agricultura juega un papel muy importante en la economía de América Latina, ya que de esta dependen el desarrollo de la región y fuentes de ingresos para quienes hacen de la agricultura un estilo de vida. Por otro lado los países en vías de desarrollo como los nuestros carecen de una estructura sólida en sus políticas de crecimiento y activación económica, especialmente en el sector agrícola donde muchas de las actividades agronómicas aún se efectúan manualmente, y donde casi nunca se alcanzan los rendimientos esperados.

La mayoría de productores de maíz en Honduras y en los países de la región son de subsistencia, estos pequeños productores usan su cosecha como materia prima para hacer sus alimentos, y el excedente, lo comercializan hacia los principales mercados de las grandes ciudades, compartiendo con los intermediarios la mayor parte del margen de utilidad que deja el cultivo. Una forma de salir de esta situación es el uso del fertilizante en una forma más eficiente para subir rendimientos.

Los productores se ven enfrentados a barreras que polarizan el desarrollo de la producción del maíz, y que debido a su importancia y al incremento significativo en los precios de fertilizantes (Anexo 1), específicamente fuentes de nitrógeno como la urea (46% N) fuente esencial para la síntesis de clorofila, desarrollo de la planta y nutriente más requerido por el maíz, (Andrade. 2006), impiden alcanzar los óptimos de producción estimados; sumando a ello, la falta de sistemas tecnificados de riego y apoyo en asesoramiento y asistencia técnica.

No obstante, la nutrición de la planta y fertilidad del suelo protagonizan un papel importante dentro del ciclo de producción, ya que al referir la fertilidad de suelos, se señala su capacidad para permitir y sustentar la vida vegetal. Esta fertilidad no sólo depende de la presencia de nutrientes en el suelo (Anexo 2), sino también de su disponibilidad para las plantas, de la capacidad del perfil en el suelo para almacenar y entregar agua así como también el espacio necesario para el desarrollo de las raíces.



La disponibilidad de nitrógeno en el suelo puede variar significativamente, dependiendo de factores diversos tales como: temperatura (mayores a 15-18 °C), dosis de nitrógeno, vientos, pH del suelo, textura de suelo, materia orgánica, microorganismos, entre otros. Sin embargo para una nutrición nitrogenada efectiva no es necesario aumentar las disponibilidades del elemento nitrógeno, sino optimizar el balance de nitrógeno en el suelo (Delgado P, 2004); maximizando las entradas de este elemento, ya sea por fijación biológica o por captura en la atmósfera de N<sub>2</sub> y transformada a NH<sub>3</sub> - NH<sub>4</sub> utilizable, y minimizando las salidas que básicamente son por lixiviación, volatilización, cosecha y erosión.

Para minimizar la lixiviación y volatilización, es importante considerar que el nitrógeno es un elemento de alta movilidad; es decir puede ser fácilmente aprovechado por las plantas y también puede perderse fácilmente por lixiviación y volatilización, por lo que debe ser adherido al suelo, un mecanismo directo que logra este objetivo es la absorción por parte de plantas y microorganismos del suelo, lo cual está en función del tiempo de aplicación.

Estos factores que afectan significativamente la disponibilidad de nitrógeno en el suelo durante el ciclo de producción hacen complejo el manejo de dicho elemento. Por consiguiente, el manejo de fertilizantes nitrogenados esta frecuentemente asociado con sobre-aplicación, causando problemas de contaminación ambiental y gastos innecesarios de dicho insumo. En cambio, la sub-aplicación de fertilizantes nitrogenados puede generar reducciones significativas en el rendimiento. Ambos escenarios tienen implicancias económicas muy importantes debido al actual alto costo de fertilizantes nitrogenados. La tradicional metodología de sobre-aplicación de fertilizantes asociada con precios altos de fertilizantes no es permisible en la actualidad.

## 1.2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1 Generalidades sobre la Producción de Maíz

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teocinte y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del Nuevo Mundo porque su centro de origen está en América.

Cuadro 1. Clasificación Botánica del Maíz

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledoneae
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales
Familia	Poaceae o Gramínea

Tribu	Maydeae
Género	Zea
Especie	Mays
Variedades	Sweet valley

Fuente: ICTA, 2002

El maíz es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Mayde, con dos géneros: *Zea* ( $2n=20$ ) y *Tripsacum* ( $2n=36$ ). El género *Zea* tiene además de la especie *Z. mays* (maíz común), cuatro especies conocidas como Teosintes (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*). Es una gramínea anual, robusta, de 1-4 m de altura, determinada, normalmente con un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles, hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabras en parte inferior, monoica con flores masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; potándrica con la floración masculina ocurriendo normalmente 1-2 días antes que la femenina, polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen:25-30 mil granos por óvulo, granos en hileras incrustados en el olote, mazorca en su totalidad cubierta por hojas; grano cariopsis; metabolismo fotosintético C4.

Globalmente, el maíz se cultiva en más de 158.69 millones de hectáreas (USDA, 2009) con una producción anual de más de 772 millones de toneladas métricas (FMI, 2009). El maíz tropical se cultiva en 66 países y es de importancia económica en 61 de ellos, cada uno de los cuales siembra más de 50 000 hectáreas con un total de cerca de 61,5 millones de hectáreas y una producción anual de 111 millones de toneladas métricas. El rendimiento medio del maíz en los trópicos es de 1 800 Kg/ha comparado con una media mundial de más de 4 000 Kg/ha. El rendimiento medio del maíz en las zonas templadas es de 7 000 Kg/ha (CIMMYT, 1994).

Hoy día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total.

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales.

### 1.2.2 Producción de Maíz en Honduras

La superficie destinada a la agricultura en Honduras es de 2.8 millones de hectáreas (Ha), de las cuales un promedio de 700.000 m<sup>2</sup> se dedican al cultivo de granos básicos. La producción de granos básicos es la actividad más importante de los pequeños agricultores es por esto que de acuerdo al último censo agrícola realizado en 1993, existen aproximadamente 317.200 explotaciones agrícolas, de las cuales el 82% poseen una extensión menor a 14 manzanas (10 ha), que ocupan el 19% de la superficie en fincas. El 75% de estas fincas están ubicadas en laderas muy frágiles y poco fértiles (SAG, 2008).

La producción de maíz en Honduras tiene una estacionalidad muy marcada. El 79,7 % de la superficie total sembrada corresponde al ciclo de primera y genera el 82,6 % de la

producción total obtenida. Los meses ideales para la siembra de primera son Mayo, Junio y Julio. Asimismo, el 20,3 % corresponde al ciclo de postrera que inicia con las últimas lluvias de primera y genera un 17,4 % de la producción total obtenida (Wagner, 2003).

Existen dos variedades de maíz que se cultivan en Honduras estas son variedades de polinización libre y de polinización controlada o híbridos, los híbridos dan más rendimientos pero son más difíciles de manejar, además éstas tienen un costo alto por lo que se requieren de condiciones adecuadas para su producción como: precipitación y fertilidad de suelos. “Las variedades públicas que se comercializan en el país son: Tuxpeño, Guayape y HB-104 teniendo mejores rendimientos el Tuxpeño, sin embargo en zonas semiáridas como Choluteca algunos productores prefieren el HB-104 por considerarlo más rústico a la sequía” (Reconco, 2009 <sup>1</sup>).

El maíz es un cultivo que se adapta a casi todo tipo de suelo que con un buen manejo y variedades adaptables a esas condiciones se pueden obtener altos rendimientos; sin embargo los suelos excesivamente pesados (arcillosos) o los muy sueltos (arenosos) son los peores para el maíz.

Según la Secretaria de Agricultura y Ganadería, los suelos más idóneos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua. Se adapta bien a la acidez alcalinidad del terreno. Puede cultivarse con buenos resultados entre Ph 5.5 y 7.0, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (Ph entre 5.5 y 6.5)

### **1.2.3 Principales deficiencias de Nutrientes en el Maíz**

**Nitrógeno(N):** En un cultivo joven una deficiencia en nitrógeno se ve reflejada en el amarillamiento de la planta, cuando el cultivo está en un ciclo adulto la deficiencia de nitrógeno (amarillamiento) se muestra en forma de v invertida desde la punta. El N es fácilmente transportado en la planta.

**Fósforo (P):** El maíz deficiente en fósforo presenta hojas color verde oscuro y los bordes y puntas de color violáceo. Es fácil localizar esta deficiencia en hojas jóvenes y se nota cuando las hojas presentan una marcada disminución del crecimiento inicial.

**Potasio (k):** La deficiencia de potasio se muestra a causa de amarillamiento y necrosis de los márgenes de las hojas, comenzando en las hojas más jóvenes. Puede continuar toda la planta si la deficiencia persiste.

**Azufre (S):** En plantas jóvenes los síntomas de deficiencia de azufre son similares a los de nitrógeno. El amarillamiento de hojas superiores, más jóvenes, es marcado porque el S no es fácilmente transportado en la planta. Ver Anexo N°3

---

(1) Reconco,R. 2009. Variedades de maíz en Honduras. Zamorano, EAP.(entrevista).

#### **1.2.4 Reflectancia de las Hojas**

Las hojas son de los elementos estructurales de la planta que más influencia tiene en el espectro electromagnético (Anexo 4) debido a que está más expuesta a la radiación solar, la energía electromagnética es reflejada, absorbida y transmitida por la planta.

Las longitudes de onda del espectro electromagnético más importantes para las plantas son el infrarrojo y la parte visible. La parte visible se divide en longitudes de onda que corresponden a la banda del azul, rojo y verde, de igual manera el infrarrojo se divide en sub regiones como: el infrarrojo cercano, medio y lejano.

Los cloroplastos contienen 70% del nitrógeno de la hoja, por lo que la clorofila es la principal responsable de las propiedades de reflectancia y trasmisión de la radiación del espectro visible y tiene estrecha correlación con la concentración de nitrógeno del follaje de las plantas en un rango de 550 nm a 660 nm (Reyna, 2007).

Según un estudio realizado en las instalaciones de Canadian forest service Alberta, Canadá la clorofila absorbe radiación del rango rojo y azul, lo que da como resultado una pequeña reflectancia de esos espectros por el cultivo. El pico de absorbancia del azul por la clorofila se traslapa con la absorción de los carotenoides, por lo cual la reflectancia del azul no se usa para cuantificar la clorofila (Reyna, 2007).

Mientras que la máxima absorbancia del rojo ocurre entre 660 y 680 nm, pero altas concentraciones de clorofila saturan esta región de absorción (Reyna, 2007), por lo que la concentración de clorofila se predice a partir de reflectancias entre 550 o 600 nm. Por otro lado el déficit de nitrógeno está altamente correlacionado con una reducción en la concentración de clorofila y claramente asociado con un incremento de la reflectancia del verde.

#### **1.2.5 Situación Mundial del Maíz**

Según estudio de la (FAO, 2009) se estima que la población mundial que actualmente es aproximadamente de 6,000 millones de habitantes, para el año 2030 alcanzará los 8 000 millones, 2,000 millones más que en la actualidad, con la mayor parte de ese incremento en los países en vías de desarrollo. Por tal motivo el maíz tropical continuará teniendo una alta demanda de esta población en aumento. Se pronostica que serán necesarias 60 millones de toneladas adicionales para suplir dicha demanda en el 2030.

Por otro lado, el nivel de vida continúa en crecimiento sobre todo en los países asiáticos, por lo que la demanda de maíz para consumo animal crece a tasas considerables; entonces la demanda de maíz para alimentación animal aumentará de los 165 millones de toneladas actuales a casi 400 millones en 2030, o sea un aumento de 235 millones de toneladas (240%) (FAO, 2009)

Doscientos noventa y cinco millones de toneladas adicionales serán necesarias para cubrir tanto las necesidades de consumo humano como animal, en muchos países será difícil aumentar el área cultivada y el incremento en la producción de maíz tendrá que basarse en un aumento de la productividad, sostenibilidad y en la intensificación de los cultivos anuales.

La producción de biocombustibles también está relacionada con la producción de maíz, debido a que una inflación en los precios del petróleo motiva a la búsqueda de productos sustitutos como el biodiesel y etanol cuya materia prima principal es el maíz, resultando en un aumento de precios no sólo del maíz si no de los alimentos básicos en general; por tal motivo el precio internacional de los granos y alimentos en general no descenderán sólo hasta cuando baje el costo del petróleo.

Los precios en el mercado internacional del maíz son fluctuantes ya que depende de muchos factores como incremento de la población mundial, precio del petróleo, precio de insumos (fertilizantes) y de los pronósticos de precios en las bolsas de futuros; tanto el CME y el CBOT han pronosticado un decrecimiento en el precio del bushel del maíz, debido a las condiciones de cosecha que han tenido los productores en Estados Unidos y su altos rendimientos históricos de producción. Las ventas físicas de maíz de los inventarios de la cosecha del ciclo anterior por parte de los agricultores, es un factor de presión a los precios. A medida que se acerca la cosecha, la estructura de precios del mercado tiende a la baja.

### **1.2.6 Función de Producción Neoclásica**

Una función de producción describe la relación técnica que transforma insumos (recursos) a productos finales. Los matemáticos definen una “función” como la regla para asignar a cada valor de un grupo de variables “X” (el dominio de la función) un valor único de otro grupo de variables “Y” (el rango de la función) (Arias, 2007).

La función de producción a medida que aumenta el uso del insumo, la productividad del insumo también aumenta al principio. La función de producción se mueve hacia arriba a una tasa incremental hasta llegar a un punto llamado punto de inflexión y es en esta etapa donde la función de producción aumenta a una tasa decreciente.

### **1.2.7 Ley de los Retornos Marginales Decrecientes**

La ley de rendimientos marginales decrecientes se expresa cuando cada unidad adicional de los insumos involucrados en la producción de un bien aporta cada vez menos al valor total de la producción. Cuando la productividad marginal de cada insumo se anula es el tope del máximo de producción al que puede aportar este insumo, donde las contribuciones marginales de cada unidad de los insumos de la producción es nula es precisamente donde se logra el nivel máximo de producción.

La ley de los retornos marginales decrecientes más bien se refiere a la tasa de cambio en la pendiente de la función de producción. Esto es llamado algunas veces la curvatura de la función de la producción (Arias, 2007).

### **1.3 ANTECEDENTES**

Siendo el maíz un cereal de gran valor para nuestros países, y elemento fundamental en nuestras dietas, el manejo de la producción y el uso de tecnologías que desarrollen un mejor producto a menor costo para el productor, este es el matiz central de este estudio.

Varias investigaciones se han realizado con el objetivo común de mejorar los rendimientos en cereales de importancia económica como el arroz y trigo probando nuevas técnicas, y tecnologías. Por ejemplo, investigadores en los Estados Unidos, han estimado en el campo los niveles de clorofila en las hojas del maíz como una respuesta a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, usando el medidor de clorofila SPAD como tecnología.

La directa medición de concentración de nitrógeno en la hoja, realizada en procedimientos de laboratorio es laboriosa, consume tiempo y es costosa; Por lo tanto tales procedimientos tienen uso limitado, como herramienta que permita optimizar el análisis de nitrógeno, debido a la demora que existe entre el muestreo y la obtención de resultados.

El medidor de clorofila (SPAD) provee un simple, rápido y más cuidadoso método para estimar el contenido de clorofila en la hoja (Watanabe, 1980). La habilidad de predecir el contenido de clorofila en el área de una hoja a partir del SPAD fue probado en varios cultivos. Debido a la buena correlación entre el contenido de clorofila en las hojas y la concentración de nitrógeno, la medición de clorofila provee una evaluación indirecta del nivel de nitrógeno en la planta (Anexo 5).

La gestión adecuada de nitrógeno influye en el rendimiento del maíz y la calidad del grano. Un nivel incorrecto de nitrógeno y su aplicación en una etapa de crecimiento inadecuada puede reducir el rendimiento, reducir el valor de mercado de algunos cereales, e incluso aumentar la incidencia de enfermedades. Además, los niveles sub-óptimos de nitrógeno en etapas de crecimiento discreta pueden reducir sustancialmente la productividad de las plantas.

Para hacer frente a la necesidad, de una herramienta de administración de nitrógeno en tiempo real se ha creado el medidor de clorofila SPAD, el proyecto líder que se inició en 1998, para desarrollar una carta de colores basado en las hojas (LCC) y así estimar el nivel de nitrógeno en la hoja de arroz sobre la base de la hoja de color. En un experimento controlado, la hoja de arroz fue medida con un espectrofotómetro, descomponiéndolo en tres dimensiones de espacio de color con las denominaciones de luminosidad, escala de rojo a verde, y escala de amarillo y azul, respectivamente.

