

ZAMORANO
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

**Efecto de la densidad y el nitrógeno sobre
la productividad de dos cultivares de
maíz en El Zamorano, Honduras**

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

presentado por
Manuel Iván Villaseca Oróstica

Honduras, Abril, 2001

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos del autor.

Manuel Iván Villaseca Oróstica

Zamorano, Honduras
Abril, 2001

**Efecto de la densidad y el nitrógeno sobre
la productividad de dos cultivares de
maíz en El Zamorano, Honduras**

Presentado por:

Manuel Iván Villaseca Oróstica

Aprobada:

Pablo Paz, Ph.D
Asesor principal

Alfredo Rueda, Ph.D
Coordinador de Area Temática

Ana Margoth Andrews, Ph.D
Asesor secundario

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Coordinador de Carrera de
Ciencia y Producción Agropecuaria

David Moreira, M.B.A.
Asesor secundario

Antonio Flores, Ph.D
Decano

Pablo Paz, Ph.D
Coordinador PIA

Keith L. Andrews, Ph.D
Director General

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso.

A mis padres Manuel y Teresa

A mis hermanos Delia, Gregorio, Carolina y Jorge

A mis papás adoptivos: Leonardo e Inés Espinoza.

A todas aquellas personas que creyeron en mí y que en todo momento me apoyaron.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud, sabiduría y fortaleza.

A mis padres por estar siempre conmigo, darme su ayuda incondicional y simplemente por ser como son.

A mis hermanos Delia, Gregorio, Carolina y Jorge por creer en mí y por su infinita ayuda.

Al Dr. Leonardo y Doña Inés Espinoza por recibirme como un hijo y darme todo su cariño incondicional.

Al Dr. Pablo Paz por ser mi guía y entregarme sus conocimientos para ser posible la realización de este trabajo y por su amistad.

A doña Irma de Paz por su preocupación y por su comprensión.

A la Dra. Margoth Andrews y el Ing. David Moreira por su asesoramiento en este trabajo.

A Gabriela por ayudarme a realizar este trabajo.

A mi primo Patricio por preocuparse de mí y hacerme sentir cerca en lo lejano.

A todos mis tíos, tías y a mis primos, en especial Nora, Nena, Tito y Eve por estar siempre pendientes de mí.

A don Juan Pablo Mujica por darme siempre todo su apoyo.

A todas las personas que siempre estuvieron pendiente de mí, que se preocuparon y me apoyaron en todo.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A Zamorano por parte del financiamiento en estos cuatro años de estudio.

A la Sociedad Nacional de Agricultura de Chile por el financiamiento brindado para iniciar y poder finalizar mis estudios universitarios.

A la Familia Villaseca Oróstica por su apoyo financiero para la realización de mis estudios de Ingeniería.

RESUMEN

Villaseca O., Manuel I. 2001. Efecto de la densidad y el nitrógeno sobre la productividad de dos cultivares de maíz en El Zamorano, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras, 32 p.

El maíz constituye, después del trigo y el arroz, el cultivo más importante del mundo en la alimentación humana y animal. Algunas metas como el aumento en la productividad y la rentabilidad se pueden alcanzar cuando se conocen bien los cultivos y las técnicas más adecuadas para su producción. La creciente aplicación de nitrógeno, la alta población y los híbridos mejorados, han contribuido considerablemente al incremento anual en la producción. El objetivo del estudio fue definir las mejores combinaciones de población y fertilización nitrogenada para maximizar la productividad en dos materiales genéticos. Se evaluó el efecto de cinco densidades (60,000, 70,000, 80,000, 90,000 ó 100,000 plantas/ha) y tres niveles de nitrógeno (100, 200 ó 300 kg/ha) en las variedades Guayape (variedad de polinización libre) y C-343 (híbrido). El ensayo se realizó entre julio y diciembre del 2000 en Zamorano, Honduras. Se utilizó un arreglo factorial $2 \times 5 \times 3$ en un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro repeticiones. Se efectuó un análisis estadístico y económico, las variables medidas fueron las fenológicas y rendimiento y sus componentes. La variable días a floración masculina no fue afectada por ningún factor, Guayape presentó mayor número de días a floración femenina ($P < 0.05$). La altura de la planta y de la mazorca fue mayor en Guayape ($P < 0.05$). El acame de raíz fue mayor al aplicar 300 kg/ha de N ($P < 0.05$), el acame de tallo no se presentó. El híbrido C-343 presentó más rendimiento, mazorcas por planta y peso de mazorca ($P < 0.05$), las densidades no afectaron el rendimiento ($P < 0.05$) para ningún cultivar. Los niveles de nitrógeno de 200 y 300 kg/ha aumentaron el rendimiento ($P < 0.05$). Bajo condiciones de precios de maíz grano como las del Zamorano y alrededores, con los costos elevados como los de mano de obra no es económicamente rentable producir maíz para grano, especialmente con los rendimientos observados y los precios actuales.

Palabras claves: costos de producción, densidades, maximizar productividad, optimizar recursos, rentabilidad, variación de insumos.

Dr. Abelino Pitty

NOTA DE PRENSA

DENSIDADES Y NIVELES DE NITRÓGENO, FACTORES CRUCIALES EN EL AUMENTO PRODUCTIVO DE LOS CULTIVARES DE MAÍZ

El maíz tiene importancia mundial, su uso en la alimentación humana y animal es imprescindible. En los últimos años, se ha trabajado en diversas investigaciones para lograr aumentar sus rendimientos por medio de la manipulación de los insumos de la producción y así lograr abastecer de alimento a la siempre creciente población.

En la actualidad, gran parte de los pequeños productores utilizan una cantidad de insumos mínima y sus rendimientos son muy bajos. El aumento de la producción depende de varios factores, entre los más importantes se encuentran: el uso de cultivares mejorados, el aumento en las densidades y la mayor aplicación de fertilizantes especialmente nitrogenados.

Entre julio y noviembre del año 2000, se llevó a cabo un estudio en Zamorano con el propósito de evaluar cultivares que ofrecieran un máximo rendimiento de acuerdo a los cambios de densidad y niveles de nitrógeno.

En el experimento se utilizaron dos cultivares, el Guayape (polinización libre) y el C343 (híbrido), en cinco densidades (60, 70, 80, 90 ó 100 mil plantas por hectárea) y tres niveles de nitrógeno (100, 200 ó 300 kg por hectárea).

Los resultados mostraron que el híbrido C343 presentó los mayores niveles de rendimiento, las densidades no tuvieron ningún efecto en el aumento de los rendimientos en ninguno de los cultivares y los niveles de nitrógeno de 200 y 300 kg/ha contribuyeron más al aumento en el rendimiento.

El ensayo concluye que el híbrido C343 es más productivo que la variedad de polinización libre, aún en suelos que presentan condiciones adversas.

Lic. Sobeyda Alvarez

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Nota de Prensa.....	viii
Contenido.....	ix
Indice de Cuadros.....	xi
Indice de Figuras.....	xiii
Indice de Anexos.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Limitantes del estudio.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 El maíz en la nutrición.....	3
2.2 Importancia del maíz a nivel mundial.....	3
2.3 Importancia del maíz en Honduras.....	4
2.4 Características y mejoramiento de los cultivares de maíz.....	4
2.4.1 Variedades de polinización abierta.....	5
2.4.2 Híbridos.....	5
2.4.3 Variedades sintéticas.....	5
2.5 Nutrición del maíz.....	6
2.6 El N, sus características y su función en la planta.....	6
2.6.1 Criterios para la elección del fertilizante nitrogenado.....	7
2.7 Densidad de siembra.....	8
2.8 Requerimientos de N de acuerdo a población.....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Localización.....	10
3.2 Características del suelo.....	11
3.3 Diseño experimental.....	11
3.3.1 Tratamientos.....	12
3.4 Manejo del ensayo.....	12
3.4.1 Preparación de suelo.....	12
3.4.2 Siembra.....	12

3.4.3	Fertilización.....	12
3.4.4	Riegos.....	12
3.4.5	Control de malezas.....	13
3.4.6	Control de plagas y enfermedades.....	13
3.4.7	Cosecha.....	13
3.5	VARIABLES MEDIDAS.....	13
3.5.1	Fenológicas.....	13
3.5.2	Rendimiento en kg/ha y sus componentes.....	14
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1	Análisis estadístico.....	15
4.1.1	VARIABLES FENOLÓGICAS.....	15
4.1.1.1	Días a floración masculina.....	15
4.1.1.2	Días a floración femenina.....	17
4.1.1.3	Altura de la planta.....	17
4.1.1.4	Altura de la mazorca.....	18
4.1.1.5	Acame de raíz y acame de tallo.....	18
4.1.2	Rendimiento y sus componentes.....	19
4.1.2.1	Rendimiento.....	20
4.1.2.2	Número de mazorcas por planta.....	21
4.1.2.3	Peso de mazorca.....	22
4.1.2.4	Peso de granos por mazorca y porcentaje de desgrane.....	23
4.1.2.5	Número de semillas por kilogramo.....	23
4.2	Análisis marginal.....	24
4.2.1	Presupuestos de costos comunes y diferenciales de los tratamientos.....	24
5.	CONCLUSIONES.....	26
6.	RECOMENDACIONES.....	27
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	28
8.	ANEXOS.....	30

