



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: AGRÍCOLA**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÍCOLA**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EFFECTIVIDAD DE FUENTES NITROGENADAS DE LIBERACIÓN  
CONTROLADA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ AMARILLO  
DURO EN EL VALLE DEL RIO CARRIZAL**

**AUTORES:**

**GUSTAVO ALFONSO COOL LOOR  
JUNIOR JAVIER MERO MONCAYO**

**TUTOR:**

**ING. FROWEN CEDEÑO SACÓN, MGS.**

**CALCETA, NOVIEMBRE 2018**

## **DERECHO DE AUTORÍA**

GUSTAVO ALFONSO COOL LOOR y JUNIOR JAVIER MERO MONCAYO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

---

**GUSTAVO ALFONSO COOL LOOR**

---

**JUNIOR JAVIER MERO MONCAYO**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**ÁNGEL FROWEN CEDEÑO SACÓN, M.Sc** certifica haber tutelado el trabajo de titulación **EFFECTIVIDAD DE FUENTES NITROGENADAS DE LIBERACIÓN CONTROLADA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ AMARILLO DURO EN EL VALLE DEL RIO CARRIZAL** que ha sido desarrollada por **GUSTAVO ALFONSO COOL LOOR** y **JÚNIOR JAVIER MERO MONCAYO**, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. ANGEL FROWEN CEDEÑO SACON, MGS**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EFFECTIVIDAD DE FUENTES NITROGENADAS DE LIBERACIÓN CONTROLADA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ AMARILLO DURO EN EL VALLE DEL RIO CARRIZAL**, que ha sido propuesto, desarrollado por Cool Loor Gustavo Alfonso y Júnior Javier Mero Moncayo , previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. GALO CEDEÑO GARCIA, M.Sc

**MIEMBRO**

ING. CRISTIAN VALDIVIESO LOPEZ, M.Sc

**MIEMBRO**

ING. JAIRO CEDEÑO DUEÑAS, M.Sc

**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López por brindarnos los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestros estudios.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Galo Cedeño Garcia, con cuyo trabajo estaré siempre en deuda. Gracias por su amabilidad, su orientación y atención a mis consultas sobre el cultivo y las metodologías, su tiempo y sus ideas.

A nuestros docentes de la carrera de ingeniería agrícola por ilustrarnos con us conocimientos.

## DEDICATORIA

A mi madre Kira Moncayo Solórzano por su apoyo económico como moral a lo largo de mis estudios.

A la memoria mi padre Jaime Enrique Mero Vera por enseñarme desde muy pequeño a cultivar los campos.

A Ana Cristina Andrade Salvatierra por su apoyo incondicional durante estos años.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaran formando profesionales.

A mis tíos Otto Moncayo, Eddie Moncayo, Beatriz Mero, Alva Vera por su apoyo a lo largo de estos casi seis años.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

## DEDICATORIA

A Dios por ser el principal motor de nuestra vida.

A mi padre quien incondicionalmente me apoyo y me sigue apoyando moralmente, dándome consejos y motivaciones.

A mi madre quien siempre se preocupó por que lograra esta meta y de igual manera que mi padre me ha apoyado incondicionalmente.

A mis hermanos, sobrinos y cuñados que siempre han estado ahí en los momentos más difíciles y de alegría

A mi abuela mis abuelos que fueron y siguen siendo parte de mi existencia.

## CONTENIDO GENERAL

CARATULA .....	i
DERECHO DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL .....	viii
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	xi
PALABRAS CLAVE .....	xi
ABSTRACT .....	xii
KEYWORDS .....	xii
CAPITULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS .....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.4. HIPÓTESIS .....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE MAÍZ .....	4
2.2. FENOLOGÍA Y ECO-FISIOLOGÍA DEL MAÍZ .....	5
2.3. ESTADOS VEGETATIVOS .....	7
2.3.1. ETAPA DE GERMINACIÓN Y EMERGENCIA .....	7
2.3.2. DESARROLLO DEL SISTEMA RADICAL .....	7
2.4. ESTADOS REPRODUCTIVOS Y DESARROLLO DEL GRANO .....	10
2.5. FERTILIZACIÓN NITROGENADA .....	14
2.6. FUENTES NITROGENADAS DE LIBERACIÓN CONTROLADA .....	15
CAPÍTULO III: DESARROLLO METODOLÓGICO .....	17
3.1. UBICACIÓN .....	17
3.2. MATERIAL VEGETAL .....	17
3.3. FACTORES EN ESTUDIO .....	17



3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS.....	18
3.5. UNIDAD EXPERIMENTAL Y DENSIDAD DE SIEMBRA.....	19
3.6. VARIABLES RESPUESTA.....	19
3.7. APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS Y FERTILIZACIÓN .....	20
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
5.1. CONCLUSIONES .....	31
5.2. RECOMENDACIONES .....	31
BIBLIOGRAFÍAS.....	32
ANEXOS.....	36

## CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

### CONTENIDO DE GRÁFICOS

<b>Gráfico: 4.1.</b> Efecto de los fertilizantes nitrogenados y su diferencia entre el testigo con omisión de nitrógeno .....	24
<b>Gráfico: 4.2.</b> Efecto de los tratamientos aplicados sobre la variable diámetro de mazorca. ....	25
<b>Gráfico: 4.3.</b> Efecto de los tratamientos sobre la variable peso de 100 granos. ....	27
<b>Gráfico: 4.4.</b> Efecto de los tratamientos sobre la variable rendimiento Kg/Ha <sup>-1</sup> .....	28
<b>Gráfico: 4.5.</b> Efecto de los niveles de N sobre la variable rendimiento Kg/Ha <sup>-1</sup> .....	28

### CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura: 2.1.</b> Planificación del riego y nutrición en base a las fases y etapas fenológicas del cultivo de maíz.....	6
<b>Figura: 2.2.</b> Planificación y control fitosanitario en base a las fases y etapas fenológicas del cultivo de maíz.....	6
<b>Figura: 2.3.</b> Fenología del cultivo de maíz. ....	13
<b>Figura: 3.4.</b> Plan de fertilización de acuerdo a la fenología del cultivo.....	21

### CONTENIDO DE CUADROS

<b>Cuadro: 3.1.</b> Tratamientos.....	18
<b>Cuadro: 3.2.</b> Esquema del ANOVA .....	18
<b>Cuadro: 3.3.</b> Fertilización nitrogenada de acuerdo a las dosis.....	21
<b>Cuadro: 3.4.</b> Diseño de fertilización.....	22
<b>Cuadro: 4.5.</b> Análisis de varianza altura de inserción de la mazorca. ....	23
<b>Cuadro: 4.6.</b> Análisis de varianza longitud de mazorca. ....	24
<b>Cuadro: 4.7.</b> Análisis de varianza diámetro de la mazorca. ....	25
<b>Cuadro: 4.8.</b> Análisis de varianza número de hileras por mazorca. ....	26
<b>Cuadro: 4.9.</b> Análisis de varianza peso de 100 granos.....	26

<b>Cuadro: 4.10.</b> Análisis de varianza rendimiento por parcela.....	28
<b>Cuadro: 4.11.</b> Análisis económico de los tratamientos .....	30

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de varias fuentes y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz, bajo condiciones del valle del río carrizal la cual se desarrolló en lotes experimentales del campus politécnico de la ESPAM-MFL, localizada en el sitio El Limón perteneciente al Cantón Bolívar, Manabí. Por lo consiguiente se evaluaron cuatro fuentes de fertilizantes nitrogenados: Yara Vera Amidas, Novatec 45, Urea verde y Urea común, con diferentes niveles: 100 kg ha<sup>-1</sup>, 200 kg ha<sup>-1</sup>, 300 kg ha<sup>-1</sup>, a los cuales se le incluyó un testigo con omisión de nitrógeno. Se estableció un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en arreglo factorial A x B + 1 con tres replicas por tratamiento, donde al factor A se le asignaron las fuentes de nitrógeno y al factor B las dosis de nitrógeno. La combinación de fuentes y dosis de N y las réplicas conforman en total 39 unidades experimentales. Los resultados mostraron que el tratamiento T9(Urea verde 300 kg ha<sup>-1</sup>) logro los mayores resultados en tanto a beneficio neto llegando a los 1939,53 USD ha<sup>-1</sup> con un incremento del rendimiento de 111.04 qq ha<sup>-1</sup> demostrando su efectividad frente a los demás tratamientos contrastados con el testigo con omisión de nitrógeno.

## PALABRAS CLAVE

Dosis nitrógeno, inhibidores, maíz, Urea verde.

## ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of several sources and doses of nitrogen on the yield and profitability of corn cultivation, under conditions of the valley of the Carrizal river which was developed in experimental lots of the polytechnic campus of the ESPAM-MFL, located in the El Limón site belonging to Cantón Bolívar, Manabí. Therefore, four sources of nitrogen fertilizers were evaluated: Yara Vera Amidas, Novatec 45, green Urea and common Urea, with different levels: 100 kg ha<sup>-1</sup>, 200 kg ha<sup>-1</sup>, 300 kg ha<sup>-1</sup>, to which we include a witness with omission of nitrogen. A randomized complete block design (DBCA) was established in factorial arrangement A x B + 1 with three replicates per treatment, where factor A was assigned nitrogen sources and factor B nitrogen doses. The combination of sources and doses of N and replicates make up a total of 39 experimental units. The results showed that the treatment T9 (Green Urea 300 kg ha<sup>-1</sup>) achieved the highest results in terms of net profit reaching the 1939.53 USD ha<sup>-1</sup> with an increase in yield of 111.04 qq ha<sup>-1</sup> demonstrating its effectiveness against the other treatments contrasted with the control with omission of nitrogen.

## KEYWORDS

Nitrogen, inhibitors, corn, green Urea.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El principal problema del cultivo de maíz en Ecuador es la baja productividad con un rendimiento promedio de 83.6 qq ha<sup>-1</sup>, el mismo que es ampliamente superado por otros países productores (FAOSTAT, 2015). De acuerdo a datos sobre la superficie sembrada y cosechada del 2014, en el Litoral ecuatoriano se plantaron 273.556 ha y se cosecharon 256.059 ha de lo cual se obtuvo 26'400.000 qq de grano seco, siendo las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas las que aportan con el 87% de la superficie nacional (Bravo, 2015). Por lo general, solo se utiliza la urea como principal fuente de nitrógeno, la misma que es altamente soluble y necesita niveles adecuado de humedad del suelo para pasar a sus formas asimilables de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). El nitrógeno es el elemento que más limita el rendimiento del maíz, debido a que el cultivo requiere grandes cantidades de este elemento y porque la mayoría de los suelos no tienen suficiente N en forma disponible para alcanzar niveles adecuado de producción (Lara y Yamada, 1999; Below, 2004).

Este es el caso de los suelos de Manabí que presentan niveles bajos de N, que asociado a un limitado régimen pluviométrico y al uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados, ha reducido considerablemente los rendimientos que se presentan en la provincia. Por otra parte, el valle del río carrizal es una zona significativamente productora de maíz, donde existe escasa información relacionada al manejo de fuentes y dosis adecuadas de nitrógeno que permitan obtener rendimientos rentables para productores de maíz.