Debido al alto costo de tecnologías como el medidor de clorofila SPAD, el acceso a dicha tecnología es muy limitado sobre todo para los productores de bajo ingreso. Sin embargo, otra tecnología, rápida no destructiva para estimar el estatus de nitrógeno en la hoja es la carta de colores basada en las hojas (LCC) por sus siglas en inglés. Actualmente existen cartas de colores LCC desarrolladas para determinar el verdor en arroz.

Los más comunes fueron desarrollados por el instituto internacional de investigación del arroz (IRRI); Universidad Agrícola de Zhejiang (ZAU), China y; la Universidad de California UC Davis (Anexo 6), USA.

La gama de colores verdes es visiblemente diferente en las cartas de colores. A diferencia del SPAD (el cual mide la absorción de luz), el LCC mide el verdor de la hoja y la asociación del nitrógeno en la planta comparando visualmente la reflexión de la luz desde la superficie de las hojas.

La carta de colores basado en las hojas ha sido utilizado en arroz y para la administración de nitrógeno en tiempo real en campos de varios países (Balasuangbramanian, 1999). Sin embargo, existe muy, limitada información disponible en la efectividad de la carta de colores para la optimización nitrógeno en maíz.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La creación de nuevas tecnologías podría permitir a los agricultores de pequeña y mediana escala optimizar sus rendimientos de producción, minimizando sus costos y obteniendo mejores márgenes de utilidad dentro de un marco de responsabilidad ambiental. La necesidad surge a medida que los mercados tanto locales como internacionales abren sus puertas hacia la globalización lo cual demanda una alta eficiencia de parte de los productores.

El maíz constituye para Honduras y para los países de la región uno de los cultivos de mayor importancia, no sólo por su valor nutritivo, ya que está presente en la dieta de sus habitantes, sino también por el valor económico que representa. Con esto en mente, se ha identificado la oportunidad de generar una carta de colores basado en el principio del medidor de clorofila SPAD para el maíz. Brindando al agricultor una herramienta que le permita alcanzar rendimientos óptimos minimizando costos.

El estudio tiene dos implicaciones importantes; uno de ellos es el incremento de los precios de los insumos agrícolas específicamente los fertilizantes nitrogenados, así como también el incremento de demanda de maíz a causa de la creciente demanda de biocombustibles. Esto genera la necesidad de aumentar la producción haciendo un mejor uso de los costos de los fertilizantes nitrogenados. Una de las formas de ejecutarlo es a través de un uso adecuado de fertilizantes usando tecnologías accesibles al productor.

El uso de una función de producción es importante ya que de esta se obtiene información referente a la cantidad de productos que se espera producir, implicando directamente la combinación de insumos a utilizar para poder determinar la cantidad adecuada que

permite maximizar ganancias, tomando en cuenta el precio del insumo en el mercado, y establecer nuestro optimo de producción.

En este estudio se pretende generar un disco de colores, ya calibrado, normalizado estadísticamente y para ser usado. Esto permitirá al agricultor lograr la optimización del uso del nitrógeno, disminuir sus costos e incrementar su producción, esto gracias a la valiosa colaboración de Dorivar Ruiz Días Ph.D. profesor del departamento de agronomía de la universidad estatal de Kansas.

## **1.5 LÍMITE DEL ESTUDIO**

El estudio está limitado a las condiciones del lugar (Edáficas y climáticas), a las prácticas culturales que se le dé al cultivo, control de plagas, época sembrada, y variedades en la región.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 Objetivo General**

Crear un disco de colores de diagnóstico visual para nitrógeno en maíz basado en el principio del medidor de clorofila SPAD, que sea económicamente accesible a pequeños y medianos productores.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Optimización agrícola y económica en el uso de fertilizantes nitrogenados para la producción de maíz.
- Desarrollo de una función de producción para la optimización del uso del nitrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays*).
- Realizar un análisis estadístico para determinar la función de producción más adecuada para la calibración del disco de colores.
- Normalizar el disco de colores para su uso en el campo



## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este proyecto consistió en tres fases de estudio, las primeras dos fueron de campo y la última de laboratorio, la primera fase de estudio (invernadero) se llevó a cabo en la Universidad Estatal de Kansas, la segunda fase se realizó en La Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y la tercera fase consistió en el análisis estadístico y económico del estudio; a continuación se detalla cada una de las fases con sus actividades:

### **2.1 FASE 1**

La fase 1 se realizó en la ciudad de Manhattan, Kansas en el Departamento de Agronomía de la Universidad Estatal de Kansas, la cual consistió en un experimento de invernadero bajo condiciones controladas, para la creación de un disco de colores que más se ajuste a los colores reales del tejido del maíz, con diferentes tonalidades de verde para representar las deficiencias de nitrógeno en maíz.

Para poder entender la alta correlación que tiene el nitrógeno con el color verde de la planta y éste con su producción se necesitan de herramientas especializadas como el SPAD que permita estimar el valor de nitrógeno en la hoja de maíz, de igual forma se requiere analizar y descomponer los posibles colores, dentro de un rango racional de verdes, para la creación del disco de colores para el maíz.

#### **2.1.1 Experimento de Campo**

Se realizó el experimento de campo con un diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos de nitrógeno (N) a diferentes dosis, para simular una curva deficiente de N en el experimento, con 3 repeticiones de cada tratamiento (Anexo 21).

La unidad experimental consistió en una cubeta de plástico de (0.0212057 m<sup>3</sup>), con ½ de tierra negra y ½ de arena blanca para reducir el efecto que tendría el nitrógeno ya existente en el suelo y forzar al control 0 a presentar clorosis.

Se sembraron 5 semillas de maíz por unidad experimental para luego dejar una planta por unidad al realizar un raleo en la primera semana después de la siembra.

### **2.1.1.1 Materiales**

- 200 gr de maíz dulce variedad (Ferry Morse)
- Medidor de clorofila SPAD
- Una Regla de colores para arroz creada por Universidad de Davis California
- Software IM color picker vs. 0.0.1.0
- Balanza electrónica
- Cámara digital de 12 mega pixeles
- 24 Cubetas de plástico de 0.0212057 m<sup>3</sup>
- una tabla de colores de plantas de munsell
- 24 tabletas plásticas para identificación
- 15 gramos de urea
- Un paquete de análisis statpro

## **2.2 FASE 2**

Esta etapa sirvió para determinar los datos donde se demuestre la relación técnica de color verde y la producción, mediante una función de producción, y así determinar estadísticamente cuál es el efecto del nitrógeno en la producción de Maíz en función de la variabilidad del color verde.

### **2.2.1 Tratamientos y Variable Respuesta**

La variable independiente que se estudió es el nivel de nitrógeno (N), donde se evaluaron las siguientes dosis:

T1: 10 Kg/ha

T2: 30 Kg/ha

T3: 60 Kg/ha

T4: 100 Kg/ ha

T5: 160 Kg/ha

Las dimensionales de la variable respuesta, y los tratamientos efectuados de las aplicaciones de nitrógeno, fueron extrapoladas a Kilogramos/ hectárea para una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

### **2.2.2 Diseño Experimental**

El diseño experimental que se utilizó fue bloques completos al azar (BCA) con parcelas subdivididas.

Dicho experimento se realizó en campo, en el lote 16 de zona 2, departamento de hortalizas en la Escuela Agrícola Panamericana ( Anexo 22). Aunque no existe una gradiente definida, se consideró este tipo de diseño por ser el más idóneo para evaluaciones en campo libre, para reducir efectos de fertilidad básica, pendiente, borde u otro efecto.

Se tomó en cuenta el criterio general de tres repeticiones para investigaciones agrícolas y reducir el error, resultando un total de 15 parcelas grandes con 30 parcelas subdivididas.

El tamaño de la unidad experimental (parcela) fue de 18 m<sup>2</sup>. El área total del experimento fue de 504 m<sup>2</sup> (0.0504 ha.) la parcela neta descontando los bordes fue de 420 m<sup>2</sup>. El distanciamiento de siembra fue de 30 cm a doble hilera con un distanciamiento entre camas de 1.5 m, para un total de 2240 plantas en el experimento y 80 plantas por tratamiento. Así mismo se dejó un borde de 5 y 1.5 m. entre tratamientos y alrededor de todas las unidades experimentales, para evitar efecto de borda.

### **2.2.3 Materiales**

- 250 g de maíz dulce variedad Sweet valley
- ¼ de paca de Peatmost
- 14 bandejas de 200 semillas cada una
- 15 kg de 46-0-0
- 20 kg de 0-0-60
- 15 kg 18-46-0
- 2,700 plántulas de maíz Sweet valley
- Un disco de diferentes tonalidades de verde
- 12 mangueras de riego por goteo de 28 ms de largo
- Una balanza electrónica

### **2.3 FASE 3**

Esta fase consistió en el análisis estadístico de los datos obtenidos en las fases anteriores que sirvió también para seleccionar cuál fue el modelo de la función de producción que tenga mejor significancia estadística y cuál es el impacto económico de la marginalidad de la aplicación del fertilizante contra la ganancia en producción según el disco de colores de verde.

## **Análisis estadístico y económico**

### **2.3.1 Selección del mejor modelo para función de producción**

Utilizando estadística inferencial, la cual permitió trabajar y comprender la relación entre la variable independiente con la pendiente y la dependiente, mediante ecuaciones, derivadas de análisis de regresión múltiple en cada modelo planteado.

Se corrieron una serie de modelos en el programa SAS (Statistical Analysis System), para luego seleccionar el mejor modelo que describa la mejor relación técnica de cantidades de nitrógeno (Kg/ha) con la producción de maíz (Kg/ha). Los parámetros evaluados en análisis estadístico de cada modelo fue: la estadística de regresión, en donde se tomó en cuenta el coeficiente de correlación múltiple, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), como ( $R^2$ ) ajustado y error típico, T value (Significancia estadística).

En lo referente al análisis de varianza, fue evaluado: Suma de cuadrados, valor de distribución F, valor crítico de F, coeficientes, error típico, T estadístico, y análisis de residuales (residuos estándares). (Ver Anexo 19).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 FASE 1

##### 3.1.1 Descomposición de Colores

Se utilizó el software IM color picker vs. 0.0.1.0 (Anexo 7) para realizar una descomposición de los colores verdes en valores de: rojo, verde y azul según la parte visible del espectro electromagnético. Adecuándolos al lenguaje de colores Office (RGB) Para lo cual, se analizaron imágenes de hojas reales de maíz y reglas de colores de arroz (LCC) creadas por la Universidad de California (ver Anexo 8).

Cuadro 2. Descomposición de colores basados en el LCC por el software IM color Picker traducidos al lenguaje Office (RGB).

<b>Y</b>	<b>Red</b>	<b>Green</b>	<b>Blue</b>
<b>1</b>	173	179	38
<b>2</b>	144	167	28
<b>3</b>	141	160	51
<b>4</b>	138	154	42
<b>5</b>	114	141	52
<b>6</b>	103	127	39
<b>7</b>	91	116	30
<b>8</b>	88	101	48

Fuente: Autores

Los datos del cuadro anterior se analizaron estadísticamente mediante correlaciones, para definir qué color es más representativo en la formación del color verde óptimo para el arroz en el LCC. De esta manera lograr formar ecuaciones matemáticas que permitan manejar la sensibilidad de las distintas tonalidades de verde en la creación de diferentes discos

Cuadro 3. Análisis estadístico para el color rojo

<i>Results of simple regression for Red</i>							
<b>Summary measures</b>							
	Multiple R	0.9769					
	R-Square	0.9544					
	StErr of Est	6.8727					
<b>ANOVA table</b>							
	Source	df	SS	MS	F	p-value	
	Explained	1	5928.5952	5928.5952	125.5151	0.0000	
	Unexplained	6	283.4048	47.2341			
<b>Regression coefficients</b>							
		Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
	Constant	177.4643	5.3552	33.1389	0.0000	164.3607	190.5679
	Y	-11.8810	1.0605	-11.2034	0.0000	-14.4759	-9.2860

Fuente: Autores

Del cuadro anterior se puede inferir que el color rojo es estadísticamente representativo en la composición del color verde, además tiene alta correlación en la combinación óptima del color verde de LCC para arroz con un  $R^2$  de 95%, también se infiere que en la ecuación resultante  $Y = 177.4643 - 11.8810X$  del análisis el color rojo tiene una relación inversamente proporcional en relación a la tonalidad de verde es decir a que a menor intensidad de verde mayor color rojo y viceversa.

El t-value nos muestra el peso de las variables en valor absoluto dentro del modelo y son mayores a 1 en este caso el intercepto contribuye positivamente al modelo y la pendiente en forma negativa.

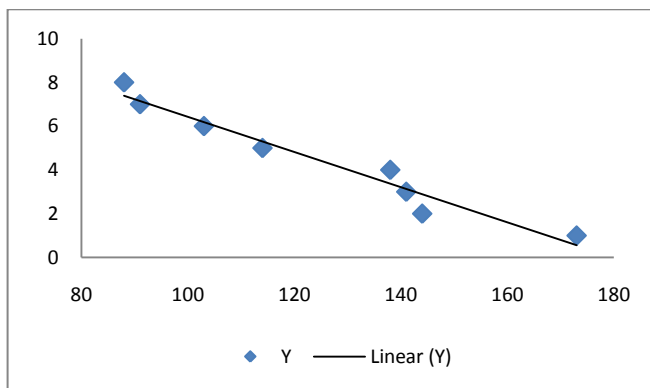


Figura 1. Valor observado (Ajustado) vs color rojo

Fuente: Autores

En la figura anterior los valores del color rojo presentan una tendencia lineal, los datos están casi perfectamente aglomerados en la línea de regresión lo que indica que tienen una alta correlación con los valores del LCC en la formación del color verde.

Los valores observados están muy cerca de la línea de regresión disminuyendo así los valores residuales, mientras menores sean los residuales mayor correlación se presenta. Sumatoria de residuos debe ser igual a cero. La línea tiene un buen ajuste entre los valores observados por el IM Picker color y los estimados por el modelo de regresión, por lo tanto el error es mínimo entre la recta de regresión y los puntos observados.

Cuadro 4. Valores ajustados vs residuales del color rojo

<b>Fitted Values</b>	<b>Residuals</b>
165.5833	7.4167
153.7024	-9.7024
141.8214	-0.8214
129.9405	8.0595
118.0595	-4.0595
106.1786	-3.1786
94.2976	-3.2976
82.4167	5.5833

Fuente: Autores

En el cuadro anterior de los valores ajustados y residuales del color rojo los signos deben estar aleatoriamente distribuidos sin ningún patrón, por lo que no existe colinealidad en el modelo.

Cuadro 5. Análisis estadístico para el color verde

<i>Results of simple regression for Green</i>							
<b>Summary measures</b>							
	Multiple R	0.9927					
	R-Square	0.9855					
	StErr of Est	3.4918					
<b>ANOVA table</b>							
	Source	df	SS	MS	F	p-value	
	Explained	1	4961.7202	4961.7202	406.9499	0.0000	
	Unexplained	6	73.1548	12.1925			
<b>Regression coefficients</b>							
		Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
	Constant	192.0357	2.7208	70.5815	0.0000	185.3782	198.6932
	Y	-10.8690	0.5388	-20.1730	0.0000	-12.1874	-9.5507

Fuente: Autores

Del cuadro anterior se puede inferir que el color verde es estadísticamente representativo, en la composición del color verde, además tiene alta correlación en la combinación óptima del color verde de LCC para arroz con un  $R^2$  de 98%, también se infiere que en la ecuación resultante  $Y = 192.0357 - 10.8690X$  del análisis el color verde tiene una relación inversamente proporcional en relación a la tonalidad de verde es decir que a menor valor expresado en el lenguaje de Office (RGB), se obtiene mayor intensidad del color verde en el LCC y viceversa.

El t-value nos muestra el peso de las variables en valor absoluto dentro del modelo y son mayores a 1 en este caso el intercepto contribuye positivamente al modelo y la pendiente en forma negativa.