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Rendimientos obtenidos con diferentes poblaciones y varios niveles de nitrógeno. Programa de Mejoramiento de Maíz y Sorgo. Nicaragua. 1990.....	9
2.	Distancias de siembra entre plantas de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	11
3.	Efectos de los tratamientos sobre la fenología del maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	16
4.	Niveles de significancia para las variables fenológicas con coeficientes de variación y determinación.....	17
5.	Días a floración de flor femenina de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	17
6.	Altura de la planta de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	17
7.	Altura de la mazorca de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	18
8.	Efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento y rendimiento de dos materiales genéticos de maíz. El Zamorano, Honduras, 2001.....	19
9.	Niveles de significancia de los componentes de rendimiento y rendimiento con coeficiente de variación y determinación.....	20
10.	Rendimiento de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	20
11.	Rendimiento de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2001.....	21
12.	Número de mazorcas por planta de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	21

13.	Número de mazorcas por planta de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2001.....	22
14.	Peso de la mazorca de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.....	22
15.	Peso de la mazorca de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2001.....	22
16.	Peso de la mazorca de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2001.....	23
17.	Peso de granos por mazorca de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2001.....	23
18.	Peso de la mazorca desgranada de maíz en tres niveles de N, El Zamorano, Honduras, 2001.....	23
19.	Numero de semillas por kilogramo de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2001.....	24
20.	Costos diferenciales de semilla en Lp.....	24
21.	Costos diferenciales de fertilizante en Lp.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Gráfico de temperaturas medias mínimas y máximas en los meses de agosto a noviembre del 2000. El Zamorano, Honduras.....	10
2.	Gráfico de humedad relativa de agosto a noviembre del 2000. El Zamorano, Honduras.....	11
3.	Precipitación en mm durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, Zamorano, Honduras, 2000.....	13
4.	Porcentaje de acame de raíz en maíz en tres niveles de N.....	18

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Resultados de la muestra del análisis de suelo antes de la siembra de maíz, Zamorano, Honduras, 2001.....	30
2.	Ingresos, costos y retornos por hectárea en Lp.....	31
3.	Desempeño de los costos diferenciales y comunes para los diferentes tratamientos con un precio de venta de Lp 120/qq.....	32
4.	Desempeño de los costos diferenciales y comunes para los diferentes tratamientos con un precio de venta de Lp 160/qq.....	33

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es una de las plantas cultivadas más antiguas, es originaria de América y cuando Cristóbal Colón llegó era la principal planta alimenticia de los indígenas.

Según las estadísticas de la FAO, la producción y las características de difusión del cultivo del maíz indican que se usa en casi todos los países, generalmente para tres fines: alimento humano básico, forraje para el ganado y como materia prima para la fabricación de muchos productos industriales. A nivel mundial, de la producción de cereales en 1998, el maíz ocupó el 73% del área cosechada.

Hasta 1930 los rendimientos en Estados Unidos y otros países se suponen eran similares a los que obtenían los aborígenes precolombinos. Desde ese entonces se ha producido un aumento en la producción con el desarrollo y el uso de maíz híbrido, con el que se pasó de 1,3 t/ha en 1930 a 7,5 t/ha en 1980, además de los aumentos en las densidades de población y el incremento en los niveles de fertilización, con lo cual se logra una mayor productividad.

A nivel de Honduras, el maíz es el componente de mayor importancia en la dieta básica de los hondureños; la población lo consume diariamente como fuente de energía y de otros nutrientes (PRIAG, 1999). Por esto, aumentar los rendimientos toma gran importancia hoy en día para abastecer la población, la que está en constante crecimiento.

Es bien sabido que para el mejoramiento de cualquier cultivo y para el aumento de su productividad, es necesario un entendimiento tanto de las características fisiológicas como de su desarrollo. Por estas razones deben conocerse las cantidades adecuadas de los insumos ya sea de semilla por hectárea, cantidades adecuadas de fertilizantes y los cultivares adecuados bajo las condiciones de clima, suelo y manejo que existen en los diferentes ambientes y que influyen en el comportamiento de la planta.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Definir las mejores combinaciones de población y fertilización nitrogenada para maximizar productividad en dos materiales genéticos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos se encuentran:

- a) Conocer qué factor incide mayormente en el desarrollo y producción del maíz y sus interacciones.
- b) Definir para cada uno de los materiales genéticos la mejor combinación de población y nivel de nitrógeno.
- c) Contrastar productividad de estos materiales y su relación particular con las variables estudiadas.

d) Explorar un rango de dosis de nitrógeno, que indique niveles de respuesta apropiadas para este estudio.

1.3 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Uno de los factores que limitó este estudio fue el suelo donde se llevó a cabo, debido a que el experimento se llevó a cabo en un suelo de muy malas características físicas. La pendiente del terreno afectó el drenaje de las aguas lluvias, produciéndose en la parte central del terreno una acumulación excesiva de agua. También afectó la textura, en general es franca pero en el terreno fue muy variable desde franca-arenosa hasta franca-arcillosa.

Otra limitante fue la ubicación del experimento en tiempo y espacio. Se sembró cuando ya estaba bien avanzada la temporada de lluvias, porque Zamorano produce semilla mejorada de maíz y se necesitó dejar un tiempo para que el experimento no fuese una fuente de contaminación de polen a la semilla. El terreno disponible se caracterizó por su variabilidad en fertilidad, drenaje y textura.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL MAÍZ EN LA NUTRICIÓN

Maíz, palabra de origen caribeño, significa literalmente “lo que sustenta la vida”. El maíz junto con el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se produce almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y hasta hace varios años, combustible. La planta tierna, empleada como forraje, se ha utilizado con gran éxito en las industrias lácteas y cárnicas y tras la recolección del grano, las hojas secas y la parte superior, incluidas las flores, aún se utilizan hoy en día como forraje de calidad relativamente buena para alimentar a los rumiantes de muchos pequeños agricultores de los países en desarrollo (FAO, 1993).

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente alta en los países en desarrollo, no se le puede considerar una fuente de energía, sino que además suministran cantidades importantes de proteínas (Jugenheimer, 1990).

2.2 IMPORTANCIA DEL MAÍZ A NIVEL MUNDIAL

El maíz es el principal cultivo agrícola en muchos países. Junto con el arroz y el trigo proporcionan el 65 % de los carbohidratos y el 50 % de las proteínas que necesita el hombre (FAO, 1993).

Estados Unidos produce aproximadamente el 44 % del volumen global; sin embargo, el cultivo del maíz es importante mundialmente. Por lo general, este cultivo se siembra en más de 100 millones de hectáreas cada año, con una producción aproximada de 250 millones de toneladas métricas (Jugenheimer, 1990).

Leonard (1991) resumió tres factores por los cuales el maíz es de importancia mundial:

- 1.- Fácil adaptación a muchas variaciones de temperaturas, suelos y niveles de humedad. Además resistente a muchas plagas.
- 2.- Tiene un alto potencial de rendimiento.
- 3.- Se utiliza en la alimentación humana y animal.

En base a materia seca, el grano contiene aproximadamente 77 % de almidón, 2% de azúcar, 9% de proteína, 5% de aceite, 5% de pentosas y 2% de cenizas (contiene sales de calcio, magnesio y cloro) (FAO, 1993).

2.3 IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN HONDURAS

El maíz representa en Honduras el cereal de mayor importancia y área cultivada. En 1997 se sembraron 350,000 hectáreas, lo que representa el 84% del área destinada a la producción de cereales en el país. Para ese mismo año la producción fue de 610,8 toneladas y un rendimiento promedio de 1,742 kg/ha (FAO, 2000)

De la producción total en Honduras, el campesino típico destina para autoconsumo el 27% de la cosecha, fraccionado en consumo humano (elaboración de tortillas principalmente), para la alimentación animal (ganado, cerdos y aves de corral) y una proporción muy baja para semilla del siguiente año. El 73% restante es utilizado para la venta en el mercado local y puede destinarse a la elaboración de concentrados para animales, alimentos industriales o bien como grano básico para consumo humano (Sanabria, 1991).

Además se debe mencionar que parte de la producción en Honduras es utilizada para consumo fresco en elote o para consumo en planta en forma de ensilaje para la alimentación del ganado (Tapia, y García 1993).

Del área total que se siembra con maíz en Honduras, sólo el 20% se siembra con semilla híbrida. En el área restante (80%) se siembran una mezcla de variedades criollas y otros materiales locales de polinización libre (Sanabria, 1991).

2.4 CARACTERÍSTICAS Y MEJORAMIENTO DE LOS CULTIVARES DE MAÍZ

A través del tiempo se ha ido mejorando el maíz, es así que en 1930 los rendimientos eran similares a los obtenidos por los aborígenes precolombinos, pero a partir de ese año los incrementos en rendimiento han sido espectaculares principalmente gracias a la creación y utilización del maíz híbrido.

Según Jugenheimer (1990) este incremento en los rendimientos del maíz se debe al mejoramiento sistemático del cultivo controlando la ascendencia de la semilla. El fitomejorador distingue las diferencias importantes del material vegetal disponible y selecciona e incrementa los tipos más deseables. Este mejoramiento se ha llevado a cabo mediante cinco métodos o categorías principales:

- a.- Selección masal.
- b.- Selección por surcos.
- c.- Hibridación varietal.
- d.- Variedades sintéticas o compuestas.
- e.- Híbridos de líneas puras.