Actualmente existen nuevas tecnologías de fertilizantes nitrogenados, entre los cuales se destacan los de lenta liberación o liberación controlada y los recubiertos con azufre e inhibidores de la ureasa. Al no existir información técnico-científica que validen su eficacia en nuestro medio, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿El desconocimiento del uso de fuentes y dosis de nitrógeno recubiertos y de liberación controlada, no permite obtener rendimientos rentables en maíz de alto rendimiento?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La urea es un fertilizante nitrogenado más comúnmente utilizado en Manabí, debido a su bajo costo. Sin embargo, la urea es un fertilizante de baja eficiencia, dado que se han documentado pérdidas superiores al 60% por lixiviación, desnitrificación, volatilización e inmovilización (Lara y Yamada, 1999). En la actualidad existen en el mercado fertilizantes nitrogenados de última generación, tales como de lenta liberación o liberación controlada con inhibidores de la nitrificación, recubiertos con inhibidores de la ureasa y recubiertos con capa de azufre, lo cual permite incrementar la eficiencia de uso por unidad de nitrógeno aplicado. Por ende, ante lo mencionado anteriormente mencionado urge la necesidad de validar nuevas fuentes de fertilizantes nitrogenados, que permitan determinar dosis óptimas económicas en planes de fertilización y así alcanzar rendimientos rentables y sostenibles.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar el efecto de varias fuentes y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz, bajo condiciones del valle del río carrizal.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la fuente más adecuada y económica de nitrógeno para incrementar el rendimiento del cultivo de maíz bajo las condiciones del valle del río carrizal.
- Determinar la dosis óptima biológica de nitrógeno para incrementar el rendimiento del cultivo de maíz, bajo las condiciones del valle del río carrizal.

- Determinar la dosis óptima económica para incrementar la rentabilidad del cultivo de maíz, bajo las condiciones del valle del río carrizal.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

- Las fuentes de nitrógeno de última generación incrementan la productividad y rentabilidad del cultivo de maíz.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE MAÍZ**

El maíz es considerado uno de los tres cereales más consumidos a nivel mundial junto con el trigo y el arroz. Su producción se estima en alrededor de 795.935.000 t, de las cuales el 90% corresponden a maíz amarillo duro y el 10% restante a maíz blanco. Ocupa el segundo lugar en área de siembra, con alrededor de 140.000.000 ha, se siembra en 135 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas (FENALCE, 2010).

Es utilizado para la alimentación humana y animal y como materia prima en la producción de almidón industrial y alimenticio, en la elaboración de edulcorantes, dextrinas, aceite y otros productos derivados de su proceso de fermentación, como son el etanol, el alcohol industrial, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), diversos aminoácidos, antibióticos y plásticos, y como sustituto del petróleo y sus derivados que son recursos no renovables (Grande y Orozco, 2013).

Ecuador registra una siembra anual de 361.347 ha de maíz amarillo duro y 73,570 ha de maíz suave. Anualmente se produce un promedio de 15'794.680 qq de maíz amarillo duro y 952.248 qq de maíz suave. En el caso del primero, la producción se encuentra altamente polarizada en la costa y en el caso del segundo el producto es altamente polarizado en la sierra. La mayor superficie maicera del país se concentra en las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas con 156.565, 72.606 y 49.927 ha, respectivamente (INEC, 2010; MAGAP, 2015).

Los rendimientos promedio de Ecuador son de 83.6 qq ha<sup>-1</sup>, el cual es significativamente bajo en relación a otros países americanos como EEUU, Argentina y Brasil que presentan rendimientos promedios de 235.4, 145.2 y 114.4 qq ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La diferencia en rendimiento de Ecuador es abismal si la comparamos con los rendimientos promedios de Israel, Kuwait y Jordania con 750.2, 677.6 y 356 qq ha<sup>-1</sup>, respectivamente (FAOSTAT, 2015).

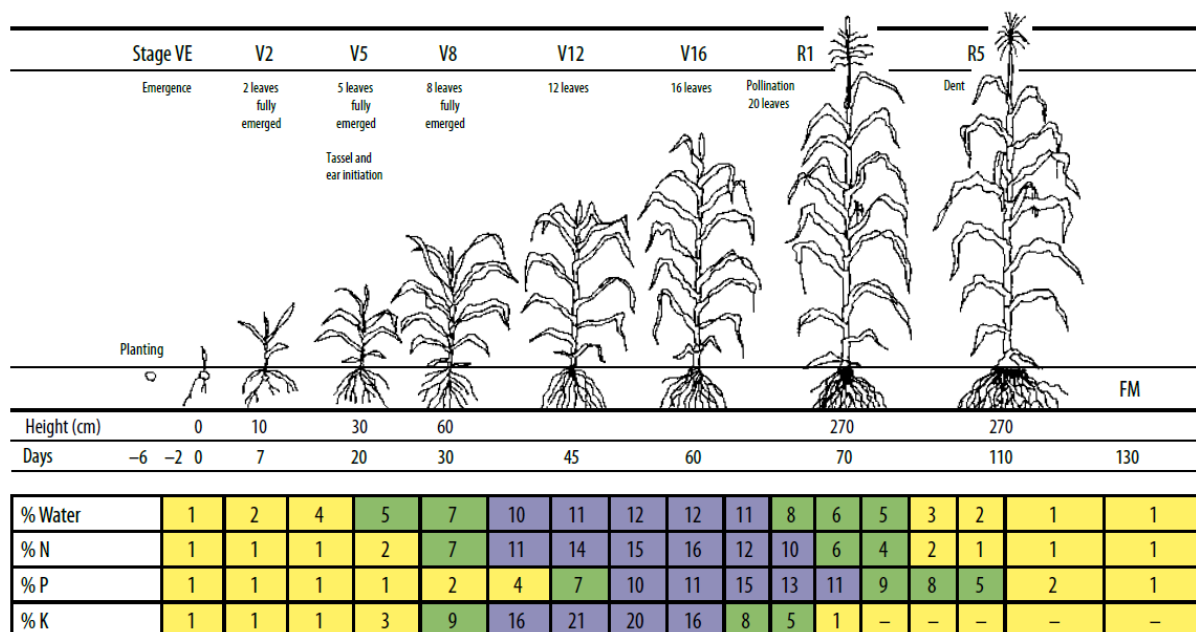


En el caso de los rendimientos provinciales, Manabí reporta una productividad promedio de 48.4 qq ha<sup>-1</sup>, en comparación a las provincias del Guayas y Los Ríos cuyos rendimientos promedios son de 113.3 y 100.32 qq ha<sup>-1</sup> en cada caso (MAGAP, 2015). Los bajos rendimientos, reportados en Manabí se deben en parte, a que la mayor superficie del maíz se siembra bajo condiciones de secano y en zonas de laderas, por lo que la producción depende del régimen de lluvias. Las precipitaciones en Manabí, por lo general tienen un comportamiento errático e irregular causando periodos cortos de sequía dentro de la época lluviosa, lo cual afecta la producción al no contarse con la instalación permanente de sistemas de riego (INIAP, 2004; Jiménez *et al.*, 2012; Thielen *et al.*, 2016).

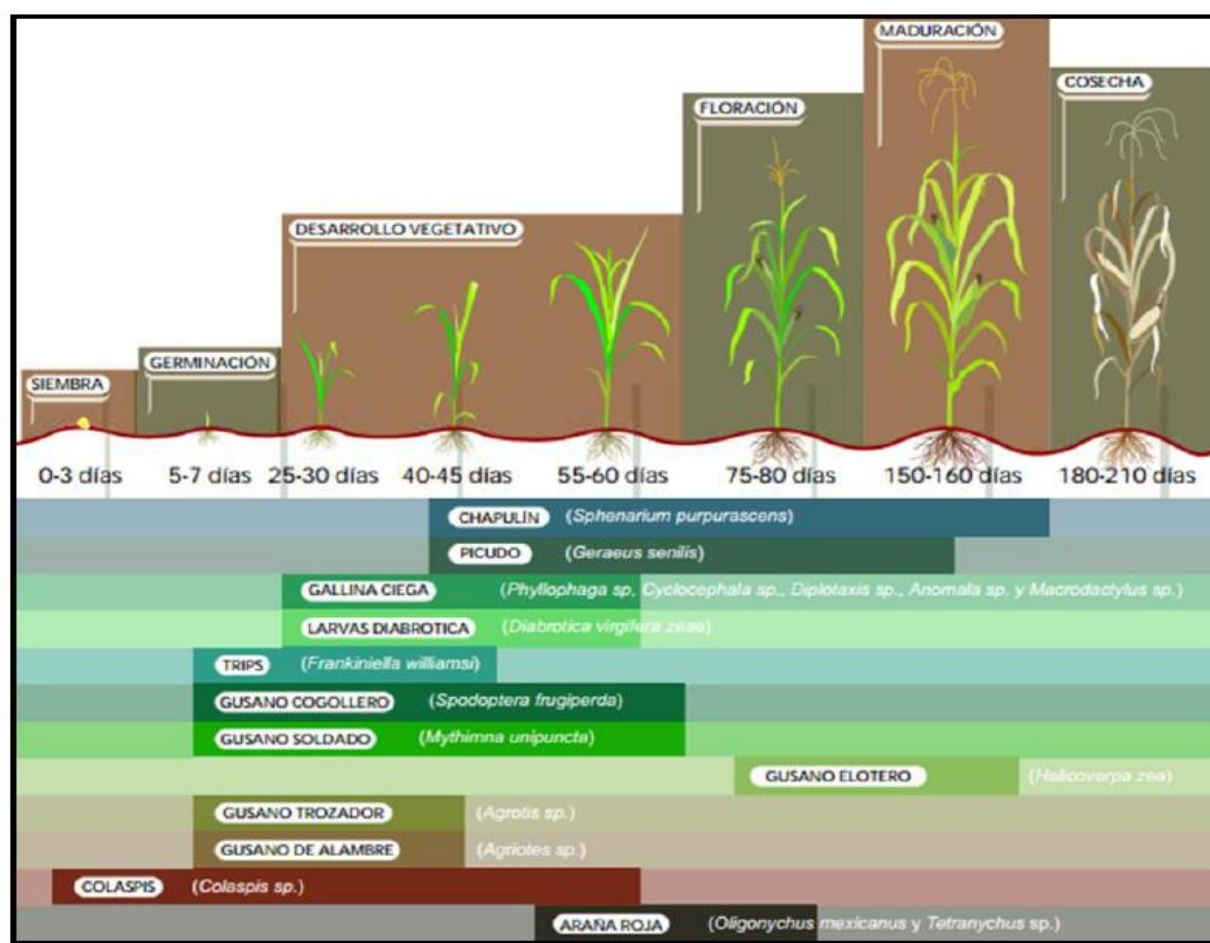
## 2.2. FENOLOGÍA Y ECO-FISIOLOGÍA DEL MAÍZ

La fenología tiene como finalidad estudiar y describir de manera integral los diferentes eventos fenológicos que se dan en las especies vegetales dentro de ecosistemas naturales o agrícolas en su interacción con el medio ambiente Granados y Sarabia (2013) en este sentido, la realización de las observaciones fenológicas, consideradas importantes, son la base para la implementación de todo sistema agrícola, permitiendo a los productores agrarios obtengan con su aplicación una mayor eficiencia en la planificación y programación de las diferentes actividades agrícolas conducentes a incrementar la productividad y producción de los cultivos (Izarra y López, 2012).

El desarrollo fenológico del maíz se refiere al ritmo de crecimiento vegetativo y reproductivo expresado en función de los cambios morfológicos y fisiológicos de la planta, relacionados con el ambiente. Conocer el comportamiento fenológico del cultivo permitirá pronosticar y aplicar eficientes prácticas como el riego, nutrición y control de enfermedades y plagas, tal como se muestra en las **figuras 2.1 y 2.2** (Below, 2004; Valdez *et al.*, 2012; Kar y Kumar, 2015).



**Figura 2.1.** Planificación del riego y nutrición en base a las fases y etapas fenológicas del cultivo de maíz.  
Fuente: (Colless, 1992).