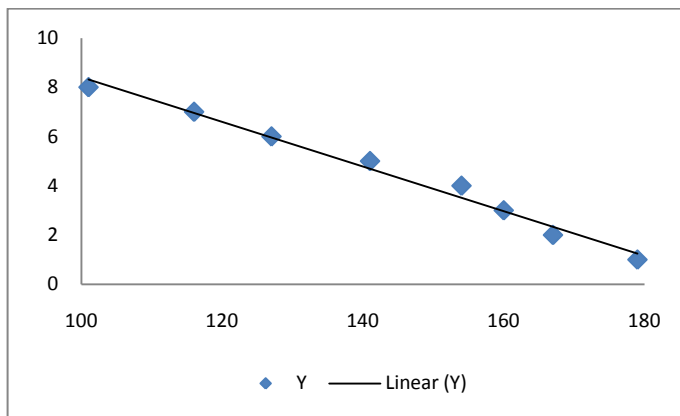


Figura 2. Valor observado (Ajustado) vs color verde  
Fuente: Autores

En la figura anterior los valores del color verde presenta una tendencia lineal, los datos están casi perfectamente aglomerados de la línea de regresión lo que indica que tienen una alta correlación con los valores del LCC en la formación del color verde.

Los valores observados están muy cerca de la línea de regresión disminuyendo así los valores residuales, mientras menores sean los residuales mayor correlación se presenta. Sumatoria de residuos debe ser igual a cero.

La línea tiene un buen ajuste entre los valores observados por el IM Picker color y los estimados por el modelo de regresión, por lo tanto el error es mínimo entre la recta de regresión y los puntos observados.



Cuadro 6. Valores ajustados vs residuales del color verde

<b>Fitted Values</b>	<b>Residuals</b>
181.1667	-2.1667
170.2976	-3.2976
159.4286	0.5714
148.5595	5.4405
137.6905	3.3095
126.8214	0.1786
115.9524	0.0476
105.0833	-4.0833

Fuente: Autores

El cuadro anterior de los valores ajustados y de los residuos del color verde los signos deben estar aleatoriamente distribuidos sin ningún patrón, por lo que no existe colinealidad en el modelo.

Cuadro 7. Análisis estadístico para el color Azul

<i>Results of simple regression for Blue</i>							
<b>Summary measures</b>							
	Multiple R	0.1739					
	R-Square	0.0302					
	StErr of Est	9.6319					
<b>ANOVA table</b>							
	Source	df	SS	MS	F	p-value	
	Explained	1	17.3571	17.3571	0.1871	0.6805	
	Unexplained	6	556.6429	92.7738			
<b>Regression coefficients</b>							
		Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
	Constant	38.1071	7.5051	5.0775	0.0023	19.7428	56.4715
	Y	0.6429	1.4862	0.4325	0.6805	-2.9938	4.2795

Fuente: Autores

Se puede inferir en el cuadro anterior que el color azul no es estadísticamente representativo, el modelo no tiene poder predictivo, y no tiene correlación en la combinación óptima del color verde de LCC para arroz con un  $R^2$  de 3%. También se infiere que en la ecuación resultante del análisis el color verde empieza en 38u y aumenta en 0.64u por cada cuadro de color verde que existe en el LCC.

El t-value muestra el peso de las variables en valor absoluto dentro del modelo y son mayores a 1; en este tanto el intercepto como la pendiente contribuyen positivamente al modelo.

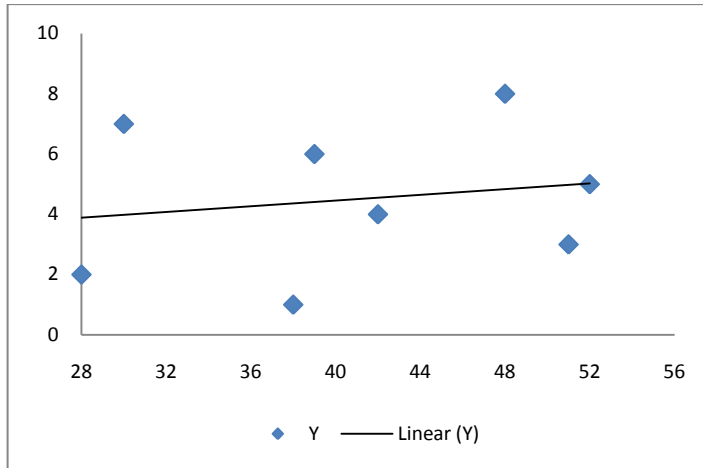


Figura 3. Valor observado (Ajustado) vs color azul

Fuente: Autores

En la figura anterior se aprecia que el color azul no presenta una tendencia lineal, los datos no están aglomerados alrededor de la línea de regresión lo que indica que no tienen correlación entre los valores obtenidos por el IM picker color y los valores estimados por este modelo.

Los valores observados están alejados de la línea de regresión aumentando así los valores residuales, entonces mientras mayores sean los residuales menos correlación se presenta; esto se da por que el color azul en la planta no es reflejado por los cloroplastos si no absorbido por los carotenoides.

Cuadro 8. Valores ajustados vs residuales del color azul

<b>Fitted Values</b>	<b>Residuals</b>
38.7500	-0.7500
39.3929	-11.3929
40.0357	10.9643
40.6786	1.3214
41.3214	10.6786
41.9643	-2.9643
42.6071	-12.6071
43.2500	4.7500

Fuente: Autores

El cuadro anterior de los valores ajustados y residuales del color azul los signos deben estar aleatoriamente distribuidos sin ningún patrón, por lo que no existe colinealidad en el modelo.

El color azul por no tener suficiente correlación y alto poder de predicción de la variable independiente (sensibilidad) hacia la variable dependiente (color) se la utilizó como constante del modelo para la creación de los discos.

### 3.1.2 Creación de Discos para Maíz

La creación de los diferentes discos se realizó mediante la asignación de valores a “x” para cada una de las ecuaciones obtenidas por la regresión de los colores rojo y verde del LCC, dejando al color azul como constante. Los valores (escalas) utilizados para los discos fueron: 0.4 y 1; aumentando o disminuyendo así la sensibilidad de los discos buscando mantenerse siempre dentro del espectro de colores reales para el cultivo de maíz.

#### 3.1.2.1 Disco para maíz sensibilidad 15 colores a escala de 1

Función matemática color Rojo

y= rojo

x= sensibilidad

$$y = -11.8810x + 177.46 \quad \left[ \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$$

Función matemática color Verde

y= verde

x= sensibilidad

$$y = -10.8690x + 192.03 \quad \left[ \begin{array}{c} 2 \\ 2 \end{array} \right]$$

Color Azul

Constante= 41

Este disco cuenta con sensibilidad de 15 colores a una escala de 1 color por cuadro, siendo el doble de sensible que el LCC para el arroz. Nótese que los colores fueron comparados con la tabla de munsell para hojas, por lo que los colores verdes creados están dentro de un rango racional para las plantas de maíz. (Ver Anexo 9 y 10).

#### 3.1.2.2 Disco para maíz sensibilidad 30 colores a escala de 0.4

Función matemática color Rojo

y= rojo

x= sensibilidad

$$y = -11.8810x + 177.46 \quad \left[ \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right]$$

Función matemática color Verde

y= verde

x= sensibilidad

$$y = -10.8690x + 192.03 \quad [ 2 ]$$

Color Azul

Constante= 41

Este disco cuenta con sensibilidad de 30 colores a una escala de 0.4 escalas de color por cuadro, nótese que los colores fueron comparados con la tabla de munsell para hojas, por lo que los colores verdes creados están dentro de un rango racional para las plantas de maíz. (Ver Anexo 11 y 12).

### 3.1.2.3 Disco para maíz sensibilidad 20 colores a escala de 1

Función matemática color Rojo

y= rojo

x= sensibilidad

$$y = -11.8810x + 177.46 \quad [ 1 ]$$

Función matemática color Verde

y= verde

x= sensibilidad

$$y = -10.8690x + 192.03 \quad [ 2 ]$$

Color Azul

Constante= 41

Este disco cuenta con sensibilidad de 20 colores a una escala de 1 escala de color por cuadro, nótese que los colores fueron comparados con la tabla de munsell para hojas, por lo que los colores verdes creados están dentro de un rango racional para las plantas de maíz. (Ver Anexo 13 y 14).

### 3.1.2.4 Toma de Datos y Selección del Mejor Disco

Se realizó una selección del mejor set de colores haciendo una correlación utilizando statpro en la hoja de cálculo Excel, con los datos de la concentración de clorofila (SPAD) y los números de los colores por cada disco creado.

Mostrando los valores más altos de correlación ( $r=0.9$ ) como el disco que más significancia estadística tiene y más se ajusta a la realidad comparándolos también con la tabla de Munsell de colores en plantas para descartar colores que no tengan una prospectiva real.

El siguiente cuadro presenta los datos obtenidos de los diferentes tratamientos en el invernadero, tanto con el SPAD como con el disco de colores (15-1).

Cuadro 9. Datos SPAD color (Disco 15- 1)

<b>30 Kilogramos/ha</b>		<b>60 Kilogramos/ha</b>		<b>0 Kilogramos/ha</b>		<b>200 Kilogramos/ha</b>	
<b>SPAD</b>	<b>Color</b>	<b>SPAD</b>	<b>Color</b>	<b>SPAD</b>	<b>Color</b>	<b>SPAD</b>	<b>Color</b>
35.8	8	36.1	11	34.4	6	31.6	7
31.4	7	38.9	12	32.2	6	34.2	10
37.9	9	38.3	12	23.7	3.5	38.2	11
37.4	13	29.0	5	19.5	1		
38.1	12	37.9	9	28.6	4		
29.8	5	39.5	13	32.3	7		

Fuente: Autores

El cuadro anterior muestra las aplicaciones de nitrógeno realizadas en el experimento bajo condiciones controladas, y la toma de datos con el SPAD y con el disco de colores (15-1) las cuales indican que a mayor valor SPAD mayor intensidad de color se obtiene en la planta. El disco 15 – 1 tiene 15 colores yendo desde las intensidades de verde más bajas hacia intensidades de verde mas fuertes a una escala de 1.

Los datos del estudio fueron tomados al medio día para que las condiciones de luz (Irradiación) sean las óptimas y no caer en un error a la hora de la toma de datos, la persona que tomó los datos utilizó la sombra de su cuerpo para evitar de una forma directa la luz solar y tener así problemas de reflectancia.

A este proceso se le sumó características importantes como: las características del suelo, la irradiación, el ángulo de observación y las condiciones atmosféricas que también influyen cuando se compara el disco de colores y la hoja de Maíz. Se tomaron datos a partir de la décima hoja verdadera (Masako y Takamatsu, 1989).

Cuadro 10. Análisis estadístico SPAD vs color (Disco 15 – 1)

<i>Regresión estadística SPAD vs Color</i>						
Multiple R	0.92					
R Square	0.84					
Adjusted R Square	0.83					
Standard Error	2.17					
Observations	21					
ANOVA						
	<i>Df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	470.20	470.20	99.72	5.38E-09	
Residual	19	89.59	4.72			
Total	20	559.79				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	22.03	1.25	17.64	0.00	19.41	24.64
Color del disco	1.41	0.14	9.99	0.00	1.12	1.71

Fuente: Autores

En el cuadro anterior el análisis mostró un 92% y 84% de múltiple R y  $R^2$  respectivamente, lo que indica que es un modelo altamente predictivo y confiable, tanto los valores del SPAD en cada tratamiento como los del disco de colores 15-1 tienen alta correlación, se asemejan entre sí. La función de esta regresión es  $y = 1.41x + 22.03$

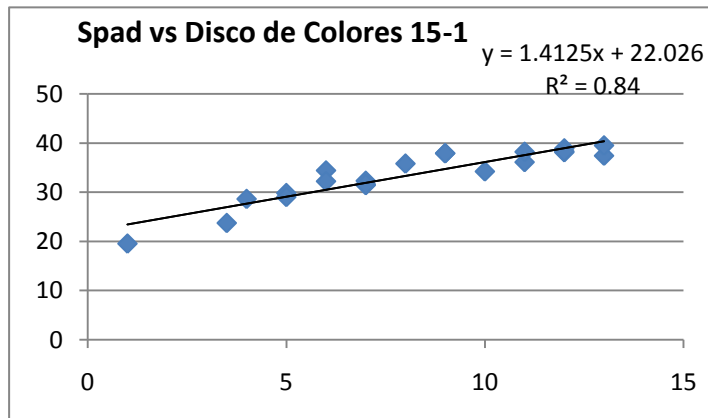


Figura 4. Valores observados vs disco de colores 15-1

Fuente: Autores

En la figura anterior los datos SPAD presentan una tendencia lineal, los datos están perfectamente ubicados cerca de la línea de regresión lo que indica que tienen una alta correlación con los colores del disco de colores 15 – 1 u.

Los valores observados están muy cerca de la línea de regresión disminuyendo así los valores residuales, entonces mientras menores sean los residuales mayor correlación se presenta. Sumatoria de residuos debe ser igual a cero. La línea tiene un buen ajuste por que el error es mínimo entre la recta y los puntos observados.

Cuadro 11. Datos SPAD – color (Disco 30-0.4)

30 Kilogramos/ha		60 Kilogramos/ha		0 Kilogramos/ha		200 Kilogramos/ha	
SPAD	Color	SPAD	Color	SPAD	Color	SPAD	Color
21	36.1	13	35.8	20	34.4	23	31.6
24	38.9	15	31.4	20	32.2	20	34.2
24	38.3	16	37.9	11	23.7	24	38.2
20	29.0	17	37.4	8	19.5		
24	37.9	21	38.1	14	28.6		
22	39.5	14	29.8	15	32.3		

Fuente: Autores

El cuadro anterior muestra las aplicaciones de nitrógeno realizadas en el experimento bajo condiciones controladas, y la toma de datos con el SPAD y con el disco de colores (30-0.4) las cuales indican que a mayor valor SPAD mayor intensidad de color se obtiene en la planta. El disco 30 – 0.4 tiene 15 colores yendo desde las intensidades de verde más bajas hacia intensidades de verde mas fuertes a una escala de 0.4 u.

Para la toma de datos con este disco se tomaron las mismas consideraciones y condiciones que el disco 15 -1, puesto que fueron tomadas el mismo día y a la misma hora.

Cuadro 12. Análisis estadístico SPAD vs color (Disco 30– 0.4)

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0.74					
R Square	0.55					
Adjusted R Square	0.53					
Standard Error	3.23					
Observations	21.00					
ANOVA						
	<i>Df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	246.81	246.81	23.67	0.00	
Residual	19	198.14	10.43			
Total	20	444.95				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-3.90	4.63	-0.84	0.41	-13.60	5.80
color	0.66	0.14	4.86	0.00	0.38	0.95

Fuente: Autores

En el cuadro anterior el análisis mostró un 74% y 55% de múltiple R y R<sup>2</sup> respectivamente, lo que indica que es un modelo no tan predictivo y poco confiable para lo que se busca del disco, simule al SPAD con colores dentro de la realidad, tanto los valores del SPAD en cada tratamiento como los del disco de colores 30-0.4 no tienen una correlación aceptable.

La función de esta regresión es  $y = 0.664x - 3.904$  lo que indica que los datos están dentro de 4.568 para el color 1 y de 16.016 para el color 30

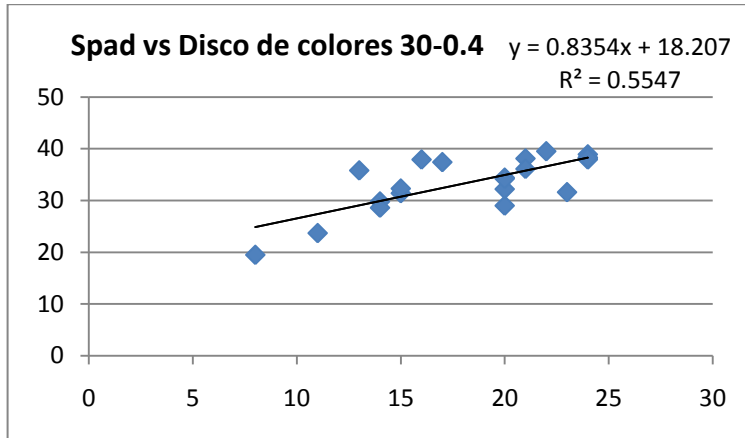


Figura 5. Valores observados vs disco de colores 30 – 0.4  
Fuente: Autores

En la figura anterior los datos SPAD presentan una tendencia lineal, los datos de este disco están ubicados más distantes de la línea de regresión que el disco 15-1 lo que indica que no tienen una correlación con el disco 30 – 0.4 aceptable.