2.4.1 Variedades de polinización abierta

Se denomina variedad de polinización abierta al conjunto de plantas o semillas que tiene características en común y que las diferencia de otras variedades. Su principal característica es su alta heterosigocidad y su alta variabilidad genética. En el campo hay una combinación libre de los genes por la polinización cruzada entre las plantas (Rosas, 2001).

El mejoramiento de estas variedades se realiza por selección masal o por selección por surcos principalmente seleccionando mazorcas deseables de las mejores plantas y sembrando en conjunto la semilla seleccionada (Jugenheimer, 1990).

A partir de éstas, se desarrollan las líneas puras que reúnen un conjunto de características que el fitomejorador desea.

2.4.2 Híbridos

Los híbridos de maíz actuales se desarrollan a partir de una cruce de líneas puras reproducidas por autofecundación o endocría, las cuales tienen un mayor potencial de rendimiento que las variedades de polinización abierta por el vigor híbrido o heterosis que se manifiesta en la descendencia de la cruce. Los híbridos se crean por diferentes tipos de cruces entre las cuales se mencionan: cruce simple ($A*B$), cruce doble ($(A*B)*(C*D)$), cruce triple ($(A*B)*C$) (Rosas, 2001).

2.4.3 Variedades sintéticas

Son más apropiadas para condiciones de producción donde existe un amplio rango de ambientes y sistemas que afectan la estabilidad del rendimiento de las variedades híbridas, o donde existen sistemas donde los productores mantienen su propio abastecimiento de semilla por el alto costo de la semilla híbrida (Rosas, 2001).

La variedad sintética según Rosas (2001) es producida mediante el cruzamiento de genotipos seleccionados por su buena habilidad combinatoria en todas las combinaciones híbridas posibles y su mantenimiento posterior mediante la polinización abierta.

A partir de la década de los ochenta, la evaluación experimental del maíz híbrido con relación a las variedades de polinización libre, ha recibido una mayor atención por los fitomejoradores del área centroamericana, en la búsqueda continua de alternativas para aumentar la producción de maíz, particularmente en ambientes favorables (Córdova, 1991). La investigación ha llevado a desarrollar híbridos mucho más productivos debido a la homogeneidad en la población. Al contrario sucede con las variedades de polinización libre, debido a que hay una gran variabilidad genética en la población, reflejado en el rendimiento.

2.5 NUTRICIÓN DEL MAÍZ

El crecimiento y desarrollo de las plantas está determinado por numerosos factores del suelo y el clima y por factores inherentes a las plantas mismas. Algunos de estos factores están bajo el control del hombre, pero la mayoría de ellos no pueden ser controlados. Entre los no controlables se encuentra el aire, la luz y la temperatura; entre los controlables y más importantes está la fertilización (Domínguez, 1997).

Durante las primeras etapas de la planta, la cantidad de nutrientes que toma es pequeña, pero es muy importante que cuente con la cantidad apropiada, para que su futuro desarrollo no se limite (Tapia y García 1993).

Según Moyle (1987), el nitrógeno (N) es uno de los elementos utilizados en mayor cantidad por las plantas. Es tomado principalmente del suelo y es necesitado en grandes cantidades; aunque lo anterior varía de lugar a lugar, de estación a estación y entre sistemas de cultivo y manejo. Su concentración en el suelo varía considerablemente; ya que varios factores determinan su disponibilidad para las plantas y además, se pierde por lixiviación hasta un 40-50% o más del aplicado. (Domínguez, 1997).

Según diversos autores que han realizado estudios desde principios de siglo, la aplicación del N fraccionado ha dado los mejores resultados, debido a la variación en su absorción por las plantas en base a los requerimientos en los diferentes estados de su desarrollo. Estas etapas en maíz son: La primera, de emergencia a un mes antes de la aparición de los estigmas, la segunda se presenta durante el mes de aparición de los estigmas y la tercera etapa llega hasta la madurez fisiológica. Esto indica que el N debe ser aplicado al momento de la siembra, el remanente debe ser aplicado en dos a más aplicaciones complementarias.

2.6 EL N, SUS CARACTERÍSTICAS Y SU FUNCIÓN EN LA PLANTA

La fotosíntesis es el más importante de los procesos fisiológicos que gobiernan la vida de las plantas: el N forma parte indispensable de la molécula de clorofila, donde tienen lugar importantes reacciones fotosintéticas, por lo tanto es vital este elemento como nutriente vegetal (Océano, 2000).

El N es un elemento esencial y bastante móvil, en su dinámica se presentan fenómenos de mineralización, fijación, lixiviación y volatilización. Del suelo es absorbido por las plantas como ión nitrato (NO_3^-) y como ión amonio (NH_4^+), solo entre valores de pH 3.8 y 5.7 (Moyle, 1987). Estas formas en el suelo no son muy persistentes en el suelo, por lo que fácilmente se pierden en él. El ión nitrato se lava con facilidad a través del perfil, porque es muy soluble en agua y no queda retenido por el complejo adsorbente (humus + arcilla) del suelo. El ión amonio, aunque se adsorbe, puede transformarse en ión nitrato por la acción de los microorganismos y perderse por lixiviación (Océano, 2000).

El N es un componente esencial de todo el contenido celular, de los aminoácidos y las proteínas, siendo indispensable para los procesos de reproducción, crecimiento y respiración celular, así como para el desarrollo de órganos vegetales. Es requerido para un crecimiento vigoroso de las plantas, especialmente durante las primeras etapas del desarrollo, estimula y prolonga el crecimiento de la parte superior contribuyendo a la formación de follaje más succulento (Moyle, 1987).

El grado de concentración del N en la planta afecta el desarrollo de éstas. Una deficiencia afecta la síntesis o renovación de enzimas, aminoácidos y nucleoproteínas y como resultado, las proteínas celulares de las hojas inferiores de la planta se ponen en movimiento ascendente hacia las hojas superiores o nuevas, causándose un amarillamiento y caducidad de las mismas. El exceso de nitrógeno causa acame, pues los tallos pierden solidez al no lignificarse lo suficiente (Domínguez, 1997).

La eficiencia de utilización del N es muy baja (aproximadamente 20%) debido a que es un elemento muy móvil en el suelo y se producen pérdidas principalmente por lixiviación y volatilización.

Con relación a los demás nutrientes, el N ocupa un lugar muy especial para la planta por las siguientes razones:

- 1.- Se requiere en altas cantidades.
- 2.- Se halla casi por completo ausente del material original de los suelos.
- 3.- Su presencia en ellos se debe fundamentalmente a la actividad biológica de los microorganismos del suelo; otras fuentes suministradoras de nitrógeno son la fertilización natural (por efecto de las descargas eléctricas) y la fertilización artificial agrícola (fertilización orgánica y mineral).
- 4.- Su disponibilidad limita más que la de ningún otro elemento la productividad vegetal (Leonard, 1991).

La aplicación del nitrógeno se realiza según el producto en que esté contenido este elemento. La fertilización convencional está dirigida al suelo y se aplica en pequeñas superficies de forma manual o en grandes superficies mecánicamente, con las abonadoras. La fertilización puede ser localizada, es decir que sitúe el fertilizante en la proximidad de las raíces, o no localizada, cuando el fertilizante se esparce por toda el área del cultivo. También se puede aplicar en forma foliar en pequeñas cantidades y en el agua de riego (Océano, 2000).

2.6.1 Criterios para la elección del fertilizante nitrogenado

El mercado hoy en día ofrece una amplia gama de fertilizantes, ante la que no es siempre fácil elegir. Hay que tener en cuenta que el producto esté comercializado en la zona, que se adapte al tipo de fertilización que emplearemos, que el elemento esté contenido en la proporción en que se necesite, que no dañe el suelo (acidificándolo), y la más importante: que sea lo más económico posible. En base a esto, existen diversas fertilizantes que contienen nitrógeno en distintas cantidades, en forma única o con otros elementos, por eso el productor es quien decide qué fertilizante utilizará según sus necesidades (Finck, 1985).

2.7 DENSIDAD DE SIEMBRA

“Todo país que pretenda aumentar el rendimiento de los cultivos alimenticios o económicos, debe tratar de ante todo incrementar el consumo de fertilizantes”. Sin embargo, el grado de empleo de sustancias nutritivas para las plantas, es un factor limitante, por lo que debe de combinarse con otros factores tecnológicos para integrarse como un elemento esencial en la elevación del nivel de producción agrícola (Moyle, 1987).

La adaptación a variaciones en la densidad ha sido una de las causas del aumento en rendimiento de los cultivares de maíz modernos (Pandey y Gardner, 1992).

La evaluación de densidades de cultivares locales ha sido un tema común en la investigación local y regional. Por ejemplo, en la zona templada maicera de Estados Unidos se está trabajando con híbridos a densidades óptimas de siembra que excede 80.000 pl/ha, mientras que los cultivares de maíz tropicales tienen densidades por debajo de las 50.000 pl/ha (PCCMCA, 1991).

Diferentes autores mencionan que los incrementos en los rendimientos del maíz en el mundo han sido posibles por el aumento de la densidad de siembra, niveles de fertilización y mejores híbridos, pero que la aplicación de fertilizantes contribuye más al incremento en la producción, que el uso de agua y semillas mejoradas.