**Figura 2.2.** Planificación y control fitosanitario en base a las fases y etapas fenológicas del cultivo de maíz.  
Fuente: (CESAVEG, 2008).

En base a la importancia que exhibe la fenología del cultivo de maíz, se presenta a continuación las fases y etapas fenológicas en base a lo desarrollado por Kumudini y Tollenaar (1998), Fassio et al. (1998) y Edwards (2009). El sistema para clasificación de etapas que se presenta a continuación divide al desarrollo de la planta de maíz en vegetativo y reproductivo.

## **2.3. ESTADOS VEGETATIVOS**

### **2.3.1. ETAPA DE GERMINACIÓN Y EMERGENCIA**

Se entiende por germinación a la serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta emergencia de la radícula; y por emergencia, a la etapa desde que emerge la radícula hasta la aparición del coleóptilo sobre el suelo. La semilla de maíz está recubierta por una capa externa que se llama pericarpio. La función de esta capa es proteger a la semilla, limitando o impidiendo la entrada de hongos o bacterias. Si el pericarpio resulta dañado, probablemente la germinación se torne más lenta, pues los patógenos pueden utilizar reservas de las semillas.

### **2.3.2. DESARROLLO DEL SISTEMA RADICAL**

El sistema radical del maíz consiste de dos sistemas de raíces: (1) raíces seminales cuyo origen está presente en el embrión y (2) raíces adventicias que se originan del tallo después de la germinación. Estos sistemas radicales son llamados temporario y permanente respectivamente, si bien el sistema seminal puede persistir y ser funcional durante toda la vida de la planta. El sistema adventicio empieza a desarrollarse cerca de VE y las primeras raíces empiezan a elongarse a partir del primer nudo durante V1. Desde V1 hasta casi R3 (después de la cual hay un crecimiento radical limitado), se desarrollan raíces adventicias en cada nudo del tallo hasta un total de 7 a 10 nudos.

Dado que la radícula y las raíces seminales laterales comienzan el crecimiento directamente de la semilla, la profundidad a la cual se desarrollan inicialmente dependerá de la profundidad de siembra. El crecimiento de estas raíces, sin embargo, decrece después de VE y es casi inexistente en el estado V3. Las raíces

adventicias, al igual que las seminales, crecen primero horizontalmente y después en profundidad. Este cambio en la dirección de crecimiento ocurre aproximadamente 4 semanas después de la siembra. Si la temperatura del suelo aumenta, hay menor crecimiento horizontal. Además de las raíces funcionales, 3 o 4 entrenudos aéreos pueden llevar raíces no funcionales que sirven para fijar la planta al suelo.

### **Estadio V3**

Aproximadamente a los 8 días posteriores a la emergencia la planta presenta 2 hojas y a los doce días 3 hojas. En V3 el ápice del tallo (punto de crecimiento) aún se encuentra por debajo de la superficie del suelo. En este momento se inician todas las hojas y espigas que la planta podría eventualmente producir. La ocurrencia de granizo, viento o heladas que puedan dañar las hojas expuestas en V3 tiene un efecto pequeño o nulo sobre el punto de crecimiento (subterráneo) o el rendimiento final de grano.

### **Estadio V5**

El estadio de 4 hojas en promedio, comienza a los 16 días posteriores a la emergencia, siendo V5 aproximadamente a los 20 días. Alrededor de V5, la formación de hojas y espigas estará completa y aparece en el extremo superior del tallo una pequeña panoja de tamaño microscópico. El ápice del tallo está justo por debajo de la superficie del suelo y la planta tiene una altura total aproximada de 20 cm. El punto de crecimiento subterráneo durante las etapas vegetativas tempranas es especialmente afectado por la temperatura del suelo. Una baja temperatura incrementará el tiempo entre los estadios vegetativos y el número total de hojas formadas, retrasará el desarrollo de la planta y reducirá la disponibilidad de nutrientes. Cuando el punto de crecimiento está por debajo del nivel del suelo condiciones de anegamiento pueden matar a la planta en pocos días, especialmente si las temperaturas son altas.

### **Estadio V6**

En el estado V6 (en promedio, 24 días posemergencia) el punto de crecimiento sobresale de la superficie del suelo y el tallo comienza un período de rápida elongación. En este momento las raíces adventicias son el principal sistema funcional. En este estadio, son visibles algunos macollos. Los macollos se forman generalmente en nudos por debajo de la superficie del suelo, pero no muestran un

crecimiento avanzado. El grado de desarrollo de macollos variará en función del cultivar elegido, la densidad de siembra, la fertilidad y las condiciones ambientales.

### **Estadio V9**

El estadio V9 comienza promedialmente a los 32 días posteriores a la emergencia. Durante dicho estadio, a partir de cada nudo aéreo se desarrolla una espiga potencial (con excepción de los 6 a 8 nudos por debajo de la panoja). Al principio cada una de ellas se desarrolla más rápidamente que la que se origina por encima de ella en el tallo. Sin embargo, el crecimiento de las espigas de la parte inferior del tallo se realiza gradualmente más despacio y sólo la primera o las dos primeras espigas superiores se desarrollarán en espigas productivas. Los cultivares que producen más de una espiga cosechable en el tallo principal se llaman prolíficos. La panoja se desarrolla rápidamente y el tallo continúa una rápida elongación a través de la elongación de sus entrenudos. Cada entrenudo va a comenzar la elongación antes que el que se encuentra por encima de él en el tallo, en forma similar al desarrollo inicial de los primordios de espiga.

### **Estadio V10**

Cerca de V10 (35 días en promedio, post- emergencia) la planta comienza un rápido incremento en la acumulación de materia seca que continuará hasta la etapa reproductiva avanzada. Se requieren altas cantidades de nutrientes y agua del suelo para cumplir con la demanda.

### **Estadio V12**

El estadio V12 ocurre promedialmente a los 48 días post- emergencia. Aunque las espigas potenciales se forman justo antes de la formación de la panoja (V5), el número de hileras en cada espiga y el tamaño de la espiga se establecen en V12. No obstante, la determinación del número de óvulos (granos potenciales) no se completará hasta una semana antes de la emergencia de barbas o cerca de V17. Deficiencias de agua o de nutrientes en esta etapa pueden reducir seriamente el número potencial de granos y el tamaño de la espiga cosechada. El potencial para estos dos componentes del rendimiento está también relacionado con la duración del período para su determinación, principalmente la duración desde el estadio V10 hasta el V17. Los cultivares de maduración temprana (ciclo corto) generalmente

progresarán a través de estos estadios en un tiempo más corto y tendrán espigas de menor tamaño que los de maduración más tardía.

#### **Estadio V15**

La planta de maíz presenta en promedio, 14 hojas, 56 días después de la emergencia y 15 hojas a los 2 meses de la misma y está a 10 a 12 días de la etapa R1. Este estadio es el comienzo del período más importante en términos de determinación del rendimiento de grano. El crecimiento de las espigas superiores supera al de las inferiores y un nuevo estadio vegetativo ocurre cada 1-2 días. Empiezan a crecer las barbas de las espigas superiores.

#### **Estadio V17**

En V17 las espigas superiores han crecido lo suficiente como para que sus extremos sean visibles y también puede ser visible el extremo superior de la panoja. En este estadio se completa la determinación del número de granos por hilera.

#### **Estadio V18**

Las barbas de los óvulos basales se desarrollan antes que las de los superiores. El desarrollo de los órganos reproductivos toma de 8 a 9 días, esto se produce una semana antes de floración, el desarrollo de la espiga continúa rápidamente. Cualquier deficiencia durante esta etapa retrasa el desarrollo de la espiga femenina y de los óvulos más que el de la panoja. El retraso en el desarrollo de las espigas provocará una desincronización entre el comienzo de la caída del polen y la emergencia de las barbas y por lo tanto problemas de fertilidad.

#### **Estadio VT (Panojamiento)**

VT se inicia aproximadamente 2-3 días antes de la emergencia de barbas, tiempo durante el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza la liberación del polen. El tiempo entre VT y R1 puede variar considerablemente en función del cultivar y de las condiciones ambientales.

## **2.4. ESTADOS REPRODUCTIVOS Y DESARROLLO DEL GRANO**

Los seis estadios reproductivos que se describen a continuación se refieren principalmente al desarrollo del grano y sus partes. La descripción de R2, R3 y R4, si

bien, generalmente se aplica a todos los granos de la espiga, se basa en los que se poseionan en el medio de la misma. La descripción de los granos en R5 o R6 corresponde a todos los granos de la espiga. En condiciones de campo, en cada planta la panoja libera el polen antes de que las barbas hayan emergido de la espiga, pero continúa liberándolo varios días después de que las barbas estén listas para ser polinizadas (en total una semana o más).

### **Estadio R1 - Emergencia de Barbas**

La etapa R1 comienza cuando algunas barbas son visibles fuera de las vainas (chala), aproximadamente 66 días después de la emergencia. La polinización ocurre cuando los granos de polen se depositan sobre las barbas. Un grano de polen capturado requiere 24 horas para crecer dentro de la barba hasta el óvulo donde ocurre la fertilización y el óvulo es fecundado. Generalmente se necesitan entre 2 y 3 días para que todas las barbas de una espiga queden expuestas y sean polinizadas. Las barbas van a crecer 2.5-3.8 cm por día y continuarán elongándose hasta ser fertilizadas. La barba suministra agua al polen y provoca su crecimiento. En este momento se determina el número de óvulos fertilizados. Cuando la punta del tubo polínico llega al micrópilo penetra entre las células del tejido nuclear hasta alcanzar el saco embrionario femenino. Cuando entra al saco embrionario, el tubo polínico se rompe liberando los dos espermatozoides.

El núcleo de uno de los espermatozoides ( $n=10$ ) se fusiona con el núcleo del óvulo ( $n=10$ ) formando el cigoto ( $2n=20$ ) del maíz. El otro espermatozoide se fusiona con los dos núcleos polares estableciendo el endospermo primario de 30 cromosomas ( $3n$ ). Este proceso es denominado doble fertilización. Los óvulos que no son fertilizados no producirán granos. Condiciones ambientales adversas en este momento causan una pobre polinización (bajo número de granos), especialmente un estrés hídrico que tiende a desecar las barbas y el polen. Las mayores reducciones en rendimientos de grano resultarán por efecto de estrés hídrico entre 2 semanas antes y 2 semanas después de R1, (que en cualquier otro período de crecimiento). Esto también es cierto con otros tipos de estrés como deficiencias en nutrientes, altas temperaturas o granizo. Este período de 4 semanas alrededor del período de floración es el más importante para la aplicación de riego.

**Estadio R2 - Ampolla (aproximadamente 10-14 días después de emergencia de Barbas)**

Aunque el embrión todavía se está desarrollando lentamente durante esta etapa, la radícula, el coleóptero y la primera hoja embrionaria ya se han formado. La mazorca está casi por alcanzar, o ya alcanzó, su tamaño completo. Las barbas, habiendo completado su función de floración, se oscurecen y comienzan a secarse. Los granos presentan cerca de 85% de humedad, porcentaje que irá descendiendo gradualmente hasta la cosecha.

**Estadio R3 - Lechoso (18-22 días después de emergencia de barbas)**

En R3 el grano es externamente de un color amarillo y el fluido interno es blanco lechoso debido a la acumulación de almidón. El embrión en esta etapa crece rápidamente (Ritchie et al, 1986). Los granos presentan una rápida acumulación de materia seca y contiene aproximadamente 80% de humedad. En R3 las divisiones celulares del endospermo están esencialmente terminadas, por lo que el crecimiento es debido principalmente a la expansión celular y la acumulación de almidón en las células. El rendimiento final depende del número de granos que se desarrolle y del tamaño final o peso de los granos. Aunque no tan severo como en R1, deficiencias en R3 pueden tener un efecto profundo en el rendimiento reduciendo ambos componentes de rendimiento. A medida que el grano madura, la reducción de rendimiento potencial debido a la ocurrencia de algún estrés es menor.