Los valores observados se alejan de la línea de regresión aumentando así los valores residuales, entonces mientras mayor sean los residuales menor correlación se presenta.

En este caso tiende a crecer los residuales (distancia entre los valores observados y la línea de regresión). Sumatoria de residuos debe ser igual a cero. La línea se ve afectada en el ajuste por que el error cada vez es mayor entre la recta y los puntos observados.

Cuadro 13. Datos SPAD – Color (Disco 20-1)

30 Kilogramos/ha		60 Kilogramos/ha		0 Kilogramos/ha		200 Kilogramos/ha	
SPAD	Color	SPAD	Color	SPAD	Color	SPAD	Color
11.0	36.1	12.0	35.8	8.5	34.4	12.25	31.6
10.5	38.9	11.0	31.4	7.0	32.2	10.5	34.2
10.5	38.3	10.5	37.9	5.5	23.7	10.0	38.2
9.0	29.0	12.0	37.4	4.25	19.5		
11.0	37.9	12.0	38.1	6.5	28.6		
9.0	39.5	10.0	29.8	8.0	32.3		

Fuente: Autores



El cuadro anterior muestra las aplicaciones de nitrógeno realizadas en el experimento bajo condiciones controladas, y la toma de datos con el SPAD y con el disco de colores (20-1) las cuales indican que a mayor valor SPAD mayor intensidad de color se obtiene en la planta. El disco 20 – 1 tiene 20 colores yendo desde las intensidades de verde más bajas hacia intensidades de verde más fuertes a una escala 1 u.

Cuadro 14. Análisis estadístico SPAD vs Color (Disco 20 – 1)

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0.74					
R Square	0.55					
Adjusted R Square	0.53					
Standard Error	3.64					
Observations	21					
ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	308.41	308.41	23.31	0.00	
Residual	19	251.38	13.23			
Total	20	559.79				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	16.75	3.57	4.69	0.00	9.28	24.23
color	1.76	0.36	4.83	0.00	0.99	2.52

Fuente: Autores

Para la toma de datos con este disco se tomaron las mismas consideraciones y condiciones que el disco 15 -1, puesto que fueron tomadas el mismo día y a la misma hora.

En el cuadro anterior el análisis mostró un 74% y 55% de múltiple R y R<sup>2</sup> respectivamente, lo que indica que es un modelo no tan predictivo y poco confiable para lo que se busca del disco, simule al SPAD con colores dentro de la realidad, tanto los valores del SPAD en cada tratamiento como los del disco de colores 20-1 no tienen una correlación (R<sup>2</sup>) aceptable.

La función de esta regresión es  $y = 1.76x + 16.75$  lo que indica que los datos están dentro de 18.51 para el color 1 y de 51.95 para el color 30. Este rango queda fuera de los colores naturales del maíz según el SPAD.

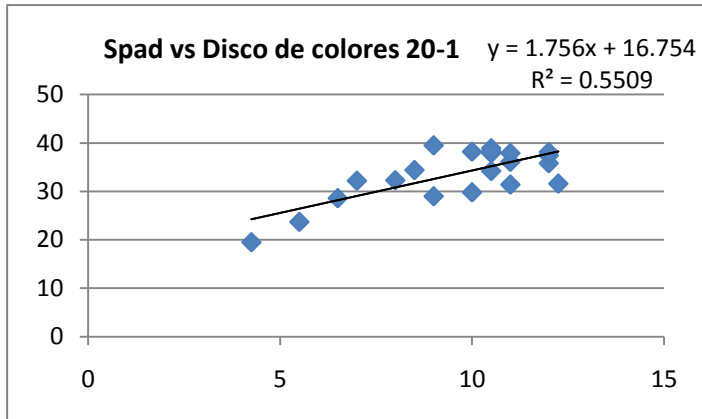


Figura 6. Valores observados vs Disco de Colores 20-1  
Fuente: Autores

En la figura anterior los datos SPAD presentan una tendencia lineal, los datos de este disco están ubicados más distantes de la línea de regresión que el disco 15-1 lo que indica que no tienen una correlación con el disco 20 - 1 aceptable.

Los valores observados se alejan de la línea de regresión aumentando así los valores residuales, entonces mientras mayor sean los residuales menor correlación se presenta. En este caso tiende a crecer los residuales (distancia entre los valores observados y la línea de regresión). Sumatoria de residuos debe ser igual a cero. La línea se ve afectada en el ajuste por que el error cada vez es mayor entre la recta y los puntos observados

Después de este análisis estadístico se escogió el disco más representativo y que más se ajuste a la realidad también que se asemeje a las lecturas que hace el SPAD. Por lo tanto el disco que reunió todas las características necesarias presentadas en este estudio fue el disco de colores 15 - 1

Función matemática de la regresión SPAD Vs Disco Colores 15 -1

Y= SPAD

X= color

$$y = 1.4125x + 22.02 \quad \left[ 3 \right]$$

Al correr este modelo con los 15 colores del disco (15-1) se encontró que los rangos de los datos están entre: 23.43886 para color 1 y 43.21411 para el color 15, lo que indica la funcionalidad y adaptación a la realidad del disco.

## 3.2 Fase 2

### 3.2.1 Preparación de suelo

Previo a la siembra se adecuó el suelo, consistiendo de una serie de labores mecánicas para roturar, desmenuzar el suelo y dejarlo en camas (1.5m entre ellas). Esto con el objetivo de facilitar el enraizamiento del cultivo, aprovechar la humedad, y evitar la germinación de malezas para luego iniciar las labores de surqueo y siembra.

### 3.1.2 Fertilización

Las aplicaciones de fertilizante para las parcelas testigo se realizó en su totalidad al momento de la siembra simulando la forma tradicional de aplicación de un agricultor pequeño en la zona. Las aplicaciones de fertilizante granular en las parcelas del tratamiento se realizaron a mano, un 30% al momento de la siembra, un 30% al momento de las 10 hojas y un 40% restante al momento de la emisión de la espiga del maíz esto tomado como base la curva de absorción de nutrientes (Anexo 15).

#### 3.1.2.1 Cálculo Fertilización

La fertilización se realizó según los requerimientos de cultivo y nutrientes del suelo que presentó el análisis de suelo (Anexo 16 y 17) realizado por la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Se ajustó las fórmulas de tal manera que el requerimiento de nitrógeno sea suplido por los demás fertilizantes. Se redujo la cantidad de DAP ya que contiene N y para efectos de estudio se necesita sólo 10 Kg/ha al inicio.

Cuadro 15. Fórmulas utilizadas y sus aportes.

Fórmulas utilizadas				kilogramos/ha	Kg/ha después de combinación		
	N	P205	K20	Formula	N	P205	K20
<b>KCl</b>	0	0	60	<b>335</b>	0	0	201
<b>DAP</b>	18	46	0	<b>56</b>	10.08	25.76	0
<b>Urea</b>	46	0	0	<b>0</b>	0	0	0
<b>Total de aporte de fórmulas</b>					<b>10.08</b>	<b>25.76</b>	<b>201</b>

Fuente: Autores

Posteriormente para seguir llenando las necesidades de nitrógeno N para los tratamientos del cultivo las cantidades en kilogramos que se agregaron a la fórmula fueron 0 Kg/ha, 45 Kg/ha, 110 Kg/ha, 196 Kg/ha, y 326 Kg/ha para obtener un total de N de 10 Kg/ha, 30 Kg/ha, 60 Kg/ha, 100 Kg/ha y 160 Kg/ha que fueron los tratamientos para este estudio.

Las cantidades de KCl y DAP se mantienen como constantes (*ceteribus paribus*) durante todo el estudio cumpliendo solamente los requerimientos necesarios para una óptima producción, tal y como se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 16. Cantidad de fertilizante por tratamiento.

Fertilizante/ Tratamientos	Cantidades en kilogramos/Tratamiento/Ha				
	t1	t2	t3	t4	t5
<b>KCl</b>	335	335	335	335	335
<b>DAP</b>	56	56	56	56	56
<b>Urea</b>	0	45	110	196	326

Fuente: Autores

El siguiente cuadro muestra la cantidad de fertilizante por unidad experimental en gramos por parcela de 6m lineales, donde KCl y DAP se mantienen constantes y la urea varió según tratamiento (Cuadro 20). Se muestra también las aplicaciones según la curva de absorción de nutrientes, al momento de la siembra y estado vegetativo V10 (30%) y al momento de la emisión de espiga (40%). Finalmente el testigo con aplicación de nitrógeno total.

Cuadro 17. Cantidad de fertilizante por unidad experimental

Tratamiento Fertilizante	gr/parcela de 6 m lineales			gr/parcela de 6 m lineales			gr/parcela de 6 m lineales		
	parcial 30%			parcial 40%			testigo total		
	KCl	DAP	Urea	KCl	DAP	Urea	KCl	DAP	Urea
<b>T1</b>	90.45	15.12	0.00	120.60	20.16	0.00	301.50	50.40	0.00
<b>T2</b>	90.45	15.12	12.15	120.60	20.16	16.20	301.50	50.40	40.50
<b>T3</b>	90.45	15.12	29.70	120.60	20.16	39.60	301.50	50.40	99.00
<b>T4</b>	90.45	15.12	52.92	120.60	20.16	70.56	301.50	50.40	176.40
<b>T5</b>	90.45	15.12	88.02	120.60	20.16	117.36	301.50	50.40	293.40
<b>total kg</b>	2.71	0.45	1.10	3.62	0.60	1.46	9.05	1.51	3.66

Fuente: Autores

### 3.1.3 Siembra

Dado que la variedad Sweet valley bajo estudio fue maíz dulce, el trasplante fue a mano en forma de pilón de una edad de 12 días. La siembra directa en Peatmos se realizó en bandejas de 200 semillas cada una, con un total de 14 bandejas desinfectadas con cloro a

200 ppm, aumentando en un 20% el total de las plántulas necesarias debido a su porcentaje de germinación.

Cuadro 18. Datos generales del cultivo

Variedad	Sweet valley
Densidad	2700 plántulas
Distanciamiento	30 cm entre plantas
Nº Tratamientos nitrógeno	5
Nº Repeticiones	3
Fertilización 1	Según curva de absorción
Fertilización ( testigo)	Tradicional
Diseño experimental	Bloques completamente al azar (BCA)
Fecha Trasplante	20/06/2009

Fuente: Autores

### 3.1.4 Control de plagas (aplicación Insecticidas)

Esta actividad se realizó después que se ha trasplantado el maíz para proteger al cultivo de las plagas durante su desarrollo. Según muestreos realizados las principales plagas en el cultivo fueron: gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y gusano del elote (*Helicoverpa* sp.). Los insecticidas usados para combatir estas plagas fueron: 15 cc de Rienda 21.2 EC (Deltamethrin), 90 cc de CPF 48 EC (Chlorpyrifos), 30 cc de Spintor 12 (Spinosad) más adherente EC 810 SL (Nonylphenoletoxilate) y 25 gr Avaunt 30 WG (Indoxcarb).

### 3.1.5 Riego

El riego, fue realizado por medio de un sistema de riego por goteo, esto en las primeras etapas del cultivo, luego al empezar las lluvias se suspendió el mismo.

### 3.1.6 Control de Malezas

Para el control de malezas anuales se usó 250 gr de Roundup max 68 SG (i.a. glifosato), permitiendo así el fácil control del coyolillo (*Cyperus rotundus*) antes de la siembra del cultivo para que no exista competencia de nutrientes con la planta de maíz.

Este herbicida es sistémico de amplio espectro y no selectivo. La aplicación se hizo con bombas de mochila directamente dirigida hacia las malezas.

### 3.2.7 Cosecha

La recolección de las mazorcas de maíz, se efectuó de forma manual para cada uno de los tratamientos. Se almacenó en sacos de plástico con su debida identificación para posteriormente contarlos y pesarlos (Anexo 18).

El proceso para determinar el rendimiento del cultivo fue eliminando la hoja que cubre la mazorca del maíz, dejándolo sólo en mazorcas, para después pesar, contar las mazorcas de cada uno de los tratamientos y extrapolar los resultados a kilogramos por hectárea según lo estipulado en la metodología.

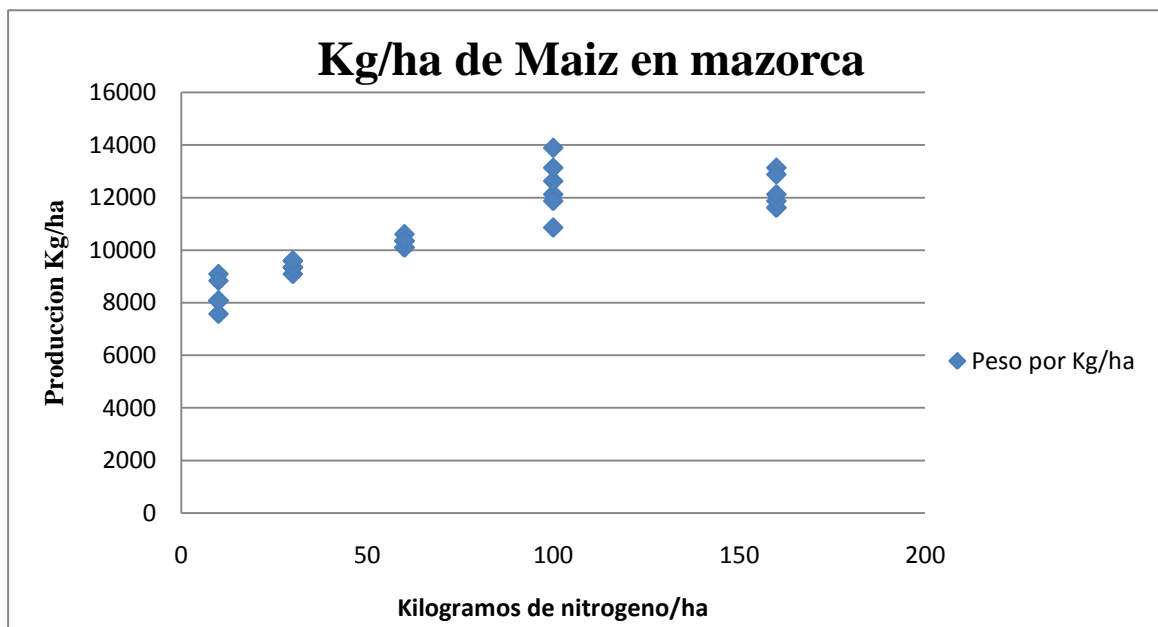


Figura 7. Datos obtenidos en campo.

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la figura anterior la tendencia del modelo que mejor puede describir la relación técnica entre el nitrógeno y la producción de maíz según los datos obtenidos después del experimento fue entre un cuadrático y un cúbico.

### 3.3 FASE 3

#### 3.1 Análisis de la función de producción

Una vez seleccionado el mejor modelo, se realizó un nuevo análisis en el programa statpro (complemento de la hoja de cálculo Microsoft Excel), para poder introducir en el modelo una variable dummy, con el objetivo de poder determinar cuál es el impacto de la aplicación parcial de nitrógeno en los tratamientos y la aplicación total al momento de la siembra en el testigo y así poder explicar cuál es el impacto de la utilización del disco de colores en el uso eficiente de nitrógeno.

El siguiente cuadro muestra el modelo seleccionado, el No. 6 (Cuadrático + Cúbico), y se seleccionó este modelo, debido a que tiene una estadística de regresión en la cual presenta el mejor coeficiente de correlación con 91% y determinación ajustada de 90%, así mismo el análisis de varianza en donde se muestra un valor F que manifiesta la significancia del modelo, un error típico, y estadístico “t” mayores a dos, lo que indica que en general es estadísticamente significativo este modelo. Además los coeficientes de las variables no presentan ningún problema (las variables cuadráticas y cúbicas), demostrando la ley de los retornos marginales decrecientes.

Cuadro 19. Análisis de regresión del mejor modelo seleccionado para la función de producción de maíz.