En Guatemala, el PRM en 1992, en base a resultados de muchos ensayos efectuados, determinaron que el aumento de la población en el cultivo del maíz, produjo un rendimiento medio de 5760 kg/ha de grano que fue 57 % más alto que el obtenido con fertilización solamente.

El cultivo del maíz, es por excelencia uno de los que ha brindado más información, debido a su importancia en la alimentación e industria de muchos países y también, por sus grandes requerimientos de nutrientes, se considera un excelente indicador del estado nutritivo del suelo. Por esto es muy importante adaptar la población de maíz a la capacidad productiva del suelo (Gamboa *et al.*, 1992).

El establecimiento de la población óptima requiere el estudio aislado de los componentes de la densidad, distancias entre hileras, distancias entre plantas dentro de la hilera y el número de plantas por postura (Totio-Kagho y Gardner, 1989).

2.8 REQUERIMIENTOS DE N DE ACUERDO A POBLACIÓN

El combinar el uso de fertilizantes con las densidades de población en el cultivo del maíz, ha sido objeto de estudio en muchos lugares del mundo. Los resultados obtenidos han permitido establecer un grado de absorción de nutrientes de este cultivo con el que se consigue generalmente, aumentar el rendimiento por unidad de área, hasta un grado óptimo (Gamboa *et al.*, 1992).

Normalmente la respuesta a densidad de cultivares se ha evaluado estableciendo cuatro a cinco niveles de densidad, con varias repeticiones y en combinaciones factoriales con otro factor (típicamente niveles de N, potencial ambiental, estrés hídrico, etc) (PRM, 1992).

Según FAO (1993), los rendimientos de grano de maíz en los trópicos van de 3.0 a 7.0 toneladas por hectárea, con aplicaciones óptimas de N entre 67 a 132 kg de nitrógeno por hectárea.

En México, con una densidad de 50,000 pl/ha y aplicaciones de N y fósforo (P) en promedio de 27 ensayos se obtuvieron rendimientos con aumentos de 3672 kg de grano por hectárea. La respuesta al N sólo fue significativa en 17 ensayos, dando un promedio recomendado de 132 kg/ha de nitrógeno. En las zonas donde los requerimientos fueron menores, se recomendaron densidades de 46,000 pl/ha con niveles de N y P de 117 y 73 kg/ha respectivamente (PCCMCA, 1991).

En Nicaragua el Programa de Mejoramiento de Maíz y Sorgo, realizó estudios que incluyeron la densidad y la fertilización. Las poblaciones variaron desde 52,500 a 69,500 plantas por hectárea. Se usaron niveles de fósforo y potasio de 64.5 y 38.6 kg/ha respectivamente (Tapia y García, 1993). Los valores se consignan en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Rendimientos obtenidos con diferentes poblaciones y varios niveles de nitrógeno. Programa de Mejoramiento de Maíz y Sorgo, Nicaragua, 1990.

Población Por hectárea	Nivel de N en kg/ha		
	0	32.2	48.3
52,500	4,897	6,147	5,425
61,000	4,478	5,300	5,717
69,500	4,195	6,599	5,939

La práctica de fertilizar el maíz, ha sido respaldada por estudios económicos en las zonas donde se ha investigado para asegurarse que su uso siempre tenga como resultado provocar un ingreso a las actividades de los agricultores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el terreno denominado Zavala II de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos de Zamorano, ubicado en el valle del Río Yeguaré a 32 km al sureste de Tegucigalpa, Departamento Francisco Morazán, Honduras, a 14° latitud norte y 87° con dos minutos longitud oeste.

El sitio experimental se encuentra a una altitud aproximada de 800 msnm, con una temperatura media anual de 22° C y con una precipitación media anual de 1,100 milímetros por año distribuidos generalmente en seis meses (junio a noviembre).

A continuación se presentan las figuras 1 y 2 donde se observan las temperaturas máximas, mínimas y las humedades relativas en el tiempo en que el cultivo permaneció en el campo.

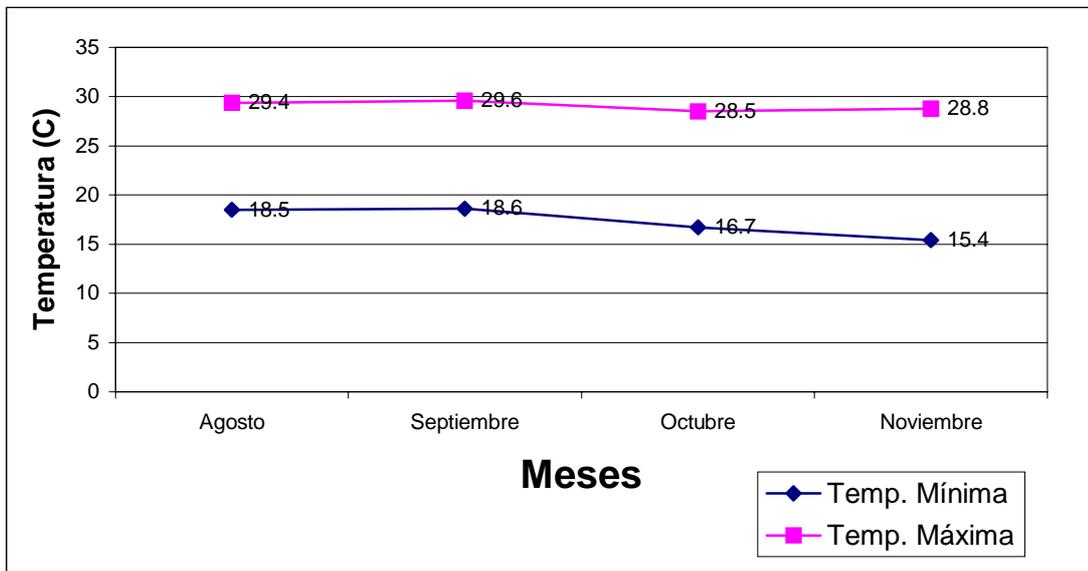


Figura 1. Gráfico de temperaturas medias mínimas y máximas en los meses de agosto a noviembre del 2000. El Zamorano, Honduras.

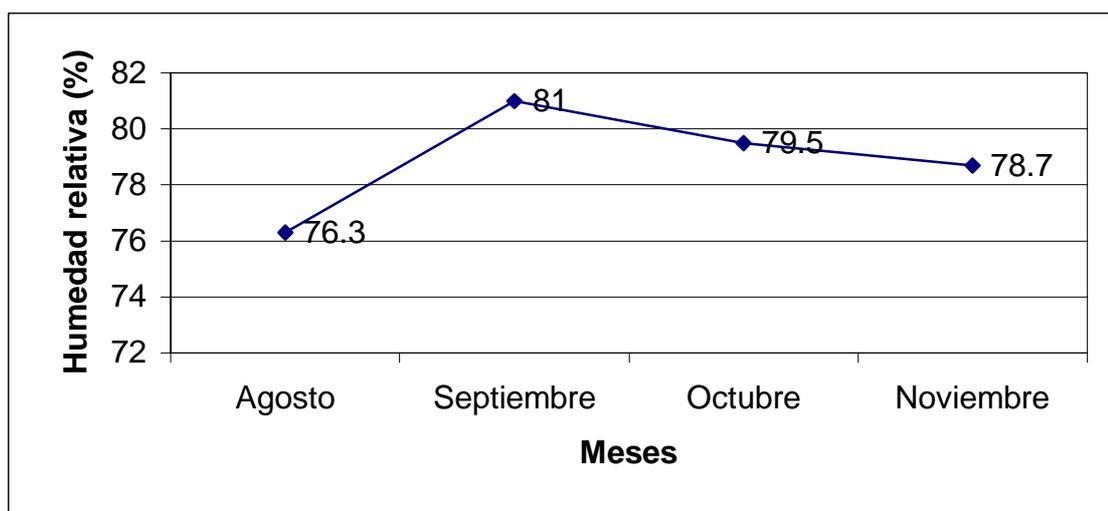


Figura 2. Gráfico de humedad relativa de agosto a noviembre del 2000. El Zamorano, Honduras.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El análisis de suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria de Zamorano (Anexo 1).

Del análisis de suelo se observa, que se tiene una textura franca con un contenido de N bajo (0.06 %) y un contenido de P bajo (11 ppm). El contenido de materia orgánica es de 1.33 % considerado bajo, el K es del orden de 129 ppm considerado medio y el pH determinado es fuertemente ácido (5.12).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un arreglo factorial 2*5*3 (30 tratamientos) en un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro repeticiones.

La unidad experimental consistió de cuatro surcos espaciados a 0.75 m con una longitud de 6.0 m. Las densidades se lograron alterando la distancia entre plantas como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distancias de siembra entre plantas de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Población (pl/ha)	Distancia entre plantas (cm)
60,000	22.2
70,000	19.0
80,000	16.6
90,000	14.8
100,000	13.3

El área útil fueron los dos surcos centrales.

3.3.1 Tratamientos

Se estudiaron los siguientes factores con variables como sigue.

Cultivares: - Guayape: variedad de polinización libre.

- C-343: híbrido triple de Cargill.