**Estadio R4 - Pastoso (24-28 días después de emergencia de barbas)**

La continua acumulación de almidón en el endospermo provoca que el fluido interno se transforme en una consistencia pastosa. Normalmente en esta etapa ya se han formado cuatro hojas embrionarias y el embrión ha crecido considerablemente en tamaño con respecto a la etapa R3.

**Estadio R5 - Dentado (35-40 días después de emergencia de barbas)**

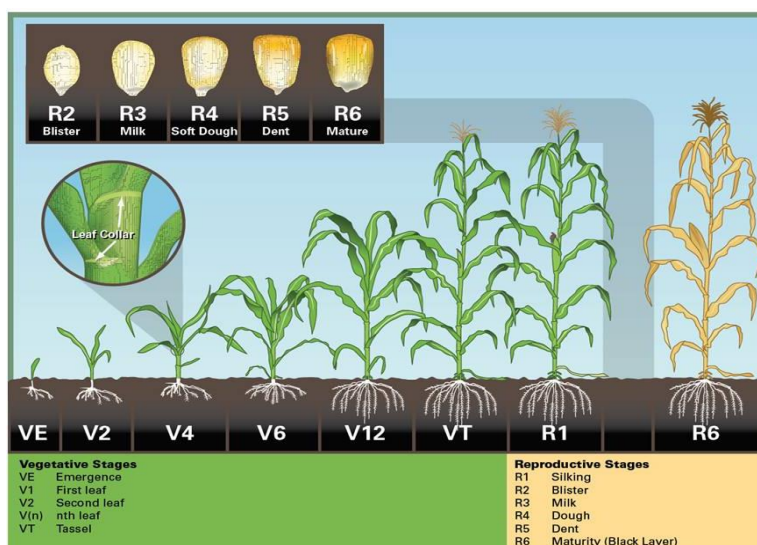
Los granos se secan comenzando por la parte superior donde aparece una capa dura de almidón de color blanco. Condiciones adversas en esta etapa reducirán el rendimiento a través de una disminución del peso de los granos y no del número de granos. Una helada severa, temprana (antes de R6) en siembras tardías puede cortar la acumulación de materia seca y causar la formación prematura de punto negro. También puede causar reducción en el rendimiento retrasando las operaciones de cosecha, debido a que en los maíces dañados por heladas el grano



se seca más lentamente. En este estadio es cuando se recomienda normalmente realizar el ensilaje.

### **Estadio R6 - Madurez Fisiológica (55-65 días después de emergencia de barbas)**

El estadio R6 se define cuando todos los granos en la espiga han alcanzado su máximo peso seco o máxima acumulación de materia seca y se forma una abscisión marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca (punto negro o capa negra). Esta abscisión es un buen indicador de la máxima acumulación de materia seca (madurez fisiológica) y señala el final de crecimiento del grano. El promedio de humedad de grano en R6 (formación del punto negro) es 30-35%, sin embargo, esto puede variar entre cultivares y condiciones ambientales. El grano aún no está pronto para un almacenamiento seguro, para lo cual se requiere 13-15% de humedad, cosecharen R6 o en seguida después, puede ser caro debido a los costos de secado, puede ser ventajoso dejar que el cultivo se seque parcialmente en el campo, dado que las pérdidas no son un problema. La tasa de secado después de R6 depende del cultivar y del ambiente. Si bien la duración del período emergencia de plántula emergencia de barbas es muy sensible a las variaciones climáticas, el período desde emergencia de barbas hasta máxima acumulación de MS en el grano es relativamente independiente de las mismas. Este período es bastante predecible. Finalmente en la figura 2.3, se ilustra la fenología resumida del maíz.



**Figura: 2.3.** Fenología del cultivo de maíz.

Fuente: Ritchie *et al.*, 1982.

## 2.5. FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El nitrógeno es el nutriente esencial más importante que juega un papel importante en la consecución del rendimiento máximo del cultivo en la agricultura.

Por lo tanto, los fertilizantes de nitrógeno tales como sulfato de amonio y urea han sido ampliamente utilizados en la agricultura moderna. Estos fertilizantes generalmente se oxidan a nitrato a través de nitrito por microorganismos nitrificantes en el campo agrícola (Ishii *et al.*, 2011; Isobe y Ohte 2014).

La fertilización nitrogenada en maíz es imprescindible para el logro de altos rendimientos y una alta eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) es deseable (Salvagiotti *et al.*, 2012). Entre los elementos minerales esenciales el N es el que con más frecuencia limita el desarrollo y rendimiento del maíz. Esta condición ocurre porque las plantas requieren grandes cantidades de N y porque la mayoría de los suelos no tienen suficiente N en forma disponible para mantener los niveles deseados de producción (Below, 2004).

El N llega a las raíces de la planta a través del proceso denominado "flujo masal", o transporte en la solución del suelo siguiendo un gradiente hídrico (el N es llevado por el flujo transpiratorio de la planta). A mayor contenido de agua en el suelo, concentración del nutriente en la solución, tasa transpiratoria de la planta y temperatura del suelo y aire, mayor será la absorción de N por la planta. La planta puede absorber N tanto bajo la forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) como de amonio ( $\text{NH}_4$ ) (Quiroga y Bono, 2012).

Estos iones llegan en primera instancia al espacio libre de la raíz (paredes celulares) y luego atraviesan las membranas entrando en las células vegetales. La absorción de nitrato se realiza contra un gradiente electroquímico (las raíces tienen carga negativa al igual que el ión nitrato, y la concentración de este último es mayor en las células de la raíz que en el suelo que la circunda), implicando, por lo tanto un gasto

de energía metabólica (ATP). La absorción de amonio se realiza a través de mecanismos pasivos, sin gasto de energía (Gutiérrez, 2012).

El nitrógeno tiene mayor influencia en el crecimiento y el rendimiento de las plantas de cultivo que cualquier otra nutriente esencial planta. Desempeña un papel fundamental en muchos procesos fisiológicos y bioquímicas de las plantas. El nitrógeno es un componente de varios compuestos orgánicos importantes que van desde las proteínas a ácidos nucleicos. Es un constituyente de la molécula de clorofila, que desempeña un papel importante en la fotosíntesis de las plantas (Fageria y Baligar, 2005).

Muchas enzimas son proteínas; por lo tanto, el N juega un papel clave en muchas reacciones metabólicas. El nitrógeno también es un constituyente estructural de las paredes celulares. Las Plantas deficientes en N crecen lentamente y sus hojas son de pequeño tamaño, lo cual disminuye el índice de área foliar y por ende la eficiencia del uso de la radiación y en consecuencia la actividad fotosintética (Barker y Pilbeam, 2007; Fageria, 2009).

En maíz las variables número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera son los que determinan el potencial de rendimiento, y se definen durante las etapas vegetativas que comprenden entre las 6 (V6) y la hoja 12 (V12) (Ritchie *et al.*, 1982). Para mejorar la eficiencia de uso del N es necesario fraccionar las aplicaciones de nitrógeno durante el periodo de mayor demanda del cultivo. El maíz absorbe pequeñas cantidades de N en el crecimiento inicial, pero la demanda se incrementa durante los estados fenológicos V6 y V12. Se ha demostrado que aplicaciones posteriores de N, no son económicas (García y Espinoza, 2009).

## **2.6. FUENTES NITROGENADAS DE LIBERACIÓN CONTROLADA**

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor

superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris et al., 2009). El aumento de la eficiencia de uso del N (EUN), debido al uso de tecnologías de suministro gradual, tiene repercusión sobre la producción vegetal y es un factor fundamental para reducir la contaminación del ambiente (Millán *et al.*, 2011). Las aplicaciones excesivas de N no son deseables desde el punto de vista económico y ambiental, por lo tanto, las mismas deben adecuarse a las necesidades del cultivo en cada sistema en que este se desarrolla (Salvagiotti *et al.*, 2000).

Por estas razones, los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación se han desarrollado para permitir una lenta liberación de nitrógeno en el suelo durante el crecimiento del cultivo. El uso de fertilizantes nitrogenados de liberación controlada es basado principalmente en el principio de la eficiencia de utilización de nitrógeno para la producción agrícola Hayatsu (2008) actualmente, hay tres tipos de productos que se comercializan que pretenden mejorar la eficiencia del uso de N de los fertilizantes nitrogenados: inhibidores de la nitrificación, inhibidores de la ureasa, y productos de liberación controlada. Estos productos funcionan desacelerando uno de los procesos en el ciclo de nitrógeno, de ese modo se reduce la pérdida de N (Schwab y Murdock, 2010).

## **CAPÍTULO III: DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

La investigación se desarrolló en lotes experimentales del campus politécnico de la ESPAM-MFL, localizada en el sitio El Limón perteneciente al Cantón Bolívar, Manabí. El lote experimental se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 0° 49' latitud Sur y 80° 10' latitud Oeste, a una altitud de 18 msnm, heliofanía de 1080 horas anuales y un promedio de precipitaciones de 1100 mm anuales.

### **3.2. MATERIAL VEGETAL**

Para el ensayo se utilizó el híbrido TRUENO que presenta un potencial de rendimiento para el trópico de Ecuador en alrededor de 200 qq ha<sup>-1</sup>. La desinfección de semillas se realizó con el insecticida Helix a base de Thiametoxan a 35% en suspensión concentrada, con una dosis de 3 cc del producto comercial/kg de semillas, y Thiodicard (semevin) en la misma dosis que el anterior.

### **3.3. FACTORES EN ESTUDIO**

#### **Factor A (Fuentes de N)**

**F<sub>1</sub>**: YaraVera AMIDAS (40% N + 6% S)

**F<sub>2</sub>**: Novatec 45 (45% N)

**F<sub>3</sub>**: Urea recubierta con agrotain (46% N)

**F<sub>4</sub>**: Urea común (46% N)

#### **Factor B (Niveles de N)**

**N<sub>1</sub>**: 100 kg ha<sup>-1</sup>

**N<sub>2</sub>**: 200 kg ha<sup>-1</sup>

**N<sub>3</sub>**: 300 kg ha<sup>-1</sup>

**F<sub>0</sub>N<sub>0</sub>**: Testigo sin Nitrógeno

**Cuadro: 3.1.** Tratamientos

Fuentes de Nitrógeno	Niveles de Nitrógeno			Testigo N <sub>0</sub>
	N <sub>1</sub> (100 kg ha <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> (200 kg ha <sup>-1</sup> )	N <sub>3</sub> (300 kg ha <sup>-1</sup> )	
F <sub>1</sub> (YaraVera AMIDAS)	F <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	F <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	
F <sub>2</sub> (Novatec 45)	F <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	F <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	
F <sub>3</sub> (Urea recubierta con AGROTAIN)	F <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	F <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	F <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	
F <sub>4</sub> (Urea común)	F <sub>4</sub> N <sub>1</sub>	F <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	F <sub>4</sub> N <sub>3</sub>	
Testigo F <sub>0</sub>				F <sub>0</sub> N <sub>0</sub>

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

El experimento se lo estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en arreglo factorial A x B + 1 con tres replicas por tratamiento, donde al factor A se le asignó las fuentes de nitrógeno y al factor B las dosis de nitrógeno. La combinación de fuentes y dosis de N y las réplicas conformaron en total 39 unidades experimentales. El análisis de datos se realizó a través del ANOVA y la separación de medias con la prueba de *Tukey*<sub>0.05</sub>. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT versión 2008.