<i>Summary measures</i>						
Multiple R	0.9546					
R-Square	0.9113					
Adj R-Square	0.9011					
StErr of Est	541.5836					
<i>ANOVA Table</i>						
Source	df	SS	MS	F	p-value	
Explained	3	78376996.432	26125665.477	89.071	0.0000	
		4	5	0		
Unexplained	26	7626132.5000	293312.7885			
<i>Regression coefficients</i>						
	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	8112.714	194.2439	41.7656	0.0000	7713.4402	<b>8511.9885</b>
	4					
N2	0.8098	0.0714	11.3440	0.0000	0.6631	<b>0.9565</b>
N3	-0.0041	0.0004	-9.5615	0.0000	-0.0050	<b>-0.0032</b>
D	639.7307	197.7584	3.2349	0.0033	233.2325	<b>1046.2288</b>

Fuente: Autores

Como se muestra en la siguiente figura, para ésta función se analizaron los residuales, con el número de desviaciones estándar y la figura de dispersión, para detectar presencia de colinealidad de las variables, por lo que se descartó la posibilidad de dicho efecto, ya que los datos presentaron una distribución aleatoria sin una tendencia, así como también el 100% de los datos se encuentra a menos de dos desviaciones estándar cumpliendo esto con una distribución normal.

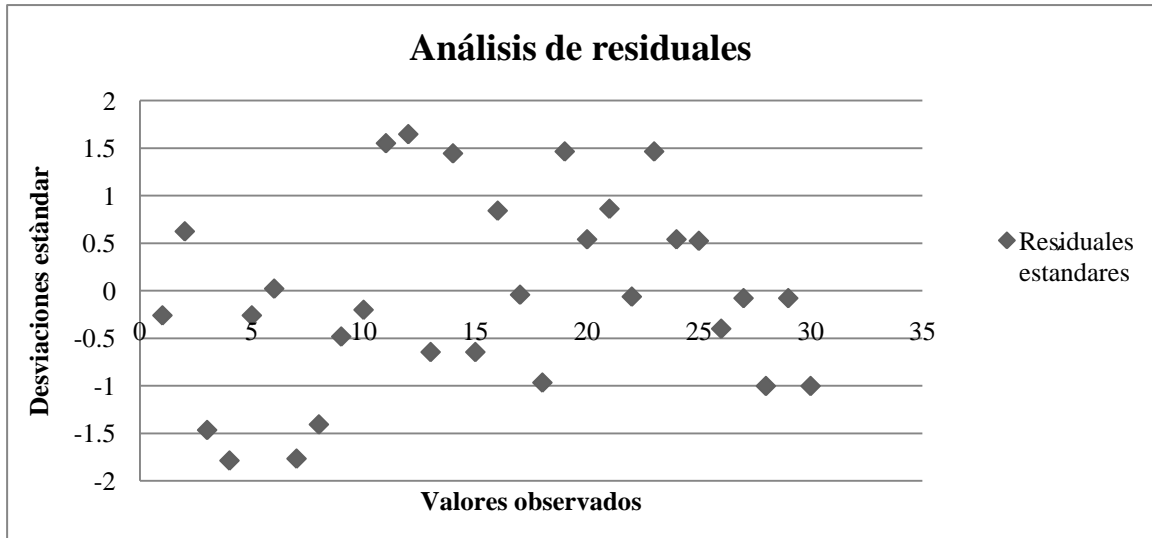


Figura 8. Residuos estándares de modelo No.6, para la función de producción de maíz.  
Fuente: Autores

### 3.1.2 Función de producción determinada:

$$Y = 8112.7144 + 0.8098N^2 - 0.0041N^3 + 639.7307D \quad [ 3 ]$$

En donde:

Y= Rendimiento de maíz en (Kg/ha)

8112.7144= Intercepto de la función

N<sup>2</sup>= Kilogramos de nitrógeno al cuadrado por hectárea.

N<sup>3</sup>= Kilogramos de nitrógeno al cubo por hectárea.

D= Variable dummy del efecto aplicación parcial de nitrógeno o la aplicación total como 1 Y 0 respectivamente.

0.8090; -0.0041; 639.7307 son los coeficientes de N<sup>2</sup>; N<sup>3</sup>; D respectivamente.



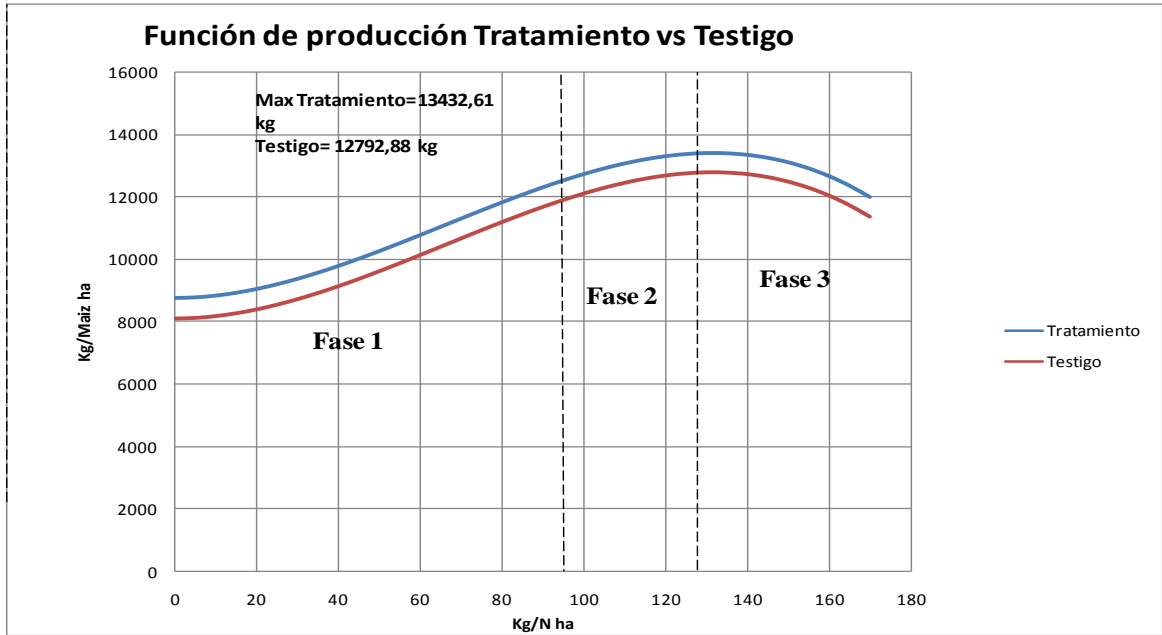


Figura 9. Función de producción de maíz.  
 Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura anterior donde se muestra la diferencia que existe entre el tratamiento y testigo, la variable dummy produce un cambio estructural dentro de la curva de producción con magnitud igual a su coeficiente, dado que el impacto del tratamiento con una aplicación parcial de nitrógeno es de 30% al momento de la siembra, 30% al estado v10 y 40% al momento de emisión de espiga del elote, produjo un rendimiento de 639,73 kilogramos de maíz/Ha más que el testigo, con una sola aplicación al momento de la siembra como lo hacen particularmente los agricultores de la zona.

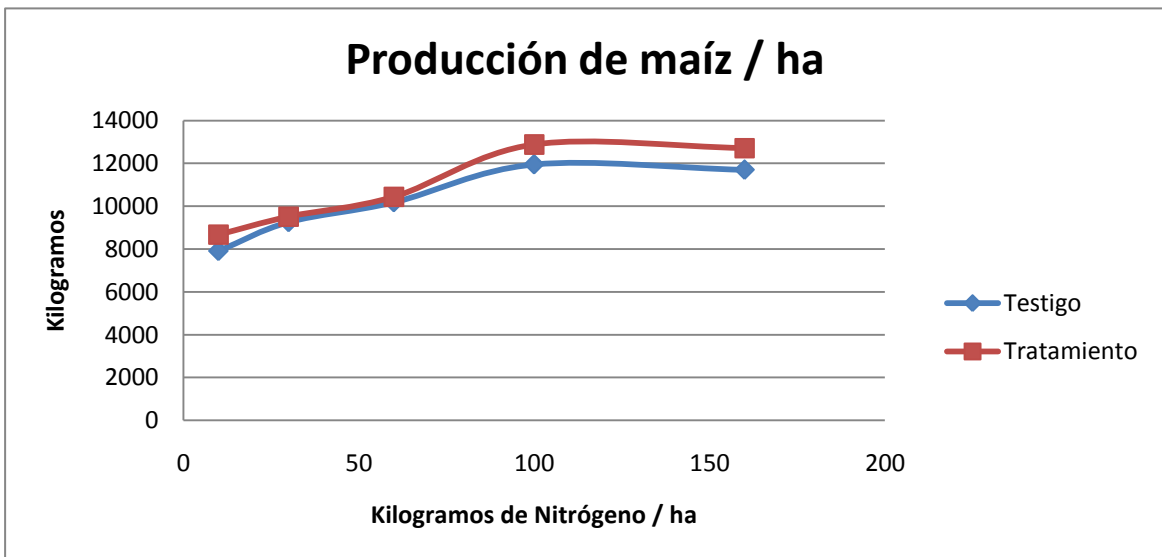


Figura 10. Contraste de rendimientos entre tratamiento y testigo  
 Fuente: Autores

Con la figura anterior se puede sustentar lo antes mencionado sobre el cambio estructural de la función, apreciando los rendimientos obtenidos en campo con sus respectivos tratamientos, y observando que la diferencia entre la aplicación parcial de nitrógeno (Tratamiento) y el testigo se dan principalmente en las dosis más altas de aplicación de nitrógeno, desde el tratamiento de 60 Kg/ha N, 100 Kg/ha N y 160 Kg/ha N, pudiendo ser este efecto debido a que a dosis altas se sobrepasa la capacidad de retención de nutrientes del suelo haciendo más fuerte el efecto de la aplicación por una pérdida de nutrientes por lixiviación.

### 3.1.3 Determinación de las fases de producción

Para el cálculo de las diferentes fases de producción fue necesario el cálculo del producto físico marginal PFM el cual representa el cambio de kilogramos de maíz, asociado con un aumento de una unidad de kilogramos de nitrógeno por ha.

Se procedió a resolver la ecuación encontrada, en donde se determinó los niveles de Nitrógeno (N), en donde la función de producción llega a su máximo y además el nivel donde finaliza la fase 2 de producción, éstos valores se determinaron de forma algebraica, estableciendo el punto dónde la función logra su máximo valor (fin de las fase 2), esto ocurre cuando el producto físico marginal ( $\Delta Y / \Delta X$ ) que representa la pendiente o la tasa de cambio de la función de producción de Maíz es igual a "0", ya que el producto marginal del nutriente es 0 el punto de maximización de kilogramos de maíz y es negativo a niveles mayores de nitrógeno.

Para el cálculo de la finalización de la fase uno se necesitó encontrar el producto físico promedio (PFP), éste es el incremento promedio de producción por cada kilogramo de producción aplicado adicionalmente, el cual se calcula mediante una división de la función de producción por (N), luego de encontrar dicha función se igualó con la primera derivada de la función de producción (PFM), ya que el final de la fase 1 es cuando ambas ecuaciones (PFM Y PFP) se igualan y así podemos encontrar el nivel de nitrógeno que marca el final de la fase 1 de producción.

#### Cálculo fase 2

$$\text{PFM} = \delta Y / \delta N = -0,0123N^2 + 1,6196N = 0 \quad [ 4 ]$$

$$R / N = 131,6747 = 131,6747 \text{ Kg/ha N}$$

#### Cálculo de la fase 1

$$\text{PFP} = Y/X = -0,0041N^2 + 0,8098N \quad [ 5 ]$$

$$\text{PFM} = \delta Y / \delta N = -0,0123N^2 + 1,6196N$$

$$-0,0041N^2 + 0,8098N = -0,0123N^2 + 1,6196N \quad [ 6 ]$$

$$R / X = 99,00 \text{ Kg/ha N}$$

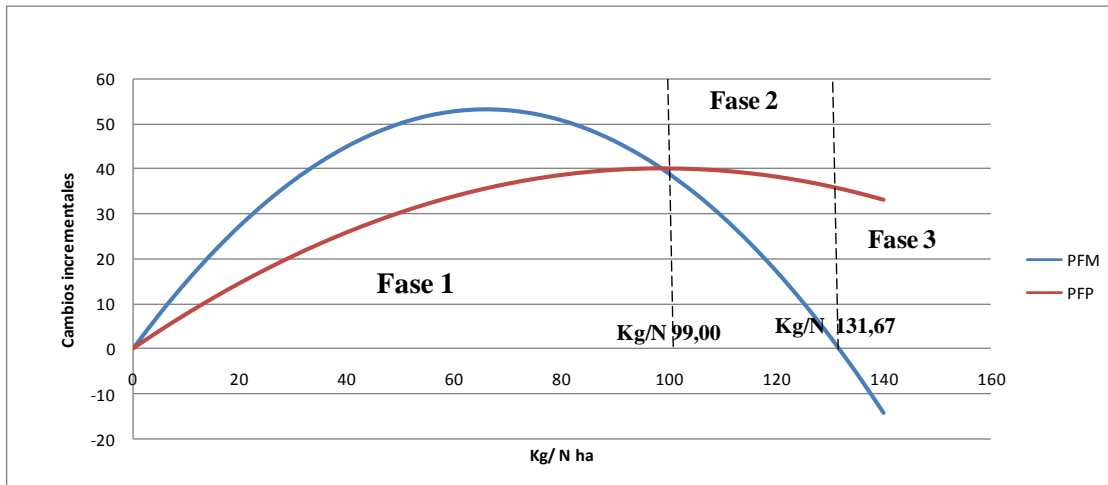


Figura 11. Fases de producción

Fuente: Autores

En la figura anterior se puede observar que la fase 1 de producción se encuentra entre las aplicaciones de 0 a 99 kg/ha de nitrógeno, mientras que la fase 2 se encuentra entre 99 y 132 kg/ha de nitrógeno. Una vez determinados los niveles de nitrógeno que hacen la diferencia entre las fases, se puede calcular cuales son los rendimientos para cada límite de las fases de producción.

$$Y = 8112,7144 + 0,8098(131,6742)^2 - 0,0041(131,6742)^3 + 639,7307(1) \quad [7]$$

Fin de la fase 2

Máximo rendimiento de maíz = **13,432.61Kg/ha**

$$Y = 8112,7144 + 0,8098(99)^2 - 0,0041(99)^3 + 639,7307(1) \quad [7]$$

Fin de la fase 1

Rendimiento de maíz = **12,711.069 Kg/ha**

### 3.4.1 Análisis de regresión Color en función de Nitrógeno

Dicho análisis se realizó con el objetivo de encontrar cual es el mejor modelo que describe la relación entre el color del nitrógeno, para luego hacer un contraste con la producción y así poder encontrar cuál color describe el rendimiento de maíz en términos porcentuales dado el nivel de aplicación de nitrógeno y a su vez determinar cuál es el porcentaje de deficiencia de la dosis de aplicación de nitrógeno para poder hacer correcciones posteriormente.

Para esto se corrieron una serie de modelos en el programa SAS (Statistical Analysis System), para luego seleccionar el mejor modelo que describa la mejor relación técnica de cantidades de nitrógeno (Kg/ha) con los colores de disco observados en campo, los parámetros evaluados en el análisis estadístico de cada modelo fue: la estadística de

regresión, en donde se tomó en cuenta el coeficiente de correlación múltiple, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), como ( $R^2$ ) ajustado y error típico.