Densidades: 60,000, 70,000, 80,000, 90,000 y 100,000 pl/ha.

Niveles de nitrógeno: 100, 200 y 300 kg N/ha.

El análisis de los datos se realizó con el programa “Statistic Analysis System” (SAS)[®]. Se efectuó una separación de medias y análisis de varianza (ANDEVA) para cada parámetro evaluado. También se hizo un análisis económico.

3.4 MANEJO DEL ENSAYO

3.4.1 Preparación de suelo

El área experimental se le dio un pase de arado y dos de rastra, las hileras se marcaron con una cultivadora Lilliston a 0,75 m entre ellas. La siembra se realizó manualmente el 27 de julio del 2000. Se utilizó semilla certificada de maíz Guayape y C-343.

3.4.2 Siembra

Se sembró a dos semillas por postura, raleándose a una por postura a los cinco días después de la germinación. La semilla germinó 7 días después de la siembra.

3.4.3 Fertilización

Se fertilizó en banda cuando la planta tenía cuatro hojas con 18-46-0 (100 kg de P₂O₅) aplicando el 50% del nitrógeno y el 100% del fósforo. El resto del nitrógeno se aplicó a los 25 días después de la germinación en banda cubriendo el fertilizante manualmente. Se utilizó urea como fuente de nitrógeno.

3.4.4 Riegos

No fue necesario aplicar riego debido a que el experimento se llevó a cabo en la época lluviosa y el cultivo todo el tiempo tuvo la humedad adecuada para el crecimiento.

En la siguiente figura se aprecia la cantidad de lluvia en mm que el cultivo recibió desde la siembra a la cosecha.

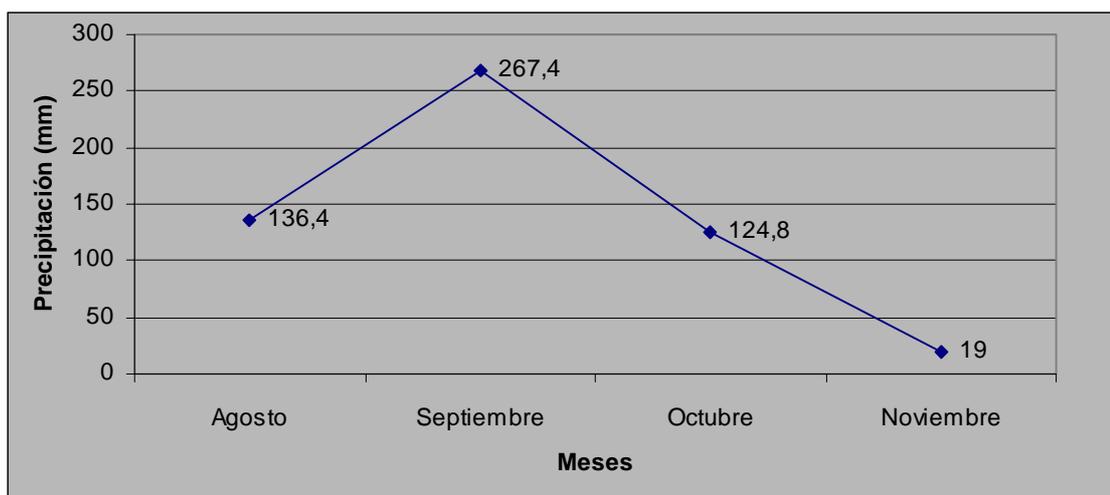


Figura 3. Precipitación en mm durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, Zamorano, Honduras, 2000.

3.4.5 Control de malezas

El control de malezas comenzó con la preparación del terreno, después de la siembra se realizaron dos controles de malezas con azadón, la primera a los 35 días de la germinación y la segunda 50 días de ésta.

3.4.6 Control de plagas y enfermedades

El cultivo no requirió de ningún tipo de control para plagas y enfermedades ya que no fue atacado seriamente, hubo algunos focos de cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) en la etapa temprana de crecimiento, pero la lluvia sirvió de control de la larva, no siendo necesario la aplicación de insecticida.

3.4.7 Cosecha

La cosecha se realizó manualmente. Esta se realizó cuando el grano se encontró a una humedad aproximada de 15%. Luego se desgranó cada tratamiento manualmente y se procedió a tomar los parámetros de rendimiento.

3.5 VARIABLES MEDIDAS

3.5.1 Fenológicas

- Días a floración femenina y masculina.
- Altura de la planta.
- Altura de la mazorca.
- Acame de raíz y de tallo.

3.5.2 Rendimiento en kg/ha y sus componentes

- Número de mazorcas por planta.
- Peso de mazorca.
- Peso de mazorca desgranada.
- Número de semillas por kilogramo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1.1 Variables fenológicas

Los resultados generales se muestran en el Cuadro 3.

4.1.1.1 Días a floración masculina. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los factores estudiados para esta característica. Posiblemente los factores ambientales y de manejo no afectaron ya que esta variable es más bien controlada por el genotipo y tanto la densidad como los niveles de N no la influenciaron en este ensayo.

Se notaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en altura de planta y altura de mazorca entre bloques, lo que sugiere que el bloqueo pudo aislar las diferencias en el terreno (Cuadro 4).

Básicamente estas diferencias se deben al gradiente de humedad y variedades de textura existentes dentro del terreno.

El ensayo mostró coeficientes de variación bajos, lo que nos indica que el estudio fue llevado de una buena forma y los datos son bastante confiables (R^2 bastante cercana a 1 = ajuste del modelo a los resultados, la diferencia es debida a factores ambientales).

Cuadro 3. Efectos de los tratamientos sobre la fenología del maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Densidad (pl/ha)	Nivel de N (kg/ha)	Días a floración masculina	Días a floración femenina	Altura planta (m)	Altura de mazorca (m)
Guayape	60,000	100	60	68	1.98	0.92
		200	62	68	1.65	0.86
		300	58	63	1.96	0.92
	70,000	100	59	66	1.78	0.89
		200	59	66	1.85	0.84
		300	58	63	1.96	1.01
	80,000	100	59	66	1.92	0.93
		200	61	68	1.61	0.71
		300	61	69	1.61	0.63
	90,000	100	61	67	1.75	0.81
		200	59	65	1.71	0.75
		300	59	66	1.75	0.91
	100,000	100	62	68	1.58	0.68
		200	59	65	1.88	0.83
		300	60	66	1.92	0.93
C-343	60,000	100	60	65	1.51	0.69
		200	59	65	1.71	0.91
		300	59	64	1.63	0.73
	70,000	100	61	65	1.58	0.82
		200	59	66	1.45	0.70
		300	57	63	1.33	0.58
	80,000	100	60	64	1.55	0.72
		200	58	66	1.63	0.83
		300	60	66	1.52	0.73
	90,000	100	59	64	1.53	0.74
		200	58	63	1.81	0.91
		300	59	64	1.62	0.77
	100,000	100	59	63	1.51	0.76
		200	57	63	1.66	0.81
		300	60	64	1.61	0.78

Cuadro 4. Niveles de significancia (Prueba F) para las variables fenológicas con coeficientes de variación y determinación.

Fuentes de variación	DFM	DFF	AP	AM
Bloque	(0.3689)	(0.1683)	0.0141	0.0289
Cultivar (V)	(0.1118)	0.0207	0.0001	0.0446
Densidad (D)	(0.3191)	(0.2286)	(0.7620)	(0.7294)
Nivel de N (N)	(0.1851)	(0.1962)	(0.8887)	(0.9059)
V * D	(0.8214)	(0.7992)	(0.4061)	(0.4680)
V * N	(0.5655)	(0.6057)	(0.2400)	(0.1162)
D * N	(0.2126)	(0.1563)	(0.6548)	(0.7239)
V * D * N	(0.3729)	(0.5497)	(0.5607)	(0.4911)
CV %	9.75	9.76	17.54	26.09
R ²	0.77	0.70	0.63	0.65
Pr > F	0.0030	0.0187	0.0082	0.0035

Nota: Los valores que aparecen entre paréntesis no son significativos (P<0.05).

DFM= Días a floración masculina, DFF= días a floración femenina, AP= altura de la planta, AM= altura de la mazorca.

Con los valores significativos se realizó prueba SNK para ver diferencias estadísticas.

4.1.1.2 Días a floración femenina. El cultivar afectó significativamente esta variable (Cuadro 5), los demás factores no tuvieron efecto significativo (P<0.05).

Cuadro 5. Días a floración de flor femenina de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Días a floración
Guayape	66.0 a*
C-343	63.0 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Esta diferencia probablemente se debe a la genética distinta de los cultivares. En la variable anterior no se encontró diferencia estadísticamente significativa, pero en ésta sí y podría tener una influencia en el rendimiento ya que como Guayape florece tres días después que C-343, podría haber una disminución en la viabilidad del polen por falta aparente de sincronismo entre los sexos (60 vs 66 días).

4.1.1.3 Altura de la planta. La altura de la planta se vio afectada sólo por el cultivar, siendo mayor en Guayape (P<0.05) (Cuadro 6). No hubo efectos significativos (P<0.05), para las densidades ni para los niveles de N.