Dentro del análisis se realizaron regresiones para determinar la dosis óptima biológica y la óptima económica, lo cual se obtuvo a través del análisis económico y cálculo diferencial. A continuación se presenta el esquema del ANOVA.

**Cuadro: 3.2.** Esquema del ANOVA

Fuentes de variación	Grados de libertad
Tratamientos	12
Fuentes de N	3
Niveles de N	2
Fuentes x Niveles	6
Testigo vs tratamientos	1
Repeticiones	2
Error experimental	24
Total	38

Fuente: Elaborado por los autores

### **3.5. UNIDAD EXPERIMENTAL Y DENSIDAD DE SIEMBRA**

La unidad experimental tuvo un tamaño de 16 m<sup>2</sup> con 6 surcos de 4 m de longitud espaciados a 0.80 m entre sí. Los datos se registraron en los 4 surcos centrales dejando los dos surcos externos como efecto borde. Así mismo, dentro de cada surco se eliminaron las dos plantas bordes de cada extremo del surco. La densidad poblacional fue de 62500 plantas ha<sup>-1</sup>, para lo cual las plantas estuvieron espaciadas a 0.20 m dentro de cada surco.

### **3.6. VARIABLES RESPUESTA**

#### **Altura de planta hasta la inserción de la mazorca (cm)**

Para obtener los datos de esta variable se midió desde el nivel del suelo hasta la inserción de la mazorca principal, a los 100 días después de la siembra y su valor se promedió en centímetros.

#### **Longitud de la mazorca (cm)**

Se evaluaron diez mazorcas tomadas al azar del área útil de cada parcela y se midió desde la base hasta el ápice de las mismas, luego se promedió su valor en centímetros.

#### **Diámetro de la mazorca (cm)**

Se midió la parte central de la mazorca (con y sin brácteas), con un calibrador, y posteriormente se expresó en centímetros.

#### **Hileras de granos por mazorca**

Se contó el número de hileras de granos que contenían las diez mazorcas tomadas al azar y posteriormente se promedió el valor obtenido.

#### **Peso promedio de la mazorca (g)**

Se promedió el peso de diez mazorcas tomadas al azar en cada tratamiento del área útil y se expresó su valor en gramos.

#### **Peso de 100 granos (g)**

Se escogieron 100 granos al azar en cada uno de los tratamientos del área útil y se registró su peso en gramos; luego se obtuvo el valor promedio.

### Rendimiento (kg/ha)

Al momento de la cosecha se pesaron en una balanza todas las mazorcas de la parcela útil de cada tratamiento. Este valor se expresó en kg ha<sup>-1</sup>. Para su ajuste a kilogramos por hectárea se utilizó la fórmula que se describe a continuación:

$$PA = \frac{P_{ac} * (100 - ha)}{100 - hd}$$

Dónde:

PA = peso ajustado

P ac = peso actual

ha = porcentaje de humedad actual

hd = porcentaje de humedad deseada

Ac = área de la parcela cosechada

## 3.7. APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS Y FERTILIZACIÓN

La fertilización nitrogenada se realizó en tres fracciones, la primera en la etapa fenológica VE donde se aplicó el 20% de la dosis total, la segunda en V6 y la tercera en V10 donde se aplicó 40 y 40% de la dosis total restante de los fertilizantes nitrogenados, esto según lo recomendado por García y Espinoza (2009). El fertilizante MicroEssentials SZ fue aplicado en su totalidad en la etapa de emergencia del cultivo, el muriato de potasio y el sulfato de magnesio se aplicó en dos fracciones, la primera en etapa VE y la segunda en V6. En la **figura 3.4** y **cuadros 3.3** y **3.4**. se muestra el plan de fertilización basado en la fenología del cultivo de maíz.



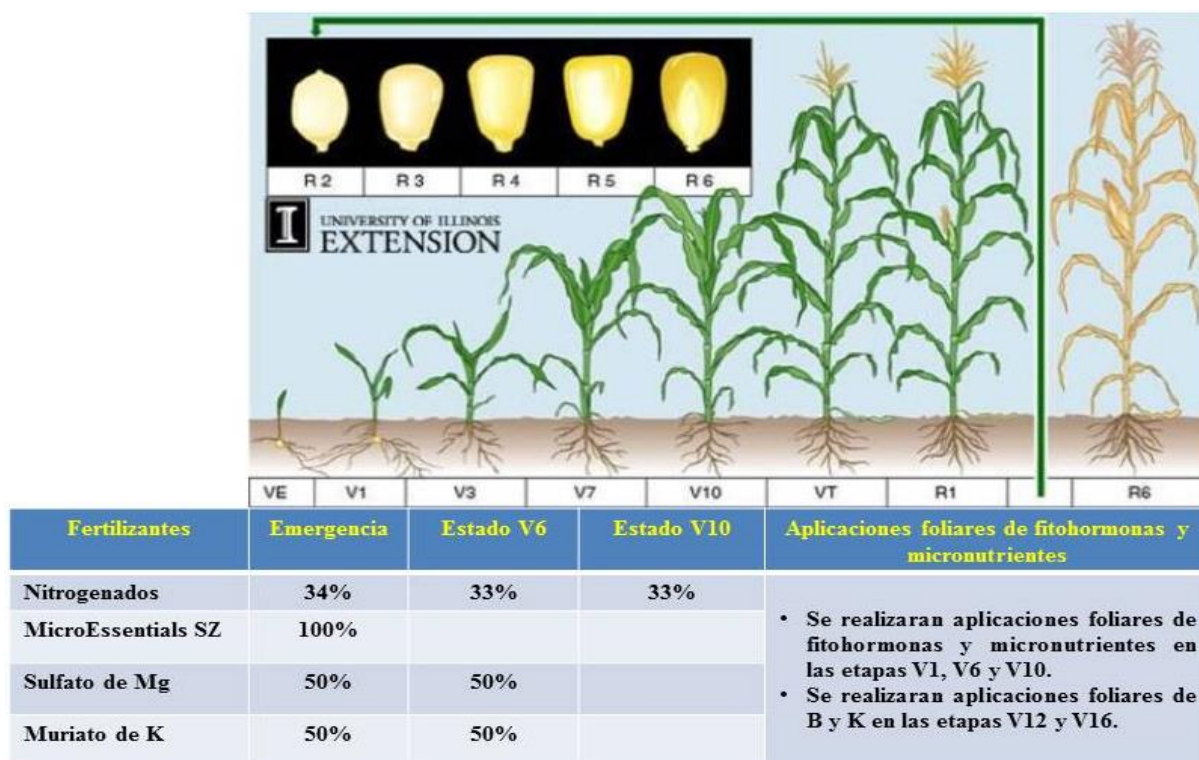


Figura: 3.4. Plan de fertilización de acuerdo a la fenología del cultivo.

Fuente: Nafziger, E. 2008.

Cuadro: 3.3. Fertilización nitrogenada de acuerdo a las dosis

Dosis de N	Fuentes de N	Total	Fracción 20% (Etapa VE)	Fracción 40% (Etapa V6)	Fracción 40% (Etapa V10)
100 kg N ha <sup>-1</sup>	Urea común (46% N)	217 kg ha <sup>-1</sup>	45 kg ha <sup>-1</sup>	86 kg ha <sup>-1</sup>	86 kg ha <sup>-1</sup>
200 kg N ha <sup>-1</sup>		434 kg ha <sup>-1</sup>	88 kg ha <sup>-1</sup>	173 kg ha <sup>-1</sup>	173 kg ha <sup>-1</sup>
300 kg N ha <sup>-1</sup>		651 kg ha <sup>-1</sup>	131 kg ha <sup>-1</sup>	260 kg ha <sup>-1</sup>	260 kg ha <sup>-1</sup>
100 kg N ha <sup>-1</sup>	Urea verde (46% N)	217 kg ha <sup>-1</sup>	45 kg ha <sup>-1</sup>	86 kg ha <sup>-1</sup>	86 kg ha <sup>-1</sup>
200 kg N ha <sup>-1</sup>		434 kg ha <sup>-1</sup>	88 kg ha <sup>-1</sup>	173 kg ha <sup>-1</sup>	173 kg ha <sup>-1</sup>
300 kg N ha <sup>-1</sup>		651 kg ha <sup>-1</sup>	131 kg ha <sup>-1</sup>	260 kg ha <sup>-1</sup>	260 kg ha <sup>-1</sup>
100 kg N ha <sup>-1</sup>	Novatec 45 (45% N)	222 kg ha <sup>-1</sup>	44 kg ha <sup>-1</sup>	89 kg ha <sup>-1</sup>	89 kg ha <sup>-1</sup>
200 kg N ha <sup>-1</sup>		444 kg ha <sup>-1</sup>	88 kg ha <sup>-1</sup>	178 kg ha <sup>-1</sup>	178 kg ha <sup>-1</sup>
300 kg N ha <sup>-1</sup>		666 kg ha <sup>-1</sup>	132 kg ha <sup>-1</sup>	267 kg ha <sup>-1</sup>	267 kg ha <sup>-1</sup>
100 kg N ha <sup>-1</sup>	YaraVera Amidas (40% N)	250 kg ha <sup>-1</sup>	50 kg ha <sup>-1</sup>	100 kg ha <sup>-1</sup>	100 kg ha <sup>-1</sup>
200 kg N ha <sup>-1</sup>		500 kg ha <sup>-1</sup>	100 kg ha <sup>-1</sup>	200 kg ha <sup>-1</sup>	200 kg ha <sup>-1</sup>
300 kg N ha <sup>-1</sup>		750 kg ha <sup>-1</sup>	150 kg ha <sup>-1</sup>	300 kg ha <sup>-1</sup>	300 kg ha <sup>-1</sup>
0 kg N/ha	Testigo	0	0	0	

Fuente: Elaborado por los autores

**Cuadro: 3.4.** Diseño de fertilización

Fuentes	Requerimientos de P, S y K ha <sup>-1</sup>		
	50 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	70 kg S	100 kg de K <sub>2</sub> O
MicroEsentials SZ (125 kg ha <sup>-1</sup> )	50 kg	15 kg	0
Sulfato de Mg (275 kg ha <sup>-1</sup> )	0	55 kg	0
Muriato de potasio (166 kg ha <sup>-1</sup> )	0	0	100 kg

Fuente: Elaborado por los autores

## CONTROL DE MALEZAS

**Pre-emergencia:** para el control pre-emergente de las malezas se aplicó la mezcla de los herbicidas Atrazina-80 + pendimetalin en dosis de 1.5 + 3 litros/ha, respectivamente. Debido a la aparición de malezas al momento de la siembra se aplicó la mezcla anteriormente mencionada 1.5 litros de glifosato.

**Post-emergencia:** para el control de malezas tales como hoja ancha o coquito, luego del tratamiento en pre-emergencia, se aplicó Bentazon + MCPA en dosis de 1.5 litros/ha de cada uno, a partir de la segunda o tercera hoja del cultivo hasta que el maíz tenga como máximo cinco hojas.

## Control de plagas y enfermedades

Para el control de gusano cogollero se utilizó los insecticidas diazinon y clorpirifos en dosis de 1.5 cc/litro de agua. Para el control de enfermedades foliares como la macha de asfalto y curvularia, se utilizó el fungicida bankit en dosis de 1.5 g/litro de agua.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura de inserción de mazorca

El análisis de varianza aplicado a la variable altura de la inserción de la mazorca (cuadro 4.5) no presentó diferencias estadísticas significativas para las fuentes de N ( $p=0.7059$ ), los niveles de N ( $p=0.0726$ ) y la respectiva interacción fuentes\*niveles de N ( $p=0.7199$ ). Así mismo, el análisis de contraste entre los tratamientos de fertilización nitrogenada vs el testigo sin nitrógeno tampoco mostro diferencias estadísticas significativas ( $p=0.2464$ ). Los resultados indican que las fuentes y dosis de nitrógeno no influenciaron el desarrollo de la planta en términos de altura. Posiblemente, esto se deba a que los caracteres morfológicos de la planta están determinados genéticamente.