En lo referente al análisis de varianza, fue evaluado: suma de cuadrados, valor de distribución F, valor crítico de F, coeficientes, error típico, T estadístico, y análisis de residuales (residuos estándares). (Ver Anexo 20)

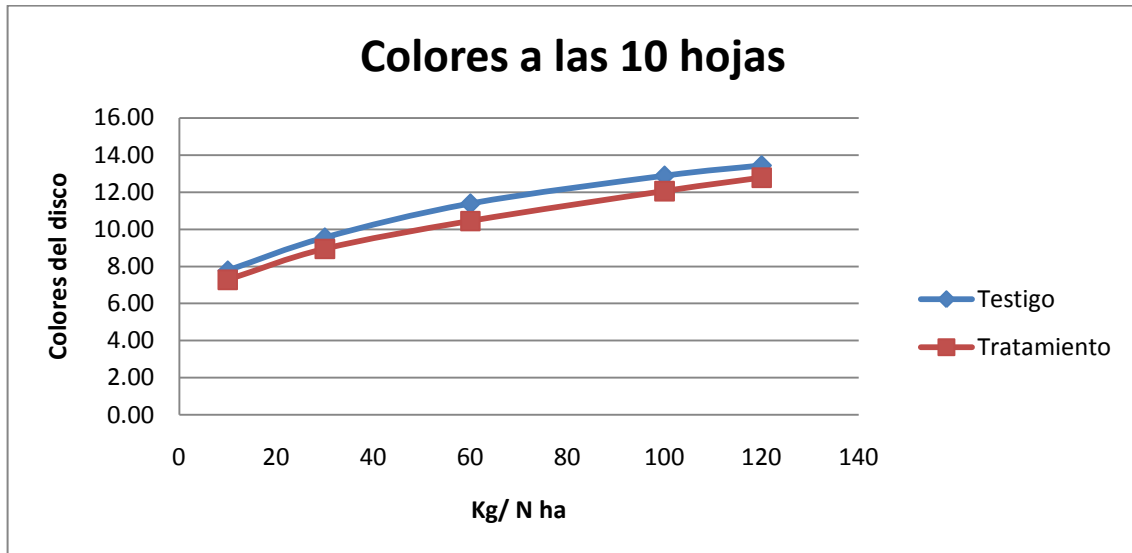


Figura 12. Colores del disco muestreados a las 10 hojas

Fuente: Autores

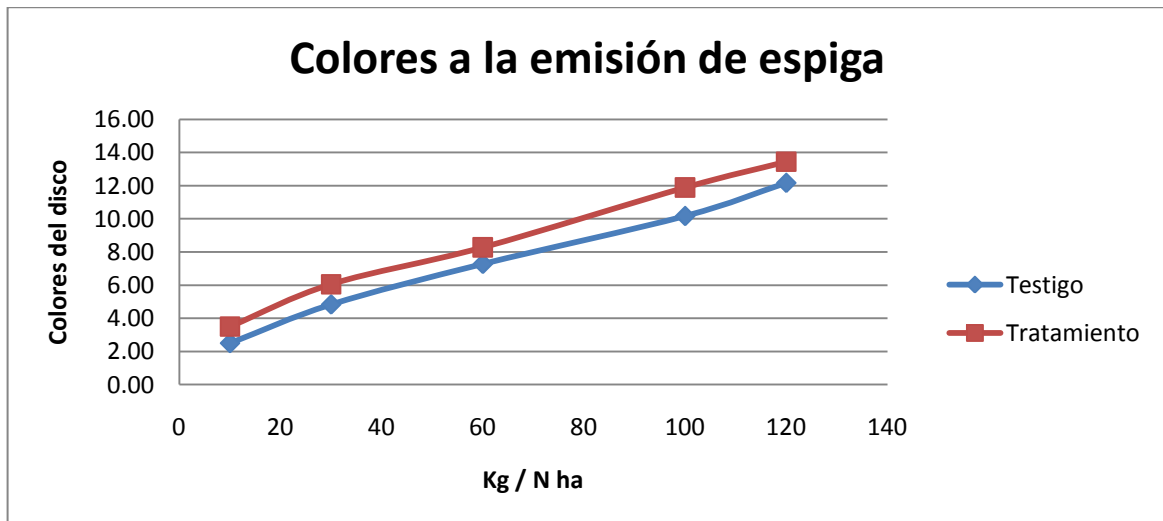


Figura 13. Colores del disco muestreados al momento de emisión de espiga de elote.

Fuente: Autores

Se observa en las figuras anteriores que en el muestreo a las 10 hojas (V10) el testigo tuvo mayores valores en el disco de colores con relación al tratamiento, debido a que en esta etapa aún no se ve afectada la producción por deficiencias de nitrógeno ya que la demanda en la curva de absorción de nutrientes no es tan fuerte en relación a la etapa de emisión de espiga.

Lo contrario ocurrió en el muestreo durante la etapa de emisión de espiga donde se puede apreciar que el tratamiento es mayor que el testigo en los valores del disco de colores, esto porque la demanda de nitrógeno en el maíz aumenta por la pérdida de nutrientes, causada por la lixiviación y volatilización presentes en ese momento.

Además se puede apreciar que los colores para los datos observados al momento de las 10 hojas o estado vegetativo v10, presentan colores más altos siendo el mínimo color observado de 6 y para el muestreo al momento de emisión de espiga es el color 2 el mínimo y esto se puede analizar que en estado vegetativo v10 aún no se ha incrementado la curva de absorción de nutrientes de una forma significativa dando como resultado colores más altos, no obstante para los colores en la fase de emisión de espiga ya se ve el efecto del incremento de la curva de absorción de nutrientes disminuyendo los colores hasta 2, por lo que se puede concluir que estas dos son fases importantes dentro del ciclo de producción para hacer correcciones de deficiencias de nutrientes.

#### **3.4.1.1 Análisis del modelo de color con nitrógeno**

Una vez seleccionado el mejor modelo, se realizó un nuevo análisis en el programa Statpro (Complemento de la hoja de cálculo Microsoft Excel), con el objetivo de tener un análisis más elaborado sobre la relación color versus nitrógeno.

El modelo seleccionado fue el No. 6 (Cuadrático + Cúbico) se seleccionó este modelo, debido a que tiene una estadística de regresión en la cual presenta el mejor coeficiente de correlación 95% y determinación ajustada de 95%, así mismo el análisis de varianza en donde se muestra un valor F que manifiesta la significancia del modelo, un error típico, y estadístico “t” mayor a 2 en general es estadísticamente significativo el modelo como se muestra en el cuadro N°20.

Además los coeficientes de las variables no presentan ningún problema y las variables cuadráticas y cúbicas demuestran la ley de los retornos marginales decrecientes. Además esto permite tener una mejor aseveración que el disco es una buena herramienta de descripción de producción ya que ambos presentaron los mismos modelos como los que mejor se ajustan a la realidad.

Cuadro 20. Análisis de regresión del mejor modelo seleccionado para determinar la relación color con nitrógeno.

**Results of multiple regression for Color**

**Summary measures**

Multiple R	0,9763
R-Square	0,9532
Adj R-Square	0,9516
StErr of Est	0,8139

**ANOVA Table**

Source	df	SS	MS	F	p-value
Explained	3	1160,5164	386,8388	583,9332	0,0000
Unexplained	86	56,9725	0,6625		

**Regression coefficients**

	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	3,0084	0,1685	17,8497	0,0000	2,6734	3,3434
N2	0,001467549	0,0001	23,6936	0,0000	0,0013	0,0016
N3	-0,000006946	0,0000	-18,4898	0,0000	0,0000	0,0000
D	1,2444	0,1716	7,2524	0,0000	0,9033	1,5856

Fuente: Autores

En la siguiente figura, para este modelo se analizaron los residuales, con el número de desviaciones estándar y la figura de dispersión, para detectar presencia de colinealidad de las variables, por lo que se descartó la posibilidad de dicho efecto, ya que los datos presentaron una distribución aleatoria sin una tendencia, así como también el 100% de los datos se encuentra a menos de 2 desviaciones estándar cumpliendo esto con una distribución normal.

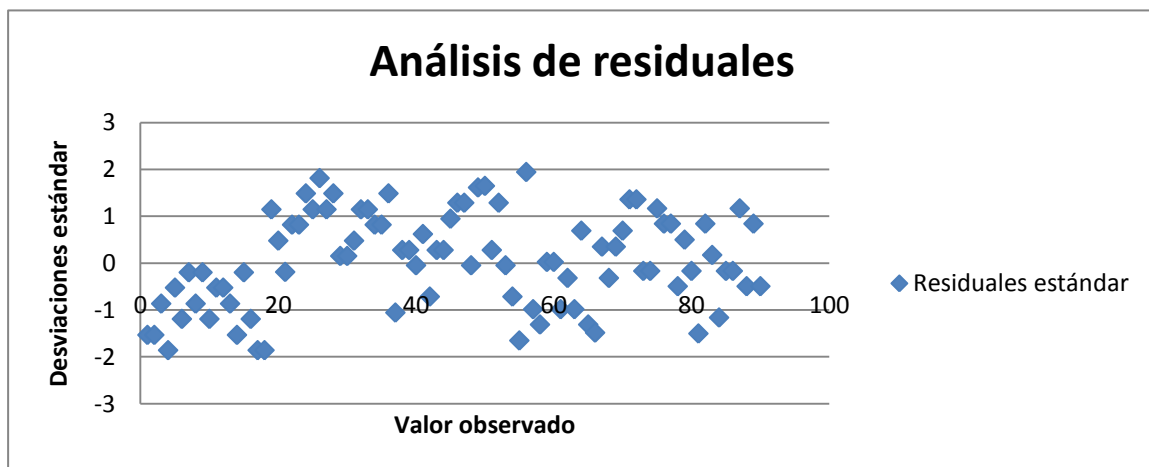


Figura 14. Residuos estándares de modelo No. 6, para el modelo color con nitrógeno.

Fuente: Autores

### 3.4.1.2 Modelo determinado

$$Y = 3.0084 + 0.001467549N^2 - 0.000006946N^3 + 1.2444D \quad [8]$$

En donde:

Y= Numero de color en el disco

3.0084= Intercepto de la función

N<sup>2</sup>= Kilogramos de nitrógeno al cuadrado por hectárea.

N<sup>3</sup>= Kilogramos de nitrógeno al cubo por hectárea.

D= Variable dummy del efecto aplicación parcial de nitrógeno o la aplicación total como 1 Y 0 respectivamente.

0.001467549; -0.000006946; 1.2444 son los coeficientes de N<sup>2</sup>; N<sup>3</sup>; D respectivamente.

Una vez determinado el modelo matemático que describe la relación color con nitrógeno se calculó los niveles de nitrógeno que hacen la diferencia entre las fases de producción para hacer un contraste con las fases de producción y así poder indicar cuáles son los colores que se encuentran en cada fase.

$$Y = 3.0084 + 0.001467549 (131.6742)^2 - 0.000006946 (131.6742)^3 + 1.2444 \quad [8]$$

Fin de la fase 2

Máximo color para el fin de la fase 2 = **Color 13**

$$Y = 3.0084 + 0.001467549 (99)^2 - 0.000006946 (99)^3 + 1.2444 \quad [8]$$

Fin de la fase 1 segun la función de producción= **Color 10**

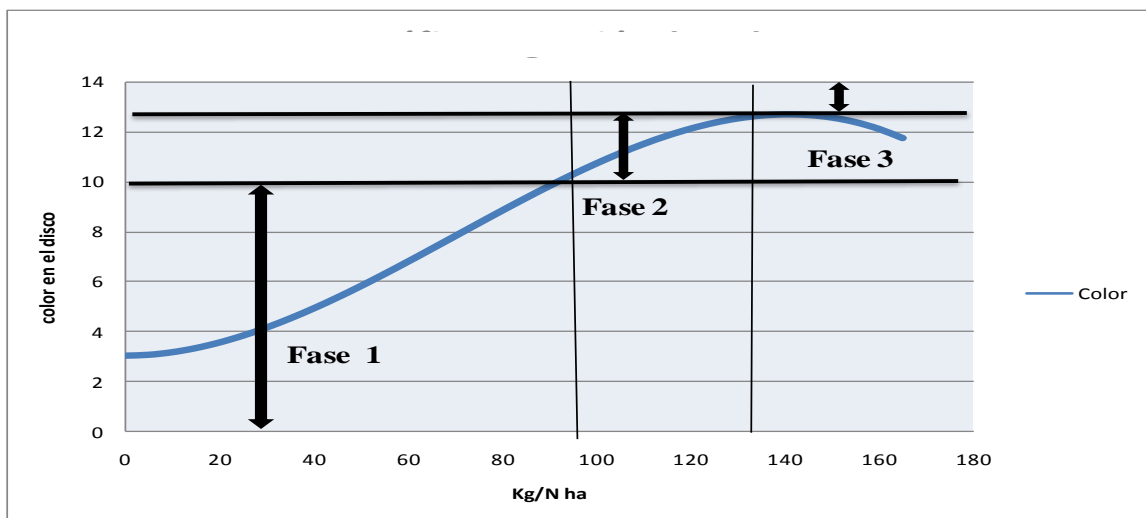


Figura 15. Regresión de color

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura anterior y según los cálculos anteriores se puede decir que la fase 1 de producción inicia desde el color 3 hasta el color 10 y la fase 2 de producción es desde el color 10 hasta el color 13 siendo esto los últimos recomendados para la obtención del óptimo económico.

### 3.5.1 Contraste producción con nitrógeno y color

Este análisis se realizó con el objetivo de poder encontrar cuales son los colores que corresponde para cada rendimientos en términos porcentuales del total y a su vez poder saber cuál es la cantidad de nitrógeno requerida según lo recomendado por la dosis para cada variedad. Para ello se partió con un contraste entre la función de producción relacionada con nitrógeno y el modelo que describe la relación entre el color y el nitrógeno para poder hacer una interacción cuales colores corresponde a cada fase de producción según los cambios en cada uno de las fases.

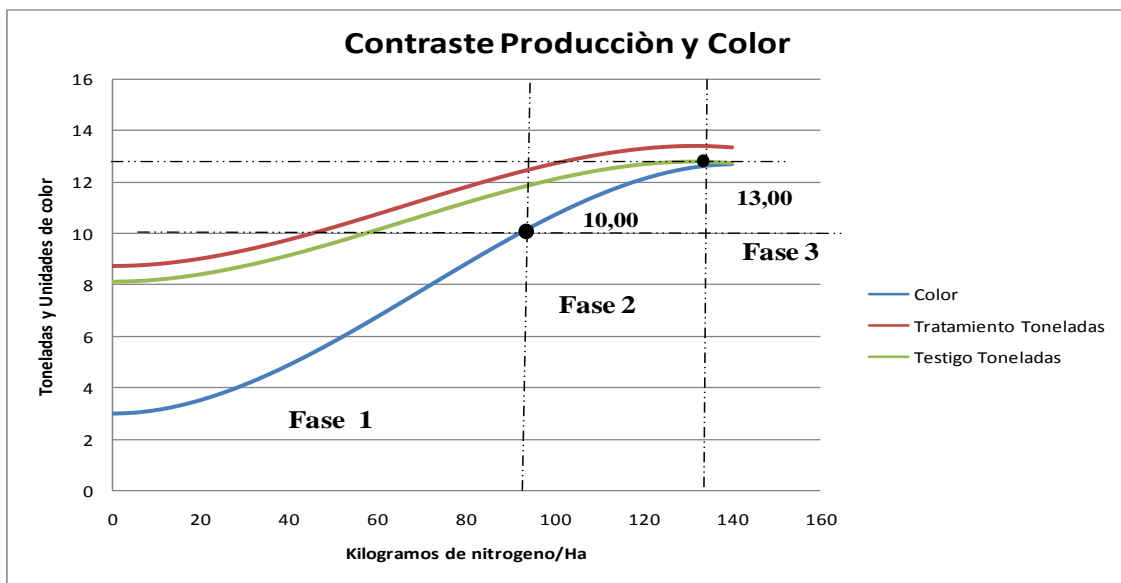


Figura 16. Contraste producción y color.

Fuente: Autores

Luego se realizó la producción en términos porcentuales para cada una de las fases para poder estandarizar de una mejor forma los rendimientos encontrados en el campo para otras variedades de maíz, esto con el supuesto que los rendimientos de una variedad con relación a otra solo son cambios estructurales y no cambios dentro de la curva de producción y así poder determinar cuál es el rendimiento esperando en campo según el color muestreado en el disco independientemente la variedad de maíz.