Cuadro 6. Altura de la planta de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Altura de la planta (m)
Guayape	1.8 a*
C-343	1.6 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Esta diferencia probablemente se debe a que por el hecho de ser dos cultivares distintos, su genética es diferente y están desarrollados de tal manera que esta característica fue desarrollada de tal manera para que puedan expresar su máximo potencial productivo.

4.1.1.4 Altura de la mazorca. Se encontró diferencia significativa para el factor cultivar (Cuadro 7) con un valor $P < 0.05$. En cuanto a densidad de población y niveles de N no se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 7. Altura de la mazorca de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Altura de la mazorca (m)
Guayape	0.84 a*
C-343	0.76 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Se puede observar que la altura de la mazorca tiene relación directa con la altura de la planta y es probablemente lo que afecta esta variable es decir a mayor altura de la planta mayor altura de la mazorca, todo debido a caracteres genéticos.

4.1.1.5 Acame de raíz y acame de tallo. No se encontraron diferencias significativas entre cultivares ($P < 0.05$), la densidad no afectó esta variable pero sí lo hizo el nivel de N (Figura 1), donde si se encontró una diferencia altamente significativa a 300 kg/ha donde el acame de raíz fue muy superior a los otros dos niveles estudiados. Esto probablemente se debe a la mayor altura de la planta, más área foliar, comparado con el área radicular y también a la menor lignificación del tallo. No se presentó acame de tallo en los tratamientos.

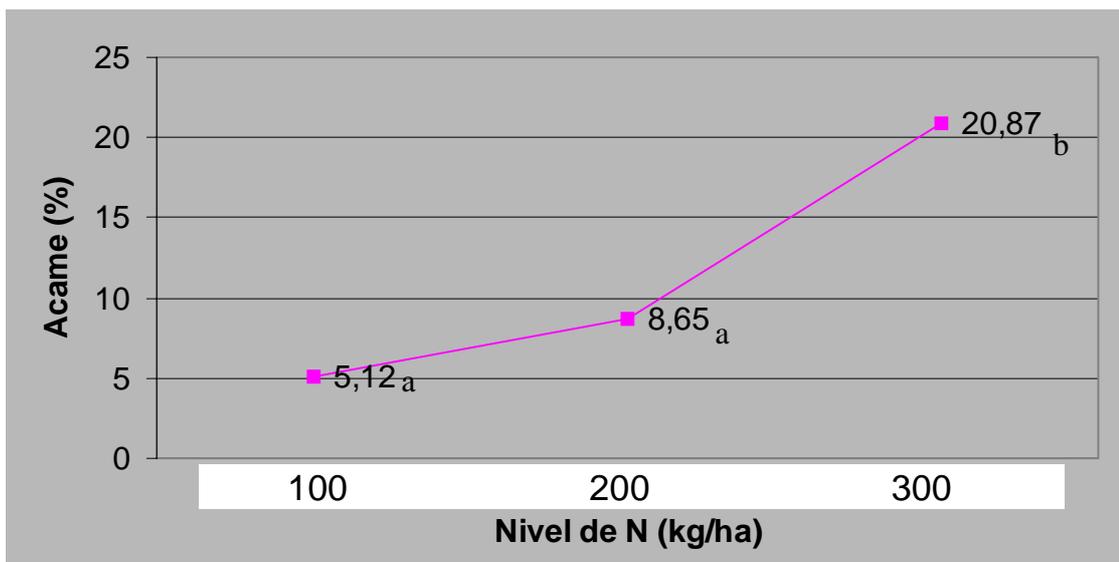


Figura 4. Porcentaje de acame de raíz en maíz en tres niveles de N.

4.1.2 Rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 8 se muestran los efectos de los tratamientos sobre los rendimientos y sus componentes.

Cuadro 8. Efecto de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento y rendimiento de dos materiales genéticos de maíz. El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Densidad (pl/ha)	Nivel de N (kg)	Rendimiento (kg/ha)	Número de mazorcas por planta	Peso mazorca (g)	Peso de granos (g)	Número semillas/kg
Guayape	60.000	100	2,304	0.55	76	59	4,885
		200	1,816	0.54	70	53	5,960
		300	2,998	0.61	94	74	5,200
	70.000	100	1,563	0.47	57	43	5,365
		200	1,878	0.57	58	45	5,620
		300	2,954	0.66	78	60	5,350
	80.000	100	2,050	0.60	54	41	5,525
		200	929	0.39	42	28	6,320
		300	1,448	0.45	43	31	6,425
	90.000	100	1,338	0.41	41	31	6,055
		200	1,421	0.37	37	36	5,825
		300	2,020	0.39	65	49	5,735
100.000	100	634	0.29	29	21	5,840	
	200	1,923	0.45	53	42	6,075	
	300	2,471	0.54	57	44	6,030	
C-343	60.000	100	1,522	0.56	56	44	5,840
		200	3,391	0.85	81	65	5,625
		300	3,497	0.82	82	65	5,905
	70.000	100	3,339	0.71	73	54	5,215
		200	1,233	0.46	49	38	6,640
		300	2,344	0.51	60	47	4,130
	80.000	100	2,028	0.59	52	40	5,980
		200	2,901	0.67	76	51	5,805
		300	2,974	0.68	66	51	5,915
	90.000	100	1,650	0.58	44	33	5,715
		200	3,888	0.75	74	57	5,860
		300	3,272	0.76	66	49	6,415
100.000	100	1,790	0.44	51	38	5,516	
	200	3,553	0.72	63	49	5,730	
	300	4,395	0.71	70	54	5,980	

Los cultivares tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento, también influyeron significativamente sobre el número de mazorcas por planta y el peso de la mazorca (Cuadro 9). Esto se debe a las características propias de cada cultivar, con lo que queda demostrado en este experimento que el híbrido es más productivo que la variedad de polinización abierta.

Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en rendimiento, peso de mazorca, peso de mazorca desgranada y número de semillas por kilogramo entre bloques, lo que sugiere que el bloqueo pudo aislar las diferencias en el terreno (Cuadro 9). Básicamente estas diferencias se debieron a los gradientes de humedad y variabilidad de fertilidad y textura existentes en el terreno.

Cuadro 9. Niveles de significancia (Prueba F) de los componentes de rendimiento y rendimiento con coeficiente de variación y determinación.

Fuentes de variación	Rendimiento	Número de mazorcas por planta	Peso Mazorca	Peso granos (g)	Número semillas/kg
Bloque	0.0219	(0.5574)	0.0253	0.0434	0.0029
Variedad	0.0005	0.0001	(0.0931)	(0.1440)	(0.9463)
Densidad	(0.6485)	(0.1133)	0.0050	0.0041	0.0380
Nivel de N	0.0075	0.0637	0.0192	0.0230	(0.2245)
V * D	(0.5257)	(0.1145)	(0.0563)	(0.6113)	(0.8459)
V * N	(0.3868)	(0.4020)	(0.4081)	(0.5577)	(0.6587)
D * N	(0.3814)	(0.4271)	(0.7096)	(0.7181)	(0.2690)
V * D * N	(0.2729)	(0.0881)	(0.5108)	(0.6795)	(0.1824)
CV %	37.43	31.75	11.69	39.14	15.04
R ²	0.68	0.74	0.68	0.73	0.74
Pr > F	0.0151	0.0008	0.0341	0.0694	0.0542

Nota: Los valores que aparecen entre paréntesis no son significativos ($P < 0.05$).

Para los valores significativos se realizó prueba SNK para ver diferencias estadísticas.

Los valores de R² son superiores a 0.68, lo que muestra que el modelo se ajusta bastante bien a los resultados. Con estos valores los resultados son muy confiables.

4.1.2.1 Rendimiento. Los cultivares tuvieron efecto sobre el rendimiento al igual que el nivel de N ($P < 0.05$). Los resultados se aprecian en los Cuadros 10 y 11.

Cuadro 10. Rendimiento de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Rendimiento (kg/ha)
C-343	2814 a*
Guayape	1850 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Estas diferencias muestran que el híbrido (C-343) es más productivo que la variedad de polinización abierta (Guayape), esto se debe seguramente a la genética distinta de los materiales y a las condiciones y exigencias a que se adaptan cada uno, a pesar de que los valores de rendimiento absoluto son bajos, debido a las limitantes del estudio antes mencionadas, sin embargo se mantiene una diferencia en los valores relativos.

La densidad de siembra no afectó significativamente el rendimiento y no hubo diferencias significativas entre ellas ($P < 0.05$).

Este efecto no significativo probablemente se debe a las condiciones en que se llevó a cabo el experimento, ya que no se tuvieron algunas condiciones controladas como el ambiente, especialmente las lluvias, lo que unido a las características de drenaje irregular de la parcela afectaron el crecimiento y desarrollo de las plantas no dejando expresar todo su potencial.

Normalmente el cultivo se siembra a densidades que varían de acuerdo a las características del cultivar y el hecho de aumentar la densidad no aumenta el rendimiento significativamente seguramente a que hay una mayor competencia entre las plantas por agua, nutrientes y luz solar.

En cuanto al nivel de N (Cuadro 11) se encontraron diferencias significativas entre los niveles. Se observa una respuesta positiva en el rendimiento directamente proporcional a la cantidad de N aplicado, esto se debe seguramente a la mayor disponibilidad de este nutriente para el crecimiento de la planta y así puede expresar un mayor potencial.

Cuadro 11. Rendimiento de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2000.