**Cuadro: 4.5.** Análisis de varianza altura de inserción de la mazorca.

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat	107,53	12	8,96	1,24	0,3160 <sup>NS</sup>
Rep	3,14	2	1,57	0,22	0,8065
Fuentes N	10,14	3	3,38	0,47	0,7059 <sup>NS</sup>
Niveles N	60,73	2	30,36	4,19	0,0726 <sup>NS</sup>
F x N	26,43	6	4,4	0,61	0,7199 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal	10,23	1	10,23	1,41	0,2464 <sup>NS</sup>
Error	173,94	24	7,25		
Total	284,61	38			

Fuente: Elaborado por los autores

### Longitud de la mazorca

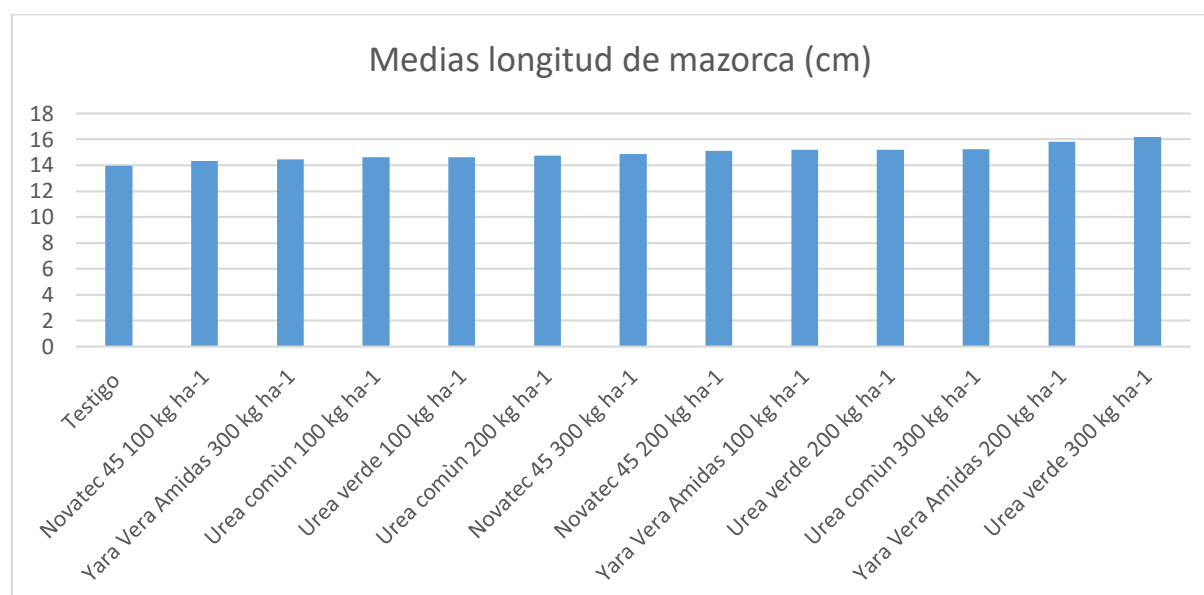
De acuerdo al análisis de varianza aplicado a la variable longitud de mazorca (cuadro 4.6), solo se evidenció diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p=0.0350$ ) y para el contraste entre los tratamientos de fertilización nitrogenada vs la parcela de omisión de N ( $p=0.0155$ ), mientras que el ANOVA no mostró diferencias estadísticas para los factores fuentes de N ( $p=0.2939$ ), niveles de N ( $p=0.1444$ ) ni para la respectiva interacción ( $p=0.1029$ ). Esto indica que independientemente de la fuente o dosis de nitrógeno, la fertilización nitrogenada promueve un mayor desarrollo de la mazorca en términos de longitud, en relación a la parcela testigo con omisión de N. (En el grafico 4.1), se muestra que todos los

tratamientos de fertilización nitrogenada superaron al testigo, donde se observa que el mayor rendimiento fue obtenido con 300 kg ha<sup>-1</sup> de N a base de urea verde.

**Cuadro: 4.6.** Análisis de varianza longitud de mazorca.

	FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat		13,11	12	1,09	2,37	0,0350*
Rep		0,61	2	0,3	0,66	0,5275
Fuentes N		1,93	3	0,64	1,32	0,2939 <sup>NS</sup>
Niveles N		2,07	2	1,03	2,12	0,1444 <sup>NS</sup>
F x N		5,98	6	1	2,04	0,1029 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal		3,13	1	3,13	6,79	0,0155*
Error		11,08	24	0,46		
Total		24,8	38			

Fuente: Elaborado por los autores



**Gráfico: 4.1.** Efecto de los fertilizantes nitrogenados y su diferencia entre el testigo con omisión de nitrógeno

Fuente: Elaborado por los autores

### Diámetro de mazorca

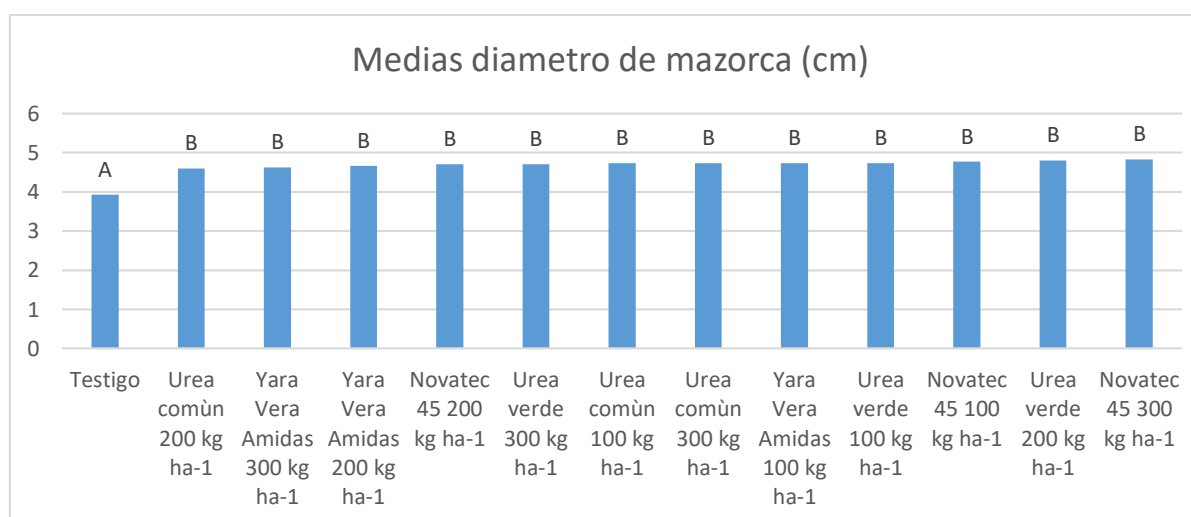
El análisis de varianza aplicado a la variable diámetro de mazorca (cuadro 4.7). Únicamente se presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,0001$ ) y para el contraste entre los tratamientos con fertilización nitrogenada vs el testigo con omisión de Nitrógeno ( $p < 0,0001$ ), mientras que para los factores en estudio y su interacción no se reportó diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ). Los

resultados muestran (grafico 4.2), que, sin importar la dosis o los niveles de N, la aplicación de fertilizantes nitrogenados promueve un mayor diámetro de mazorca en comparación al testigo sin aplicación de nitrógeno.

**Cuadro: 4.7.** Análisis de varianza diámetro de la mazorca.

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat	1,85	12	0,15	14,21	<0,0001**
Rep	0,02	2	0,01	0,87	0,4308 <sup>NS</sup>
Fuentes N	0,05	3	0,02	1,69	0,1985 <sup>NS</sup>
Niveles N	0,02	2	0,01	0,79	0,4608 <sup>NS</sup>
F x N	0,08	6	0,01	1,32	0,2901 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal	1,71	1	1,71	157,35	<0,0001**
Error	0,26	24	0,01		
Total	2,13	38			

**Fuente:** Elaborado por los autores



**Gráfico: 4.2.** Efecto de los tratamientos aplicados sobre la variable diámetro de mazorca.

Fuente: Elaborado por los autores.

### Numero de hileras por mazorca

El análisis de varianza aplicado a la variable número de hileras por mazorca (cuadro 4.8), presento diferencias significativas para el contraste fertilización nitrogenada vs testigo ( $p=0,0033$ ). Mientras que para los tratamientos ( $p=0,2143$ ), fuentes de N ( $p=0,4787$ ), niveles de N ( $p=0,8702$ ) y su respectiva interacción ( $p=0,7496$ ), no presentaron diferencias significativas para las mismas. Esto indica que el número de

hileras por mazorca se ve influenciada por la aplicación de N en relación a la parcela con omisión de N, independientemente de la fuente y dosis de N utilizada.

**Cuadro: 4.8.** Análisis de varianza número de hileras por mazorca.

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat	16,11	12	1,34	1,44	0,2143 <sup>NS</sup>
Rep	2,15	2	1,07	1,15	0,3323 <sup>NS</sup>
Fuentes N	2,53	3	0,84	0,86	0,4787 <sup>NS</sup>
Niveles N	0,28	2	0,14	0,14	0,8702 <sup>NS</sup>
F x N	3,37	6	0,56	0,57	0,7496 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal	9,94	1	9,94	10,68	0,0033*
Error	22,33	24	0,93		
Total	40,59	38			

Fuente: Elaborado por los autores

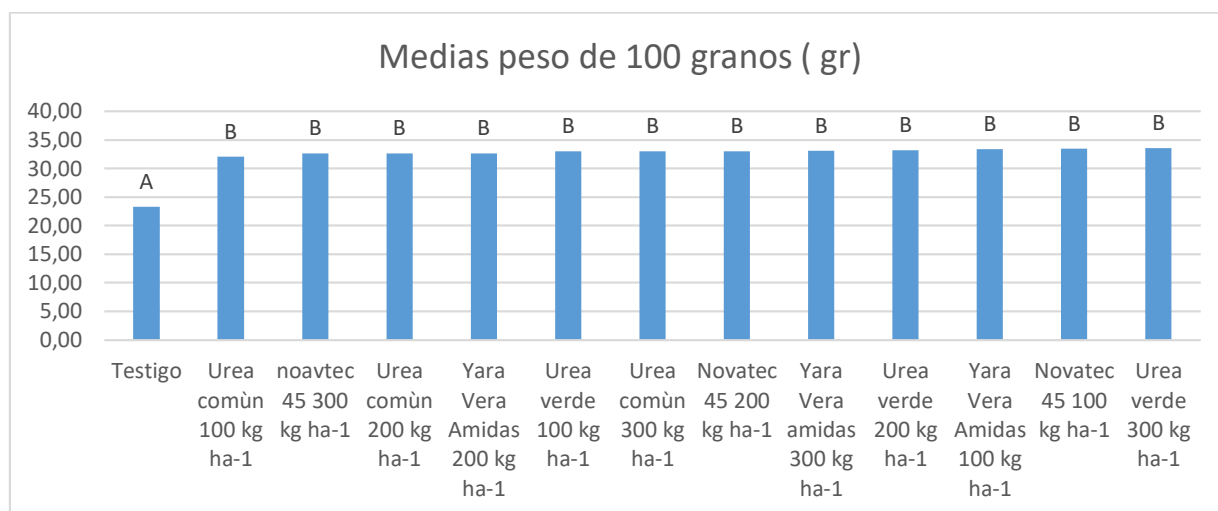
### **Peso de 100 granos**

El análisis de varianza aplicado a la variable número de hileras por mazorca (cuadro 4.9), presento diferencias significativas para el contraste fertilización nitrogenada vs testigo ( $p=0,0033$ ). Mientras que para los tratamientos ( $p=0,2143$ ), fuentes de N ( $p=0,4787$ ), niveles de N ( $p=0,8702$ ) y su respectiva interacción ( $p=0,7496$ ), no presentaron diferencias significativas para las mismas. Esto indica que el número de hileras por mazorca se ve influenciada por la aplicación de N en relación a la parcela con omisión de N, independientemente de la fuente y dosis de N utilizada.