Para esto la función de producción se dividió para el rendimiento máximo esperado y luego se multiplicó por 100 para poder determinar el rendimiento en porcentaje del total de producción para cada una de las fases de producción.

$$Y = \frac{(8112,7144 + 0,8098N^2 - 0,0041N^3 + 639,7307D | 13,432.61\text{Kg/Ha}) * 100}{8}$$



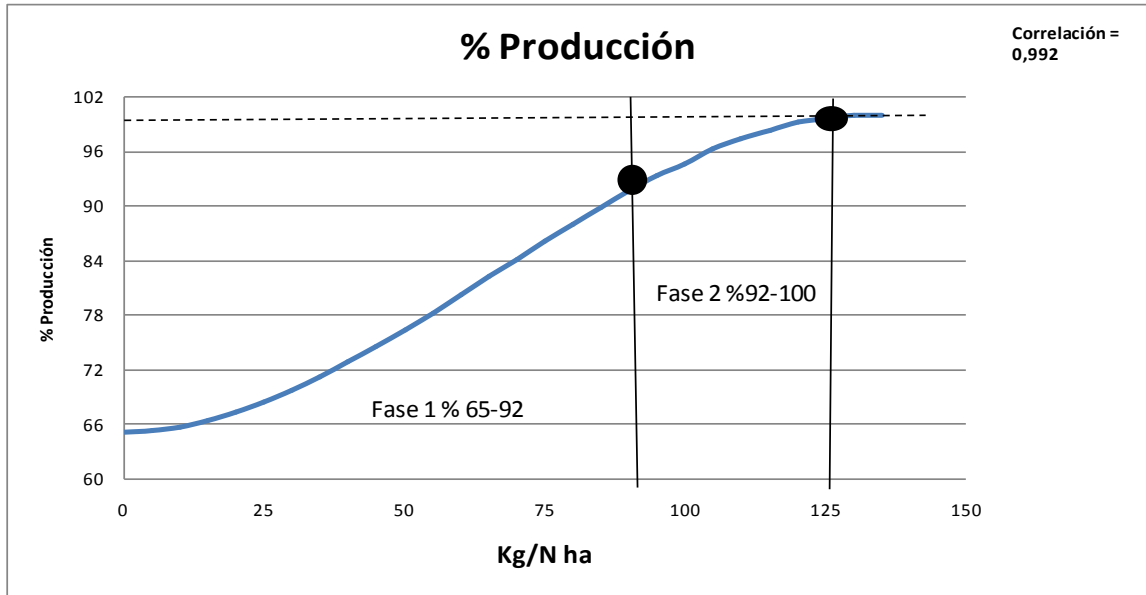


Figura 17. Porcentaje de producción esperada según la aplicación de nitrógeno para cada una de las fases de producción.

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en el Figura anterior la fase 1 de producción está comprendida entre el 65% y el 92% del total de producción y la fase 2 inicia desde el 92% hasta el 100% de la producción.

Toda esta información sirvió como base para la formación del siguiente cuadro de resumen en el cual se muestra los códigos de RVA (Rojo, Verde y Azul) para una interpretación universal, los cuales se usaron para la reproducción en Office, además se presenta cual es el rendimiento esperado para cada color muestreado, ligado con su fase de producción y cuál sería el porcentaje de la dosis recomendada de nitrógeno a aplicar para hacer la corrección de la deficiencia en las etapas fisiológicas de la planta.

Cuadro 21. Cuadro de resumen sobre el análisis estadístico

# de color del disco	Rojo	Verde	Azul	Rango % Produccion		% correccion de N	Fase	Colores
1	166	181	41					
2	154	170	41	Colores de libertad			Fase 1	
3	142	159	41	65	68	79	fase1	
4	129	149	41	68	73	68	fase1	
5	118	138	41	73	77	60	fase1	
6	106	127	41	77	81	52	fase1	
7	94	116	41	81	84	45	fase1	
8	82	105	41	84	88	38	fase1	
9	70	94	41	88	92	30	fase1	
10	58	83	41	92	95	21	fase 2	
11	46	72	41	95	98	10	fase 2	
12	34	62	41	98	100	0	fase 2	
13	23	51	41	100		Maximo	fase 2	
14	11	40	41					
15	1	29	41	Colores de libertad			Fase 3	

Fuente: Autores

### 3.6.1 Ejemplo de la aplicación del disco en el campo:

- 1) El agricultor inicia con una aplicación del 30% de la dosis de nitrógeno recomendada por la casa productora de la semilla, tomando como base un estudio de suelos previo para ver cuál es la cantidad restante a aplicar de la dosis.
- 2) Realizar un muestreo completamente al azar del 1% de la plantación muestreando al momento de V10 es decir al momento de la emisión de la décima hoja verdadera al centro de cada una, con una posición del cuerpo sobre el disco tratando de proyectar la sombra, para evitar el sesgo por la luz del sol.
- 3) Determinar el promedio del color del disco muestreado en el campo para ubicar con la tabla de resumen cuál es el porcentaje de rendimiento esperado en ese momento y a su vez cuál es el porcentaje de la dosis recomendada a aplicar para hacer la corrección en ese momento.
- 4) Una vez determinada la dosis a aplicar recomendado por el cuadro de resumen según el color muestreado, esta dosis se divide en dos, ya que resta una segunda aplicación al momento de emisión de espiga.
- 5) Realizar otro muestreo completamente al azar del 1% de la plantación muestreando al momento de R1 es decir al momento de la emisión de la espiga muestreando al centro de cada 10 hoja, con una posición del cuerpo sobre el disco tratando de proyectar la sombra, para evitar el sesgo por la luz del sol.
- 6) Repetir el paso 3 y 4

Cuadro 22. Tabla de ejemplo de utilización del disco.

Tabla Ejemplo	Kg/ Nitrógeno/Ha	Rendimiento T/Ha
Recomendado	200	20
30% al momento de siembra	60	20
<b>Color 5</b>	<b>60%</b>	<b>75%</b>
Dosis requerida	120	15
Dosis para aplicar a las 10 hojas	60	15
<b>Color 10</b>	<b>21%</b>	<b>92%</b>
Dosis a aplicar al momento de espiga	42	18.4
<b>Total aplicado</b>	<b>162</b>	<b>&gt;18.4</b>

Fuente: Autores

## 4. CONCLUSIONES

- El disco que mejor describe los colores observados en campo es el 15-1.
- El modelo seleccionado fue el No. 6 (Cuadrático + Cúbico) se seleccionó este modelo, debido a que tiene una estadística de regresión en la cual presenta el mejor coeficiente de correlación 95% y determinación ajustada de 95%.
- La aplicación parcial mostró mayor productividad en promedio con 640 Kg/ha más que la aplicación total al momento de la siembra siendo más significativa la diferencia en dosis mayores a los 60 kg/ha N.
- Los límites para la primera fase van desde 0- 99 Kg/ha N con rendimientos de 65-92% y valores entre el 3-10 del disco de colores.
- Los límites para la fase dos van desde 99-131.67 Kg/ha N con rendimientos de 92% - 100% del total de producción y valores entre el 10-13 del disco de colores.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar las fertilizaciones para correcciones de nitrógeno al momento de las 10 hojas verdaderas (V10) y al momento de emisión de espiga (R1).
- Probar y validar el disco de colores en condiciones de campo.

## 6. LITERATURA CITADA

Andrade.2006. Nitrogen use efficiency in no-till maize as affected by nitrogen availability and row spacing. Trabajo enviado a Agronomy Journal. 538 p.

Arias, F. 2007. Economía de la Producción. Guía de Estudio. Valle del Yeguaré, Universidad Zamorano. Honduras.

Balasubramanian,V.1999. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice system. Nutr. Cycling Agroecosyst. 69p.

Bijay Singh, et al. 2000. Chlorophyll – and Leaf Color Chart–Based Nitrogen Management for Rice and Wheat in Northwestern India. Agronomy journal, vol. 94. 821-829p.

CIMMYT, 1994. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (en línea). Consultado el 1 de septiembre de 2009. Disponible en:[http:// www.fao.org/DOCREP/003//](http://www.fao.org/DOCREP/003//)

Delgado, P. 2006. Manejo de la disponibilidad del Nitrógeno, Chile. Consultado el 30 de enero de 2009. Disponible en: [http:// www.manualdelombricultura.com/](http://www.manualdelombricultura.com/)

FAO, 2009. Perspectivas de cosechas y Situación alimentaria (en línea). Consultado el 8 de septiembre de 2009. Disponible en: [www.fao.org/docrep/012/ai484s/ai484s04.htm](http://www.fao.org/docrep/012/ai484s/ai484s04.htm)

FMI, 2009. Proyecciones producción Maíz (en línea). US. Consultado el 1 de Septiembre de 2009. Disponible en: [http:// www.eleconomista.net/noticia/](http://www.eleconomista.net/noticia/)

Fuentes, R. 2002. El Cultivo de Maíz en Guatemala. Guía para su manejo Agronómico. Base de datos (En línea). Guatemala, ICTA. Consultado 7 de marzo. 2008. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/>

ICTA, 2002. Cultivo de Maíz manejo agronómico, Guatemala. 45 p.

Masako Takebe and Tadakatsu Yoneyama. 1989. Measurement of Leaf Color Scores and Its Implication to Nitrogen Nutrition of Rice Plants. JARQ Vol. 23. 87- 93p.

USDA, 2009. Proyecciones de largo plazo en el sector agropecuario internacional. US. 62 p.

Reyna, L. 2007. Introducción a Modelos de Transferencia Radioactiva en Vegetación y su Aplicación en Teledetección. Fenómenos de transporte de agua en la Planta. 1-4p.

SAG, 2008. Producción de maíz en Honduras (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado el 5 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.sag.gob.hn/>

Scharf, P. et al. 2000. Corn Yield Response to Nitrogen Fertilizer Timing and Deficiency Level. *Agronomy journal*, vol. 94. 435-441p.

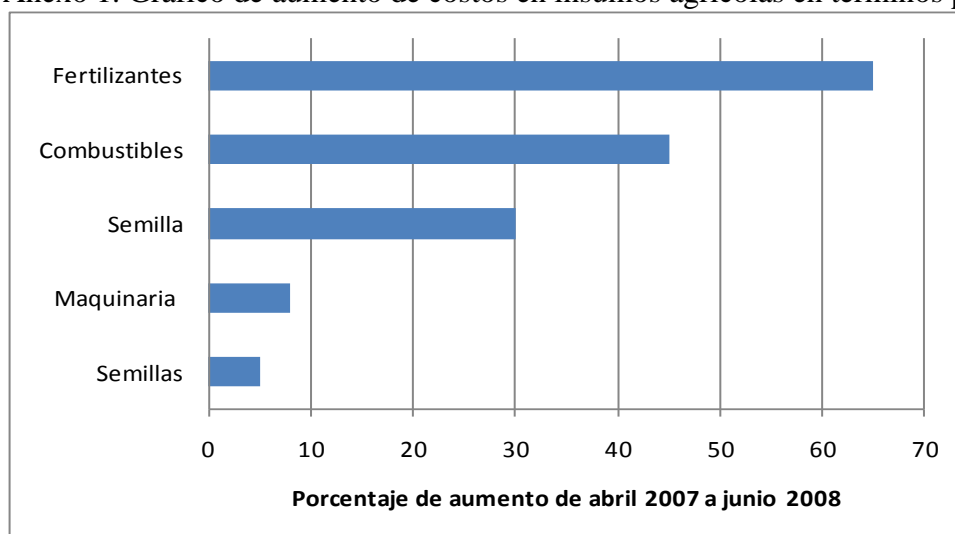
Wagner, C. 2003. Producción de maíz en Honduras (en línea). San José, CR. Consultado el 5 de septiembre de 2009. Disponible en [http://usi.earth.ac.cr/tierratropical/archivos-de-usuario/Edicion/7\\_v1-06\\_Herrarte.pdf](http://usi.earth.ac.cr/tierratropical/archivos-de-usuario/Edicion/7_v1-06_Herrarte.pdf)

Watanabe, S. 1980. Development of a digital chlorophyll : I. Structure and performance. *Jpn. J Crop Science*. 90p.

Woon-ho yang, et al. 2000. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. *Agronomy journal*, vol. 95 LCC – IRRI. 212 – 217p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Gráfico de aumento de costos en insumos agrícolas en términos porcentuales



Fuente USDA 2008

Anexo 2. Cuadro de requerimientos básico de macro y micro elementos para la producción de 1 ton de maíz.

Nutriente	Requerimiento	Índice de Cosecha	Extracción
	kg/ton		kg/ton
Nitrógeno	22	0.66	14.5
Fósforo	4	0.75	3
Potasio	19	0.21	4
Calcio	3	0.07	0.2
Magnesio	3	0.28	0.8
Azufre	4	0.45	1.8
	g/ton		g/ton
Boro	20	0.25	5
Cloro	444	0.06	27
Cobre	13	0.29	4
Hierro	125	0.36	45
Manganeso	189	0.17	32
Molibdeno	1	0.63	1
Zinc	53	0.5	27

Fuente: FAO 2007

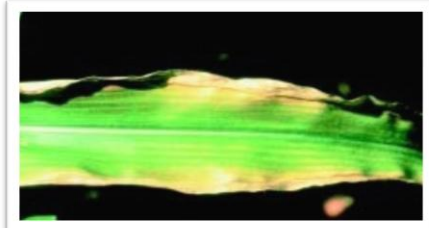
Anexo 3. Deficiencia de Nutrientes



Nitrógeno



Fósforo



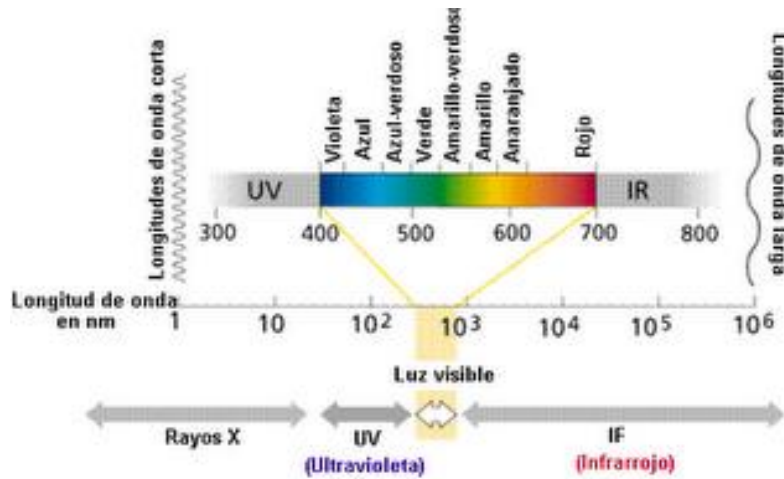
Potasio



Azufre

Fuente: CYMMIT, 1994

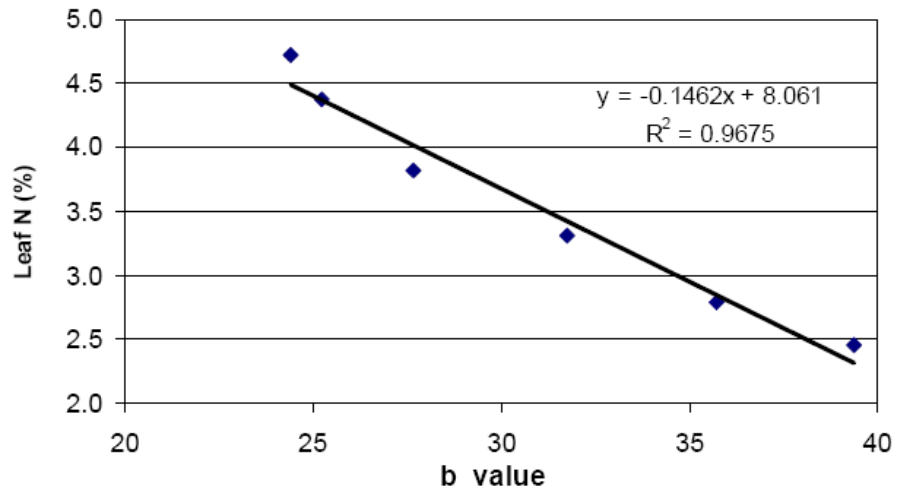
Anexo 4. Gráfico del espectro electromagnético



Fuente: Bruno 2005

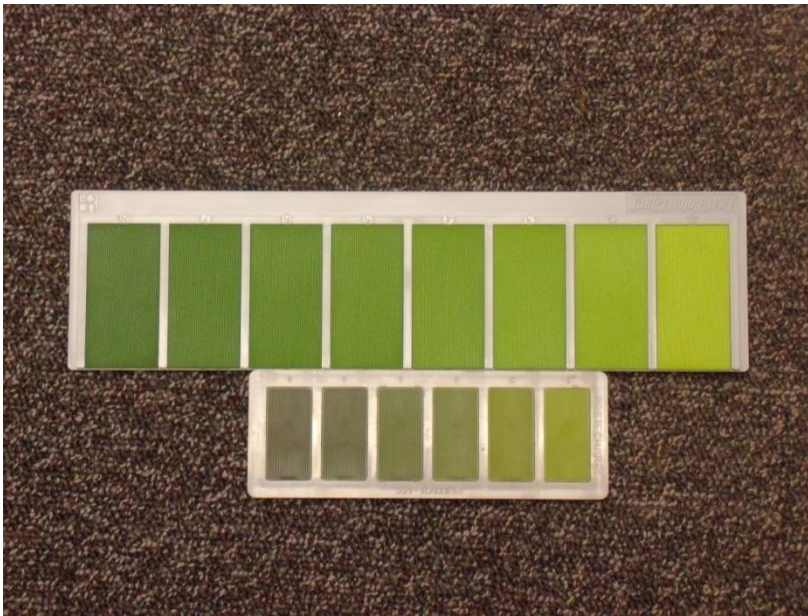


Anexo 5. Gráfico Análisis de regresión nitrógeno en la hoja vs. color.