Nivel de N (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)
300	2878 a*
200	2293 ab
100	1823 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

4.1.2.2 Número de mazorcas por planta. El cultivar (Cuadro 12) junto con el nivel de N (Cuadro 13) afectaron significativamente esta variable (P<0.05).

El cultivar C-343 es significativamente más productivo que Guayape, esto se puede decir con una confianza de más de 95 % y probablemente esta diferencia se deba a que realmente tiene un mayor potencial de rendimiento, debido a que es genéticamente superior para esta característica, la cual no es tan afectada por los factores ambientales y de suelo.

Cuadro 12. Número de mazorcas por planta de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Número de mazorcas por planta
C-343	0.66 a*
Guayape	0.48 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

En el Cuadro 13 se aprecia el efecto del nivel de N en el número de mazorcas por planta, observándose una clara tendencia positiva entre mayor nivel de N una mayor cantidad de mazorcas. Se aprecian las diferencias altamente significativas entre los niveles de N con una P<0.05.

Cuadro 13. Número de mazorcas por planta de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2000.

Nivel de N (kg/ha)	Número de mazorcas por planta
300	0.62 a*
200	0.57 ab
100	0.52 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Esta tendencia probablemente se debe a la mayor cantidad de nutrientes disponibles para el crecimiento de la mazorca y está íntimamente ligado a la densidad en el campo.

4.1.2.3 Peso de mazorca. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares produciendo C-343 mazorcas más grandes que Guayape (P<0.05) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Peso de la mazorca de dos cultivares de maíz, El Zamorano, Honduras, 2000.

Cultivar	Peso de mazorca (g)
C-343	65 a*
Guayape	57 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

Esta diferencia se puede explicar debido a que el híbrido es genéticamente mejorado y tiene una mayor capacidad de producir mazorcas más grandes y pesadas en comparación con la variedad de polinización abierta.

La densidad (Cuadro 15) afectó el peso de la mazorca significativamente encontrándose diferencias estadísticamente diferentes con una confianza de más de 95%, con relación inversa, es decir a mayor población menor tamaño de mazorca y lo que probablemente se debe al mayor espacio que tienen las plantas a una menor densidad, por ende menor competencia, la diferencia se da sólo entre 60,000 pl/ha y el resto, sin que hayan diferencias entre ellas, a pesar de que numéricamente sean diferentes.

Cuadro 15. Peso de la mazorca de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2000.

Densidad (pl/ha)	Peso de mazorca (g)
60,000	79 a*
70,000	62 b
80,000	56 b
90,000	55 b
100,000	53 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

El nivel de N (Cuadro 16) también tuvo un efecto marcado y significativo (P<0.05), sobre el peso de la mazorca, encontrándose que a mayor cantidad de N mayor es el

peso de la mazorca, observándose una tendencia positiva, lo cual se debe a la mayor cantidad de nutriente disponible para el crecimiento tanto de la planta como de la mazorca.

Cuadro 16. Peso de la mazorca de maíz en tres niveles de nitrógeno, El Zamorano, Honduras, 2000.

Nivel de N (kg/ha)	Peso de mazorca (g)
300	70 a*
200	61 ab
100	53 b

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

4.1.2.4 Peso de granos por mazorca y porcentaje de desgrane. El efecto de la densidad (Cuadro 17) fue significativo (P<0.05), encontrándose a menor población, mayor peso de grano, lo cual tiene una relación directa con el peso de la mazorca . Lo mismo se puede decir con respecto al nivel de N (Cuadro 18), encontrándose una tendencia positiva del peso del grano por mazorca con respecto a un mayor nivel de N.

Cuadro 17. Peso de granos por mazorca de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2000.

Población pl/ha	Peso grano/mazorca (g)	% Desgrane
60,000	61 a	77 a
70,000	47 b	75 b
80,000	40 b	72 b
90,000	43 b	78 a
100,000	41 b	77 a

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

El porcentaje de desgrane es elevado, pero no hay una tendencia clara en las distintas densidades, con resultados erráticos, ya que el C.V. fue bastante elevado.

Cuadro 18. Peso de la mazorca desgranada de maíz en tres niveles de N, El Zamorano, Honduras, 2000.

Nivel de N (kg/ha)	Peso de mazorca desgranada (g)	% Desgrane
300	53 a	75 a
200	46 ab	75 a
100	40 b	75 a

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes (P<0.05).

4.1.2.5 Número de semillas por kilogramo. No se encontraron diferencias estadísticas entre los dos cultivares, aunque sí se presentaron diferencias en la densidad (Cuadro 19), encontrándose que a menores densidades se encuentran menor número de granos lo que implica granos más grandes.

Cuadro 19. Número de semillas por kilogramo de maíz en cinco densidades, El Zamorano, Honduras, 2000.

Densidad (pl/ha)	Número de granos por kilogramo
60,000	5,515 b*
70,000	5,372 b
80,000	5,995 a
90,000	5,949 a
100,000	5,932 a

* = Medias seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

4.2 ANÁLISIS MARGINAL

Para el análisis económico se consideró un precio de venta de 120 Lempiras (1 US\$ = 15.28 Lp.) el quintal de maíz grano, debido a que es el precio que se maneja en Zamorano y en los alrededores, además, éste es el precio más probable y lo más cercano a la realidad y 160 Lp/qq en un escenario favorable para esta temporada.

Se desarrolló un tabla de ingresos, costos y retornos por hectárea, la cual se aprecia en el Anexo 2.

El detalle de los costos diferenciales se observa en los Cuadros 20 y 21.

Cuadro 20 Costos diferenciales de semilla en Lp.

Semilla	60,000 pl/ha	70,000 pl/ha	80,000 pl/ha	90,000 pl/ha	100,000 pl/ha
Guayape	276	322	367	414	460
C-343	591	690	784	887	986

El precio de la semilla Guayape en el mercado es 700 Lp/qq y C-343 es 1,500 Lp/qq.

Cuadro 21. Costos diferenciales de fertilizante en Lp.

Fertilizante	100 kg/ha	200 kg/ha	300 kg/ha
Urea	330	660	990

Precio en el mercado de Urea es de 150 Lp/qq.

4.2.1 Presupuestos de costos comunes y diferenciales de los tratamientos

Los resultados obtenidos (Anexo 5), demuestran que no es rentable con el primer escenario de precios, producir maíz para grano, debido a que el precio de venta es 1/7 del precio de venta de maíz semilla. Los únicos dos tratamientos rentables en este experimento se encontraron con el híbrido C-343 con una densidad de 90,000 pl/ha y 200 kg/ha de N y de 100,000 pl/ha y 300 kg/ha de N. Sólo se recuperó lo invertido y apenas en el segundo caso hubo un margen de ganancia (968 Lp).

En el Anexo 6 se observan los resultados con un precio de 160 Lp/qq. Se aprecia que el híbrido C-343 es rentable en 9 de los 15 tratamientos, mientras que Guayape lo es en sólo dos de los 15. Esto refleja que el híbrido es más productivo económicamente, a pesar de que la semilla llegue a costar el doble y es productivo inclusive con todas las limitantes que se tuvieron.

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y los objetivos se concluyó lo siguiente:

- Los factores densidad de siembra y niveles de N no interactuaron significativamente en el rendimiento ni en ninguna otra característica. Sin embargo se observó que en ambos cultivares la combinación de 60,000 pl/ha y el rango de N de 200 y 300 kg/ha fue la que dio mayores rendimientos.
- Los factores que mayormente inciden en la producción son el nivel de N y el cultivar utilizado; la densidad no afectó significativamente los rendimientos.
- Se encontró un rango de N que sí aumenta el rendimiento significativamente, el que está entre 200 y 300 kg.
- El híbrido C-343 es significativamente más productivo que la variedad de polinización libre Guayape, aún con las limitantes enunciadas, lo que puede implicar que se podría comportar de igual manera en terrenos de productores con los mismos problemas.
- En las condiciones de no disponer de maquinaria que reemplace la de mano de obra no es rentable con esos rendimientos, producir maíz para grano, debido a que los costos de producción son relativamente altos y el precio de venta es muy bajo.

6. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos se recomienda:

- Usar una densidad de población alrededor de 60,000 pl/ha y no mayor debido a que densidades más altas no aumentan el rendimiento significativamente.
- Estudiar el efecto que podrían tener otros nutrientes como P, K, Ca y Mg.
- Realizar otro estudio para explorar el rango de N que está entre 200 y 300 kg/ha.
- Estudiar otros cultivares que se puedan adaptar a altas densidades de población y producir rendimientos mayores.
- Se recomienda a Zamorano si produce maíz para grano, mecanizar su producción ya que los costos más altos son los de mano de obra y con los precios actuales y esos costos no es rentable producir este tipo de maíz.

7. BIBLIOGRAFÍA

CÓRDOVA, H. 1991. Respuestas diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluados en ambientes contrastantes de Latinoamérica, PCCMCA 1990. s.n.t. p 15-31.

DOMÍNGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.

FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25. Roma, Italia s.n.t. 167 p.

FINCK, A. 1985. Fertilizantes y fertilización. Ed. REVERTÉ. Barcelona, España. 425 p.

GAMBOA, D. ; PEREZ, F. ; ARÉVALO, G. 1992. Effect of population density on four subtropical maize hybrids. Maize Abstracts. Vol. 8, No. 2. Artículo No. 687.

JUGENHEIMER, R. 1990. Maíz variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. LIMUSA. México. 821 p.

LEONARD, D. 1991. Cultivos tradicionales. Ed. por Marilyn Chakroff y Nancy Dybus. Trad. por Elizabeth J. Carico. 541 p.

MOYLE, S. 1987. Los niveles de producción agrícola y el empleo de fertilizantes. Roma, FAO. Programa de Fertilización; Campaña Mundial Contra el Hambre. 54 p.

OCÉANO. 2000. Enciclopedia práctica de la agricultura y ganadería. Barcelona, España. 1028 p.

PANDEY, S.; GARDNER, C. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. Adv. Agr. 48:1-47.

PROGRAMA COOPERATIVO para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). 1991. Memoria maíz. Publicado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Panamá. 616 p.

PROGRAMA REGIONAL del Maíz (PRM). 1992. Síntesis de resultados experimentales. Ed. por Jorge Bolaños, Gustavo Jaín, Roger Urbina y Héctor Barreto. s.n.t. Guatemala. 272 p.

PROGRAMA REGIONAL de Reforzamiento a la Investigación Agronómica Sobre los Granos en Centroamérica (PRIAG). 1999. Informes técnicos de Olanchito, Yoro, Honduras. San José, Costa Rica. 80 p.

ROSAS, J. 2001. Mejoramiento de cultivos alógamos. Apuntes de clases. Zamorano, Honduras. 13 p.

SANABRIA, O. 1991. Análisis de mercado de semilla mejorada en Honduras. El Zamorano, Honduras. Publicación interna de la Escuela Agrícola Panamericana. 93 p.

TAPIA, H.; GARCÍA, J. 1993. Técnicas para la producción de maíz. Managua, Nicaragua. 212 p.

TOTIO-KAGHO, F.; GARDNER, F. 1989. Responses of maize to population density. Reproductive development, yield, and yield adjustment. Maize Abstract. Vol. 5, no. 4. Artículo No. 2531.

8. ANEXOS

Anexo 1. Resultado del análisis de suelo antes de la siembra de maíz, El Zamorano, Honduras, 2001.

Muestra	Textura	%			PH	%			ppm (Disponible)				
		Arena	Limo	Arcilla	H ₂ O	M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	S	
					FA	B	B	B	M	B	B	B/N	
Lote único	Franco	42	36	22	5.12	1.33	0.06	11	129	735	105	16	

Interpretación: M = medio, B = bajo, B/N = bajo / normal, FA = fuertemente ácido.

Anexo 2. Ingresos, costos y retornos por hectárea en Lps.

Ítem	Unidad	Precio (Lp)	Cantidad	Monto (Lp)	Anotaciones

INGRESO				
Maíz variedad grano	qq*	120.0	DT ∞	DT
COSTOS FIJOS DEL ENSAYO				
Fertilizante 18-46-0	qq	180	2.2	578.2
Tractor+arado	hr	300+20	2.0	640.0
Tractor+rastra	hr	300+20	1.3	429.0
tractor+surgado	hr	335+30	0.8	292.0
mano de obra	hr	5.6	1,200.0	6,720.0
COSTO FIJO TOTAL				8,659.2
COSTO VARIABLE DEL ENSAYO				
Fertilizante				
Urea	qq	150.0	DT	DT
Semilla				
Guayape	lb	7.0	DT	DT
C-343	lb	15.0	DT	DT
SUBTOTAL COSTOS			DT	DT
RETORNO SOBRE COSTOS			DT	DT
COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler de tierra	ha	3,210.0	1	3,210.0
TOTAL COSTO RESIDUAL				
COSTO TOTAL			DT	DT
RETORNO RESIDUAL			DT	DT

* 1 qq=100 lbs.

∞ Depende del tratamiento.

Anexo 3. Desempeño de los costos diferenciales y comunes para los diferentes tratamientos con un precio de venta de 120 Lp/qq.

Tratamiento		Costos diferenciales (Lp)	Costos comunes (Lp)	Costo total (Lp)	Beneficio bruto (Lp)	Beneficio neto (Lp)	Relación beneficio/ costo (%)	
V1	D1	N1	606	8,659	9,265	6,083	-3,182	-34
		N2	936	8,659	9,595	4,794	-4,801	-50
		N3	1,266	8,659	9,925	7,915	-2,010	-20
	D2	N1	652	8,659	9,311	4,126	-5,185	-56
		N2	982	8,659	9,641	4,958	-4,683	-49
		N3	1,312	8,659	9,971	7,799	-2,172	-22
	D3	N1	697	8,659	9,356	5,412	-3,944	-42
		N2	1,027	8,659	9,686	2,453	-7,233	-75
		N3	1,357	8,659	10,016	3,823	-6,193	-62
	D4	N1	744	8,659	9,403	3,532	-5,871	-62
		N2	1,074	8,659	9,733	3,751	-5,982	-61
		N3	1,404	8,659	10,063	5,333	-4,730	-47
	D5	N1	790	8,659	9,449	1,674	-7,775	-82
		N2	1,120	8,659	9,779	5,077	-4,702	-48
		N3	1,450	8,659	10,109	6,523	-3,586	-35
V2	D1	N1	921	8,659	9,580	4,018	-5,562	-58
		N2	1,251	8,659	9,910	8,952	-958	-10
		N3	1,581	8,659	10,240	9,232	-1,008	-10
	D2	N1	1,020	8,659	9,679	8,815	-864	-9
		N2	1,350	8,659	10,009	3,255	-6,754	-67
		N3	1,680	8,659	10,339	6,188	-4,151	-40
	D3	N1	1,114	8,659	9,773	5,354	-4,419	-45
		N2	1,444	8,659	10,103	7,659	-2,444	-24
		N3	1,774	8,659	10,433	7,851	-2,582	-25
	D4	N1	1,217	8,659	9,876	4,356	-5,520	-56
		N2	1,547	8,659	10,206	10,264	58	1
		N3	1,877	8,659	10,536	8,638	-1,898	-18
	D5	N1	1,316	8,659	9,975	4,726	-5,249	-53
		N2	1,646	8,659	10,305	9,380	-925	-9
		N3	1,976	8,659	10,635	11,603	968	9

En el cuadro de análisis se usó la siguiente nomenclatura V1= Guayape, V2=C-343, D1=60,000 pl/ha, D2=70,000 pl/ha, D3=80,000 pl/ha, D4=90,000 pl/ha, D5=100,000 pl/ha, N1=100 kg N/ha, N2=200 Kg N/ha, N3=300 kg N/ha.

Anexo 4. Desempeño de los costos diferenciales y comunes para los diferentes tratamientos con un precio de venta de 160 Lp/qq.

Tratamiento	Costos diferenciales (Lp)	Costos comunes (Lp)	Costo total (Lp)	Beneficio bruto (Lp)	Beneficio neto (Lp)	Relación beneficio/ costo (%)
V1 D1 N1	606	8,659	9,265	8,110	-1,155	-12
N2	936	8,659	9,595	6,392	-3,203	-33
N3	1,266	8,659	9,925	10,553	628	6
D2 N1	652	8,659	9,311	5,502	-3,809	-41
N2	982	8,659	9,641	6,611	-3,030	-31
N3	1,312	8,659	9,971	10,398	427	4
D3 N1	697	8,659	9,356	7,216	-2,140	-23
N2	1,027	8,659	9,686	3,270	-6,416	-66
N3	1,357	8,659	10,016	5,097	-4,919	-49
D4 N1	744	8,659	9,403	4,710	-4,693	-50
N2	1,074	8,659	9,733	5,002	-4,731	-49
N3	1,404	8,659	10,063	7,110	-2,953	-29
D5 N1	790	8,659	9,449	2,232	-7,217	-76
N2	1,120	8,659	9,779	6,769	-3,010	-31
N3	1,450	8,659	10,109	8,698	-1,411	-14
V2 D1 N1	921	8,659	9,580	5,357	-4,223	-44
N2	1,251	8,659	9,910	11,936	2,026	20
N3	1,581	8,659	10,240	12,309	2,069	20
D2 N1	1,020	8,659	9,679	11,753	2,074	21
N2	1,350	8,659	10,009	4,340	-5,669	-57
N3	1,680	8,659	10,339	8,251	-2,088	-20
D3 N1	1,114	8,659	9,773	7,139	-2,634	-27
N2	1,444	8,659	10,103	10,212	109	1
N3	1,774	8,659	10,433	10,468	35	0
D4 N1	1,217	8,659	9,876	5,808	-4,068	-41
N2	1,547	8,659	10,206	13,686	3,480	34
N3	1,877	8,659	10,536	11,517	981	9
D5 N1	1,316	8,659	9,975	6,301	-3,674	-37
N2	1,646	8,659	10,305	12,507	2,202	21
N3	1,976	8,659	10,635	15,470	4,835	45

En el cuadro de análisis se usó la siguiente nomenclatura V1= Guayape, V2=C-343, D1=60,000 pl/ha, D2=70,000 pl/ha, D3=80,000 pl/ha, D4=90,000 pl/ha, D5=100,000 pl/ha, N1=100 kg N/ha, N2=200 Kg N/ha, N3=300 kg N/ha.