**Cuadro: 4.9.** Análisis de varianza peso de 100 granos.

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat	266,17	12	22,18	39,12	<0,0001**
Rep	0,27	2	0,14	0,24	0,7887 <sup>NS</sup>
Fuentes N	2,33	3	0,78	2,19	0,1175 <sup>NS</sup>
Niveles N	0,20	2	0,10	0,29	0,7541 <sup>NS</sup>
F x N	3,59	6	0,60	1,69	0,1699 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal	260,05	1	260,05	458,63	<0,0001**
Error	13,61	24	0,57		
Total	280,05	38			

Fuente: Elaborado por los autores



**Gráfico: 4.3.** Efecto de los tratamientos sobre la variable peso de 100 granos.

Fuente: Elaborado por los autores

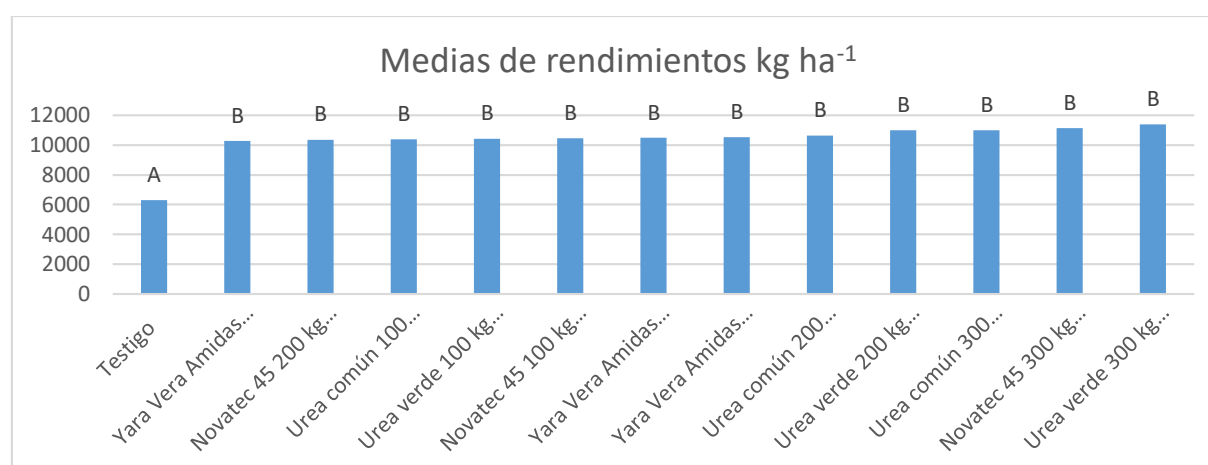
### Rendimiento $\text{kg ha}^{-1}$

El análisis de varianza aplicado a la variable rendimiento (cuadro 4.10) mostró diferencias significativas para tratamientos ( $p=0,0001$ ), para el factor niveles de nitrógeno ( $p=0,0158$ ) y para el contraste tratamientos nitrogenados vs testigo sin N ( $p= 0,0001$ ). Mientras que el factor fuentes de N y la interacción fuentes x dosis no mostraron diferencias significativas. Los resultados presentados en la (grafico 4.4), muestran que la aplicación de fertilizantes nitrogenados influye significativamente en el rendimiento del maíz con valores que fluctúan entre los 220  $\text{qq ha}^{-1}$  y 242  $\text{qq ha}^{-1}$ , mientras que el testigo con omisión de N solo obtuvo valores que se acercan a los 132  $\text{qq ha}^{-1}$ . Esto puede deberse a que el nitrógeno cumple un papel importante en el llenado de granos, siendo este esencial en la producción de materia seca que se ve representada en un mayor incremento del peso del grano por lo consiguiente un mayor rendimiento, lo que pone en manifiesto que el uso de aditivos inhibidores de nitrificación hacen más eficiente la fertilización nitrogenada de los cultivos. Esto concuerda a lo descrito por Barbieri. *et al*, (2010), en su investigación mencionando que la utilización de inhibidores permite reducir las pérdidas de  $\text{NH}_3$  por volatilización. Correspondiente a los niveles de nitrógeno (grafico 4.4) se puede observar que el nivel 300  $\text{kg ha}^{-1}$  presento los valores más altos, seguido del nivel 200  $\text{kg ha}^{-1}$  y por último el nivel 100  $\text{kg ha}^{-1}$  que presentó los valores menos representativos.

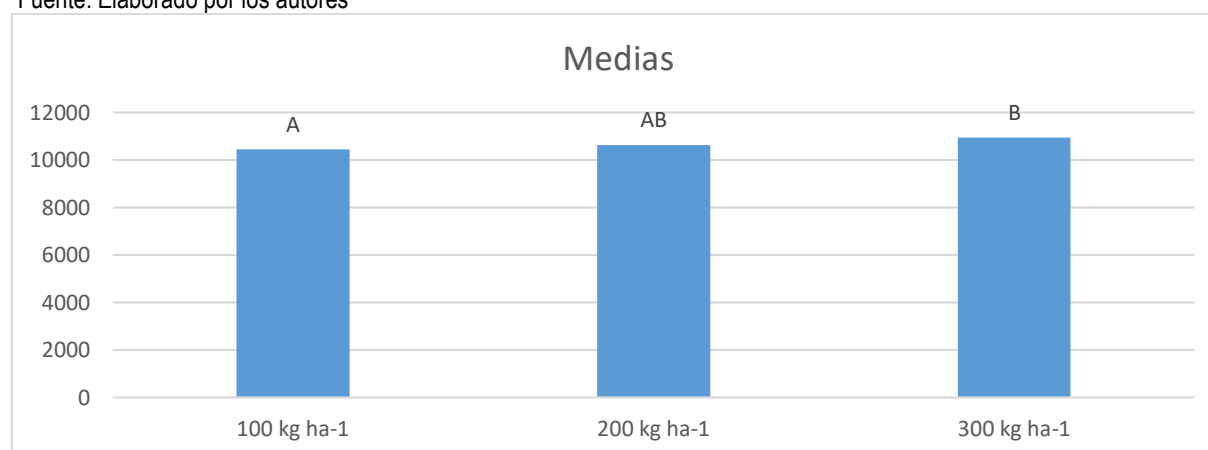
**Cuadro: 4.10.** Análisis de varianza rendimiento por parcela.

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Trat	57034479,29	12	4752873,27	31,87	<0,0001**
Rep	815651,94	2	407825,97	2,73	0,0851 <sup>NS</sup>
Fuentes N	1111141,89	3	370381,00	2,40	0,0951 <sup>NS</sup>
Niveles N	1555355,00	2	777678,00	5,04	0,0158*
F x N	1471000,58	6	245167,00	1,59	0,1974 <sup>NS</sup>
Contraste ortogonal	52896981,82	1	52896981,82	354,71	<0,0001**
Error	3579075,26	24	149128		
Total	61429206,49	38			

Fuente: Elaborado por los autores

**Gráfico: 4.4.** Efecto de los tratamientos sobre la variable rendimiento Kg/Ha<sup>-1</sup>

Fuente: Elaborado por los autores

**Gráfico: 4.5.** Efecto de los niveles de N sobre la variable rendimiento Kg/Ha<sup>-1</sup>

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que el uso de fertilizantes de lenta liberación y liberación controlada podrían influir significativamente sobre el rendimiento del maíz debido que evita en gran porcentaje la pérdida del N por volatilización, por lixiviación o por nitrificación logrando mayores rendimientos que concuerda a lo expuesto por Ferraris, *et al*, (2005), mencionando que el uso de



inhibidores agregado a la Urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas del N. Finalmente Bittman, *et al.*, (2014) menciona que los inhibidores de la nitrificación retrasan la transformación del nitrógeno amónico en nitrógeno nítrico. Bloquean temporalmente la acción de la enzima mono-oxigenasa de amonio en las bacterias *Nitrosomonas ssp*, son responsables del primer paso del proceso de nitrificación (conversión de amonio a nitrito). Por otra parte, los niveles de N usados tuvieron diferencias significativas siendo la dosis de 300 kg ha<sup>-1</sup> lo cual no concuerda con Barrios, M. (2018) mencionando que los mayores rendimientos se mostraron con la dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. Esta diferencia de resultados podría deberse al tiempo de aplicación de fertilizantes, al tipo del suelo y al material genético.

Posiblemente estos resultados obtenidos se deben a que el nitrógeno es muy escaso en el suelo debido a muchos problemas tales como lixiviación y volatilización por ende surge la idea de probar fuentes de N que aseguren la adecuada disponibilidad de este nutriente a la planta ya que el nitrógeno cumple funciones esenciales en los cultivos siendo este uno de los nutrientes de mayor importancia según lo mencionado por Black, C. (1975), expresando que el nitrógeno es el elemento que tiene la mayor probabilidad de limitar el crecimiento de los cultivos, debido a que intervienen en la formación de los aminoácidos y proteínas; esto, a su vez, interviene en el crecimiento de los diversos órganos de la planta aumentando la superficie foliar y la masa protoplasmática. El nitrógeno controla, además, el crecimiento y fructificación de las plantas teniendo marcada influencia en la calidad y valor de las diferentes partes de la planta. De igual manera Rodríguez, C. (1995). menciona que el nitrógeno es contenido en la molécula de clorofila, por lo que una deficiencia de N va a resultar en una condición clorótica en la planta. El N es también un constituyente estructural de las paredes celulares. Por último, Huber, *et al.*, (1994) menciona que el N ayuda a mantener los granos funcionales a lo largo del relleno del grano, influyendo en el número de granos desarrollado y en tamaño final del grano.

Finalmente, los resultados mostraron que el tratamiento de mayor impacto fue el T9 (Urea verde 300 kg ha<sup>-1</sup>) este resultado se deba posiblemente a que el N estuvo mayormente disponible para la planta, gracias al inhibidor de la ureasa que provoca la nitrificación del nutriente.

El análisis económico realizado en base a beneficios netos (*diferencia entre los incrementos de los costos que varían y el incremento de los rendimientos de los*

tratamientos en relación al tratamiento testigo) mostró que el tratamiento con mayor rendimiento agronómico fue e T9 (Urea verde 300 kg ha<sup>-1</sup>) con 250,03 USD qq ha<sup>-1</sup>. Mientras que los tratamientos que mostraron mayor beneficio neto económico fueron: Urea común 100 kg ha<sup>-1</sup> con 2108,78 USD con un incremento de los costos de 167,90 USD ha<sup>-1</sup> seguido del tratamiento Urea verde 100 kg ha<sup>-1</sup> con un beneficio neto económico de 2104,78 USD ha<sup>-1</sup> y con un incremento de los costos de 190,78 USD ha<sup>-1</sup> por ultimo el tratamiento Yara Vera Amidas 100 kg ha<sup>-1</sup> que obtuvo un beneficio neto de 2093,70 USD y un incremento de los costos de 216,90 USD ha<sup>-1</sup> (Cuadro 4.11).

	Tratamientos	Costos que no varían en los tratamientos. Cf = Arriendo y preparación de terreno, semillas, siembra, Control plagas y malezas, riego y cosecha	Costo que varía por fertilización (US\$ ha <sup>-1</sup> ). Cqv = costo de fertilizantes, fertilización y desgrane y transporte	Incremento de los costos que varían con respecto al testigo (US\$ ha <sup>-1</sup> ): Icq = Cqv Tratamientos - Cqv Testigo	Costos totales de producción (US\$ ha <sup>-1</sup> ) Ctp=Cf + Cqv	Rendimiento (qq ha <sup>-1</sup> ). RTn	Incrementos de los rendimientos respecto al testigo (qq ha <sup>-1</sup> ). IR = RTn - T13	Precio unitario por qq en USD	Ratio Rt=BNT-RTn	Ingresos totales (US \$ ha <sup>-1</sup> ). IT = RTn * Pc	Beneficio neto del uso de la fertilización nitrogenados (US \$ ha <sup>-1</sup> ). BNT n = IT - Ctp
<b>Maíz amarillo duro (70.000 plantas ha-1)</b>											
1	Yara Vera Amidas 100 kg ha-1	1042	553,58	<b>216,90</b>	1595,58	230,58	<b>91,90</b>	16,00	<b>9,08</b>	3689,28	<b>2093,70</b>
2	Yara Vera Amidas 200 kg ha-1	1042	679,99	<b>343,31</b>	1721,99	231,99	<b>93,31</b>	16,00	8,58	3711,84	1989,85
3	Yara Vera Amidas 300 kg ha-1	1042	799,35	<b>462,67</b>	1841,35	226,35	<b>87,67</b>	16,00	7,87	3621,60	1780,25
4	Novatec 45 100 kg ha-1	1042	744,91	<b>408,23</b>	1786,91	230,11	<b>91,43</b>	16,00	8,23	3681,76	1894,85
5	Novatec 45 200 kg ha-1	1042	1065,35	<b>728,67</b>	2107,35	227,99	<b>89,31</b>	16,00	6,76	3647,84	1540,49
6	Novatec 45 300 kg ha-1	1042	1402,44	<b>1065,76</b>	2444,44	244,68	<b>106,00</b>	16,00	6,01	3914,88	1470,44
7	Urea verde 100 kg ha-1	1042	527,46	<b>190,78</b>	1569,46	229,64	<b>90,96</b>	16,00	<b>9,17</b>	3674,24	<b>2104,78</b>
8	Urea verde 200 kg ha-1	1042	639,49	<b>302,81</b>	1681,49	241,62	<b>102,94</b>	16,00	9,04	3865,92	2184,43
9	Urea verde 300 kg ha-1	1042	748,24	<b>411,56</b>	1790,24	250,32	<b>111,64</b>	16,00	8,85	4005,12	2214,88
10	Urea común 100 kg ha-1	1042	504,58	<b>167,90</b>	1546,58	228,46	<b>89,78</b>	16,00	<b>9,23</b>	3655,36	<b>2108,78</b>
11	Urea común 200 kg ha-1	1042	588,76	<b>252,08</b>	1630,76	234,34	<b>95,66</b>	16,00	9,04	3749,44	2118,68
12	Urea común 300 kg ha-1	1042	674,58	<b>337,90</b>	1716,58	241,86	<b>103,18</b>	16,00	8,90	3869,76	2153,18
13	Testigo	1042	336,68	<b>0,00</b>	1378,68	138,68	<b>0,00</b>	16,00	6,06	2218,88	840,20

**Cuadro: 4.11.** Análisis económico de los tratamientos

Fuente: Elaborado por los autores.

# **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

- Las fuentes nitrogenadas Urea común, Urea verde y Yara Vera Amidas en la dosis 100 kg ha<sup>-1</sup> se muestran como las más adecuadas y económicas.
- La urea verde en la dosis 300 kg ha<sup>-1</sup> obtuvo el mayor rendimiento agronómico con 250.32 qq ha<sup>-1</sup> bajo las condiciones agroclimáticas del valle del río carrizal.
- La urea común con un contenido de N del 46% en la dosis 100 kg ha<sup>-1</sup> se muestra como la alternativa más económica y de fácil adquisición como fuente de nitrógeno para obtener una buena rentabilidad.
- La aplicación de fertilizantes de liberación lenta y controlada mostraron rendimientos superiores en contraste a los demás tratamientos convencionales y al testigo con omisión de N.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Probar otras fuentes nitrogenadas de eficiencia mejorada en maíz bajo las condiciones del valle de río carrizal.
- Evaluar los niveles de N probados en otras localidades y otros genotipos de maíz, con la finalidad de ajustar los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barker, A. and Pilbeam, D. (Ed). 2007. Handbook of plant nutrition. Florida, US. Taylor & Francis Group, LLC. 662 p.
- Barbieri, P., et al, 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. P- 60.
- Barrios, M.; Basso, C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. P. 39-48.
- Below, F. 2004. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. Informaciones Agronómicas 54. P. 3 – 9.
- Bittman, S.; Dedina, M.; 2014: Options for ammonia mitigation, Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK. [www.clrtap-tfrn.org/content/options-ammonia-abatement-guidance-unece-task-force-reactive-nitrogen](http://www.clrtap-tfrn.org/content/options-ammonia-abatement-guidance-unece-task-force-reactive-nitrogen). P. 1
- Black, C. A. 1975 "Relaciones suelo planta". Tomo II. Editorial Hemisferio Sur. México. P. 445 – 456.
- Bravo, J. 2015. Conozca sobre las pérdidas post cosecha de maíz duro. Revista Técnica Maíz y Soya. Abril, p. 42-43
- CESAVEG, 2008. Campaña de manejo fitosanitario de maíz. Comité estatal de sanidad vegetal Guanajuato. Guanajuato, México. 20 p.
- Colless, J. 1992. Maize growing, Agfact P3.3.3, second edition. NSW Department of Agriculture, Orange.
- Edwards, J. (Ed). 2009. Maize Growth and Development. State of New South Wales, Australia. PROCROP – NSW DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES. 60 p.
- Fageria, N. 2009. The use of nutrients in crop plants. Florida, US. Taylor & Francis Group, LLC. 448 p.
- Fageria, N. and Baligar, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv. Agron. 88:97–185.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Dirección de estadística FAOSTAT. Consultado en línea (marzo 9 del 2016). Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

- Fassio, A.; Carriquiry, A.; Tojo, C. y Romero, R. 1998. Maíz: aspectos de fenología. Montevideo, Uruguay. INIA. Serie técnica N° 101. 59 p.
- FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). 2010. El cultivo de maíz, historia e importancia. Bogotá, Colombia. Revista El Cerealista 93: 10 – 19.
- Ferraris, G.; Couretot, L. y Toribio, M. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuentes, dosis y usos de inhibidores. *Informaciones Agronómicas* 43: 19 – 22.
- García, J. y Espinoza, J. 2009. Efecto del fraccionamiento del nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas* 72: 1 – 5.
- Granados, R; Sarabia, A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 436
- Grande, C. y Orozco, B. 2013. Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*. 11(1): 97 – 110.
- Gutiérrez, R. 2012. Systems Biology for Enhanced Plant Nitrogen Nutrition. *Science* 336(6089): 1673 – 1675.
- Hayatsu, M., K. Tago, and M. Saito. 2008. Various players in the nitrogen cycle: diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54:33–45.
- HUBER, D. M.; TSAI, C. Y.; STROMBERGER, J. A. Interacción de K con N y su influencia en el crecimiento y potencial de rendimiento del maíz. En: CONFERENCIA ANUAL DE INVESTIGACIÓN DE MAÍZ Y SORGO, 48., 1994, Chicago. Actas ... Washington: American Seed Company Association, 1994. p. 165-176.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2010. Sistema agroalimentario del maíz. Quito, Ecuador. 28 p.
- Ishii, S.; Ikeda, S.; Minamisawa, M. and Senoo, K. 2011. Nitrogen cycling in rice paddy environments: past achievements and future challenge. *Microbes Environ.* 26:282–292.
- Isobe, K. and Ohte, N. 2014. Ecological perspectives on microbes involved in N-cycling. *Microbes Environ.* 29:4–16.

- Izarra, W. y López, F. 2012. Manual de observaciones fenológicas. Servicio Nacional de meteorología e hidrología (SENAMI). Lima, PE. 98 p.
- Jiménez, S.; Castro, L.; Yépez, J. y Wittmer, C. 2012. Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia del Ecuador. Avances de Investigación 66: 1 – 92.
- Kar, G. and Kumar, A. 2015. Effects of Phenology-based Irrigation Scheduling and Nitrogen on Light Interception, Water Productivity and Energy Balance of Maize (*Zea mays* L.). Journal of the Indian Society of Soil Science 63(1): 39-52.
- Komodini, S. and Tollenaar, T. 1998. Corn Phenology. University of Guelph. Canada. Consultado en línea (23 de octubre 2016). Disponible en: <http://www.plant.uoguelph.ca/research/homepages/tollenaar/research/corn.html>
- Lara, W. y Yamada, T. 1999. Urea aplicada en la superficie del suelo: un pésimo negocio. Informaciones Agronómicas 37: 10 – 12.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). 2015. SINAGAP, Superficie, producción y rendimiento, maíz duro seco. Consultado en línea (marzo 9 del 2016). Disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/maiz-duro-seco>
- Millán, G.; Agosto, F.; Vázquez, M.; Botto, L.; Lombardi, L. y Juan, L. 2011. Uso de la clinoptilolita como vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana Argentina. Informaciones Agronómicas 2: 16 – 21.
- Quiroga, A. y Bono A. (Ed). 2012. Manuel de fertilidad evaluación de suelos. La pampa, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 162.
- Ritchie, SW & JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Rodríguez, C. 1995. Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*lycopersicum esculentun mili*). FLORADADE. P 11.
- Salvagiotti, F.; Ferraguti, F. y Manlla, A. 2012. Respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa. Informaciones Agronómicas 8: 1 – 5.

- Salvagiotti, F.; Pedrol, H. y Castellarín, J. 2000. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. *Informaciones Agronómicas* 38: 11 – 13.
- Schwab, G. and Murdock, L. 2010. Nitrogen transformation inhibitors and controlled release urea. Lexington, Kentucky, USA. Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture. 6 p.
- Thielen, D.; Cevallos, J.; Erazo, T.; Zurita, I.; Figueroa, J.; Velásquez, E.; Matute, N.; Quintero, J. y Puche, M. 2016. Dinámica espacio-temporal de las precipitaciones durante el evento de El Niño 97/98 en la cuenca de Río Portoviejo, Manabí, costa ecuatoriana del Pacífico. *Revista de Climatología* 16: 35 – 50.
- Valdez, J.; Soto, F.; Osuna, T. y Báez, M. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia* 46: 399 – 410.

# **ANEXOS**





Anexo 1. Medición y balizado de las parcelas



Anexo 2. Control de malezas en post-emergencia



Anexo 3. Curado y sembrado de las semillas



Anexo 4. Rótulos ubicados en cada parcela



Anexo 5. Monitoreo de campo por parte del tutor



Anexo 6. Riego pre-siembra





Anexo 7. Pesado de los fertilizantes



Anexo 8. Aplicación de fertilizante



Anexo 9. Estadio V8 del cultivo



Anexo 10. Estadio R1 del cultivo



Anexo 11. Cosecha del maíz



Anexo 12. Mazorcas de cada parcela



Anexo 13. Medición del diámetro de la mazorca



Anexo 14. Medición longitud de la mazorca



Anexo 15. Medición peso de 100 granos



Anexo 16. Medición peso por parcela