Fuente: Scharft P. et al. 2000

Anexo 6. LCC Universidad de California Davis



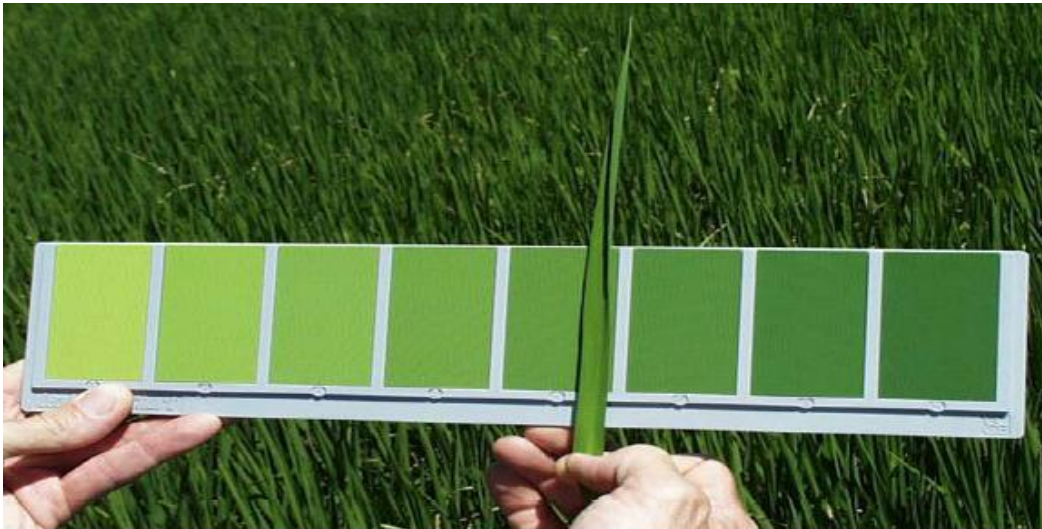
Fuente: UC DAVIS 2008

Anexo 7. Selección de color con el software IM picker.



Fuente: Autores

Anexo 8. Carta de colores basado en los colores de la hoja de Arroz.



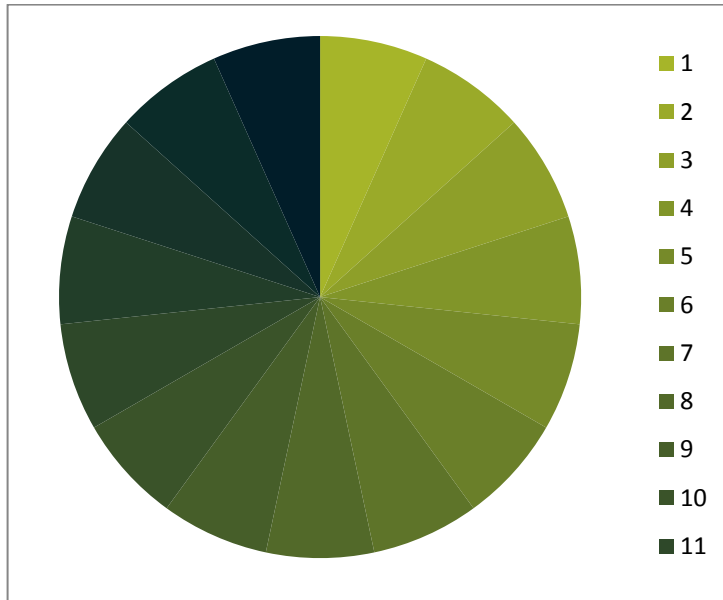
Fuente: IRRI 2008

Anexo 9. Cuadro de gama de colores 15 -1

#	Red	Green	Blue
1	166	181	41
2	154	170	41
3	142	159	41
4	129	149	41
5	118	138	41
6	106	127	41
7	94	116	41
8	82	105	41
9	70	94	41
10	58	83	41
11	46	72	41
12	34	62	41
13	23	51	41
14	11	40	41
15	1	29	41

Fuente: Autores

Anexo 10. Gráfico de disco de colores 15-1



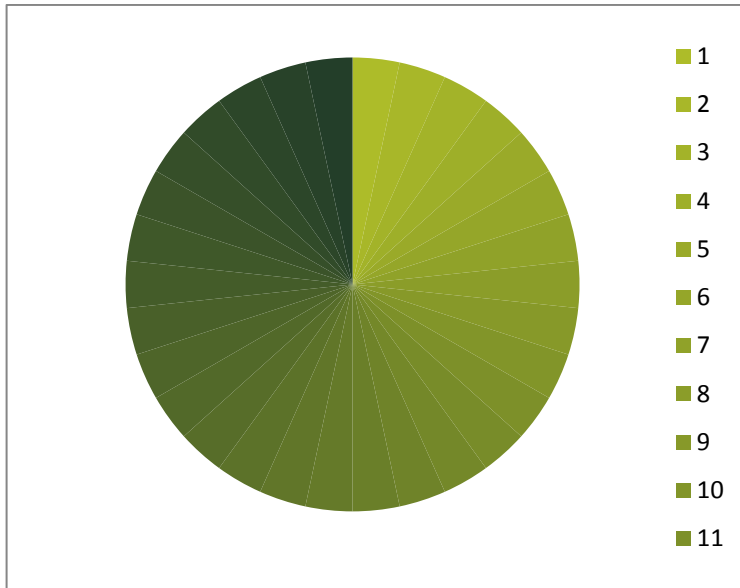
Fuente: Autores

Anexo 11. Cuadro de gama de colores 30-0.4

#	Red	Green	Blue
0.4	173	188	41
0.8	168	183	41
1.2	163	179	41
1.6	158	175	41
2	154	170	41
2.4	149	166	41
2.8	144	162	41
3.2	139	157	41
3.6	135	153	41
4	130	149	41
4.4	125	144	41
4.8	120	140	41
5.2	116	136	41
5.6	111	131	41
6	106	127	41
6.4	101	122	41
6.8	97	118	41
7.2	92	114	41
7.6	87	109	41
8	82	105	41
8.4	78	101	41
8.8	73	96	41
9.2	68	92	41
9.6	63	88	41
10	59	83	41
10.4	54	79	41
10.8	49	75	41
11.2	44	70	41
11.6	40	66	41
12	35	62	41

Fuente: Autores

Anexo 12. Gráfico de disco de colores 30-0.4



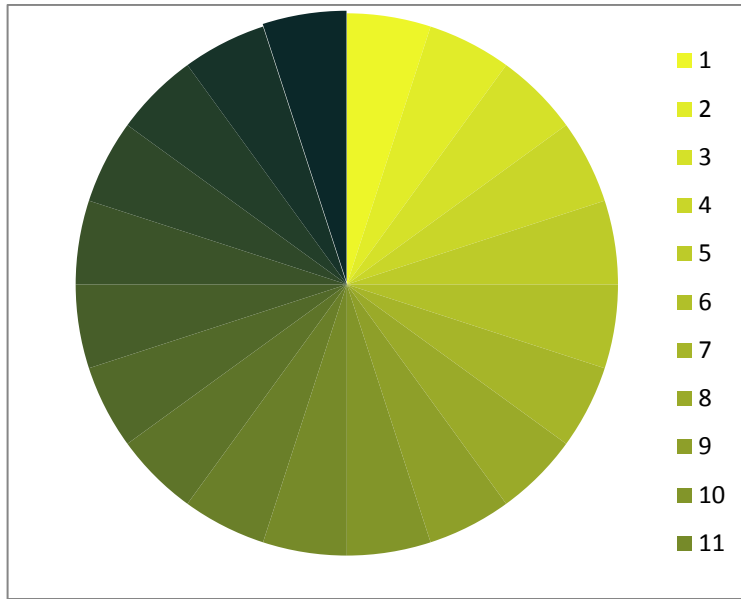
Fuente: Autores

Anexo 13. Cuadro de gama de colores 20-1

#	Red	Green	Blue
-5	237	246	41
-4	225	236	41
-3	213	225	41
-2	201	214	41
-1	189	203	41
0	177	192	41
1	166	181	41
2	154	170	41
3	142	159	41
4	130	149	41
5	118	138	41
6	106	127	41
7	94	116	41
8	82	105	41
9	71	94	41
10	59	83	41
11	47	72	41
12	35	62	41
13	23	51	41
14	11	40	41

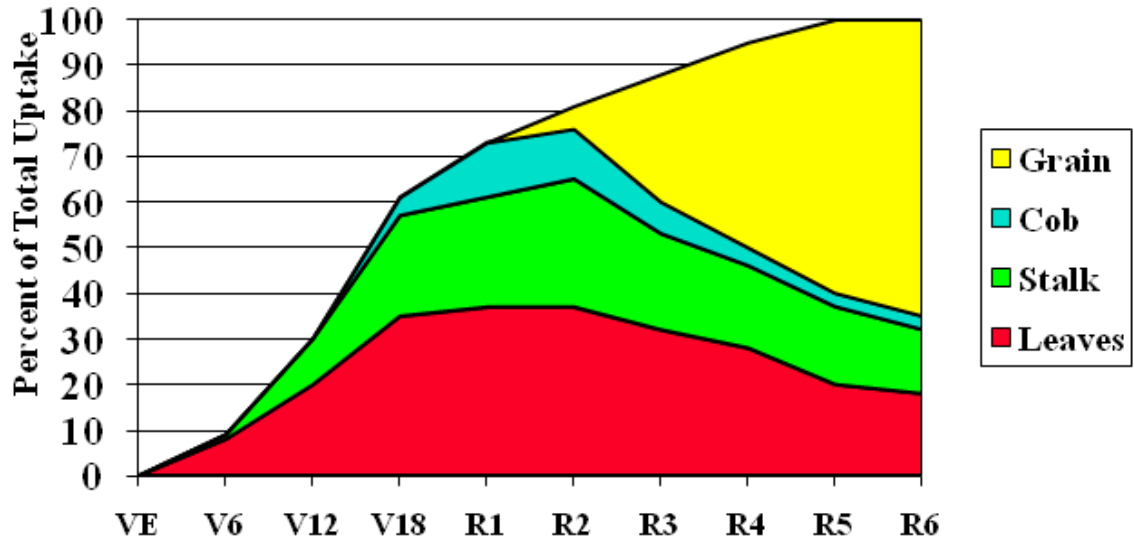
Fuente: Autores

Anexo 14. Gráfico de disco de colores 20-1



Fuente: Autores

Anexo 15. Gráfico de curva de absorción de nutrientes



Fuente: Kansas State University

## Anexo 16. Cuadro de análisis de suelo zona II

**Métodos:**  
**K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por absorción atómica**  
**P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría**  
**% M.O.: Método de Walkley & Black:**  
**% N total: 5% de M.O.**  
**pH: Relación suelo agua 1:1**

# Lab.	Muestra	pH	%			mg/Kg (extractable)			
			M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Na
09-S-980	Lote 3 zona 2	6,32	Medio	Bajo	Alto	Alto	Medio	Bajo	Normal
			2,49	0,12	160	594	1840	150	168
	Rango Medio		2,00	0,20	13				
			4,00	0,50	30				

Fuente: Laboratorio de Suelos EAP

## Anexo 17. Cuadro de análisis de Abono zona II

**Métodos:**  
**N: Método de Kjeldahl**  
**K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Digestión húmeda con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, determinados por Absorción atómica**  
**P: Digestión húmeda con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, determinado por espectrofotometría (colorimetría)**

# Lab.	Muestra	%	Total Base Seca								
			%			mg/Kg					
		humedad	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
09-O-0956	Compost zona 2	38,5	1,1	0,4	0,5	1,8	0,3	69	766	59	20
			5	1	1	3	4	3	1	1	

Fuente: Laboratorio de Suelos EAP

## Anexo 18. Cosecha y Pesado de Elotes



Fuente: Autores

## Anexo 19. Cuadro de resumen de los modelos de producción analizados en SAS (Statistical Analysis System)

	Lineal 1	Cuadra 2	Cúbico 3	L+Cuadra 4	L+Cu 5	Cua+cubi 6	L+Cua+Cu b 7
<b>Pr&gt;F</b>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
<b>SSModel</b>	63817796	48490238	37560068	73793912	74705982	75307720	75501155
<b>Sserror</b>	22181602	37509161	48439331	12205487	11293417	10691679	10498244
<b>CV</b>	8,45908	11,00007	12,50046	6,390001	6,14662	5,98063	6,03917
<b>R2</b>	0,7421	0,5638	0,4367	0,8581	0,8687	0,8757	0,8779
<b>R2 adjust</b>	0,7329	0,5483	0,4166	0,8476	0,859	0,8665	0,8638
<b>C0</b>	8556,894	9439,536	9754,395	7494,035	7671,970	8432,576	8163,5012
	96	19	46	46	85	05	3
<b>N1</b>	27,29174			69,71453	54,64482		18,33675
<b>N2</b>		0,13462		-0,24771		0,80981	0,54655
<b>N3</b>			0,000154		-0,00102	-0,00414	-0,00314
			23				

1 Y=N 2 Y = N2; 3 Y = N3; 4 Y = N N2; 5 Y = N N3; 6 Y = N2 N3; 7 Y = N N2 N3;

Fuente: Autores.

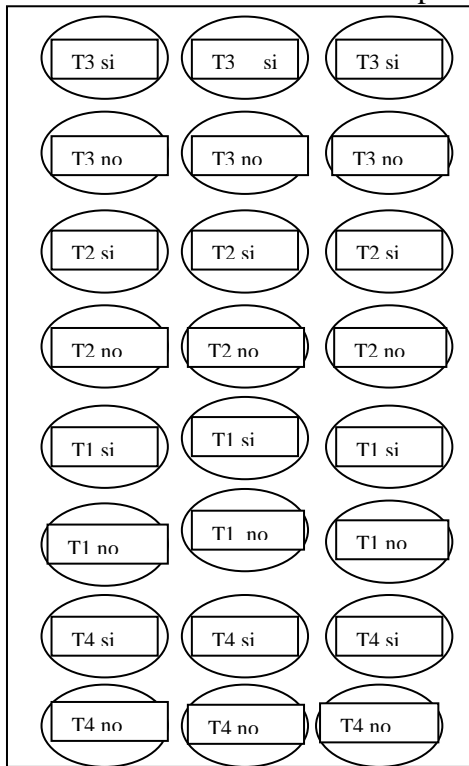


Anexo 20. Cuadro de resumen de los modelos de relación color con nitrógeno analizados en SAS (Statistical Analysis System)

	Lineal 1	Cuadra 2	Cúbico 3	L+Cuadr a 4	L+Cu 5	<u>Cua+cu 6</u>	L+Cua+Cu b 7
Pr>F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
SSModel	563,22	463,885	386,32254	598,40688	599,25131	590,43176	599,27935
Serror	55,47	154,81	232,37746	20,29312	19,44869	18,26824	19,42065
CV	13,156	21,97	26,92677	8,0514	7,8821	6,50268	7,97189
R2	0,9103	0,7498	0,6244	0,9672	0,9686	0,9523	0,9686
R2 Ajustad o	0,9083	0,744	0,6157	0,9656	0,9671	0,9511	0,9663
C0	3,8669	5,89992	6,623556	2,23731	2,55271	3,11391	2,62807
C1	0,0662			0,13124	0,10682		0,10126
C2		0,0003399 8		0,131214		0,00154	0,0000838
C3			0,0000018 8	- 0,0003798	- 0,0000015 1	- 0,0000073 4	-0,00000183

Fuente: Autores

Anexo 21. Gráfico de diseño experimental invernadero – Universidad Estatal de Kansas.



T si = Tratamiento

T no= Testigo

Los niveles de fertilizante fueron:

T1 = 0 kg /Ha

T2= 30 Kg/ha

T3= 60 Kg/ha

T4= 200 Kg/ha

Fuente Autores

Anexo 22. Gráfico de diseño experimental Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano

