

**Respuesta del plátano (*Musa accuminata* x *Musa balbisiana*) a la  
aplicación de nitrógeno en un Vertisol de Puerto Rico**

Por:

Axel E. López Caraballo

Tesis sometida en cumplimiento parcial del requisito para grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

En

SUELOS  
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO MAYAGÜEZ  
2009

Aprobado por:

---

David Sotomayor Ramírez, PhD  
Presidente, Comité Graduado

---

Fecha

---

Manuel Díaz Rivera, MSc  
Miembro, Comité Graduado

---

Fecha

---

Luis E. Rivera Martínez, MSc  
Miembro, Comité Graduado

---

Fecha

---

Hipólito O'Farrill Nieves, PhD  
Director interino de Departamento

---

Fecha

---

María Ferrer Alameda, ME  
Representante, Escuela Graduada

---

Fecha

## Abstract

Plantains (*Musa accuminata* x *Musa balbisiana*) are one of the most important commercial crops cultivated in Puerto Rico. It is important to determine the optimum fertilizer nitrogen (N) rates for the optimum yields, decrease production costs and excess N. An experiment was conducted in a commercial farm in the southern semiarid coast of Puerto Rico. The soil was of the Cartagena series (*Fine, mixed, superactivate isohypertermic Sodic Haplusterts*). Crop response to four N levels (100, 200, 300 and 400 kg/ha) applied as urea and ammonium sulfate by fertigation was evaluated. There were no significant differences between the treatments for total number fruits (132,969 fruits/ha), number of commercial fruits (81,957 fruits/ha), number of noncommercial fruits (49,976 fruits/ha), total weight (44,992 kg/ha), weight of commercial fruits (29,331 kg/ha), weight of noncommercial fruits (12,833 kg/ha), weight of total fruit (353 g/fruits), weight of commercial fruit (358 g/fruits) and weight of noncommercial fruit (253 g/fruits). The lack of response to fertilizer N could be due to residual soil N and the capacity of the soil to supply N. The suggested fertilizer N level for plantain production in similar soils and crop management as the one used in this study in the southern semiarid coast of Puerto Rico is 100 kg N/ha.

## Resumen

El plátano (*Musa accuminata x Musa balbisiana*) es uno de los cultivos de mayor importancia en Puerto Rico. Es de importancia determinar el nivel óptimo de aplicación de nitrógeno (N) para maximizar la producción y minimizar costos y pérdidas de nitrógeno. Se estableció un experimento en un suelo de la serie Cartagena (*Fine, mixed, superactive isohypertermic Sodic Haplusterts*) para evaluar la respuesta del plátano a cuatro niveles de N (100, 200, 300 y 400 kg/ha) aplicados como urea y sulfato de amonio por fertigación. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y el número de frutos totales (132,969 frutas/ha), número de frutos comerciales (81,957 frutas/ha), número de frutos no comerciales (49,976 frutas/ha), peso total (44,992 kg/ha), peso de frutos comerciales (29,331 kg/ha), peso de frutos no comerciales (12,833 kg/ha), peso por fruto total (353 g/fruto), peso por fruto comercial (358 g/fruto) y peso por fruto no comercial (253 g/fruto). La falta de respuesta a la aplicación de N pudo ser por el N residual del suelo y la capacidad del suelo para suplir N. La recomendación de fertilización para la producción de plátanos en un suelo y el manejo del cultivo similar utilizado en este experimento en la costa semiárida del sur de Puerto Rico es de 100 kg N/ha.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicarle este trabajo al Dios Padre, al Dios Hijo y al Dios Espíritu Santo por haberme permitido culminar una meta más en mi vida. ¡Eres todo para mí! Adicional quiero dedicarle el mismo a mi ayuda idónea, compañera y amiga a mi esposa Rosemarie Mercado Rodríguez gracias y te amo con todas mis fuerzas. Quiero dedicarle este trabajo a mi hermosa hija Lexamarie López Mercado eres mi princesa que Dios me regaló te amo. Además a mis padres por enseñarme los valores y a luchar incondicionalmente para que yo obtuviera y alcanzara todas mis metas Fernando López Maldonado y Roselyn Caraballo Vélez, a mis hermanos Rosalyn López Caraballo y Ferdinand López Caraballo.

## **Agradecimientos**

Le agradezco a todos los miembros de mi comité graduado Manuel Díaz, Luis E. Rivera y al Dr. David Sotomayor Ramírez, presidente del comité graduado, por haberme aceptado como estudiante graduado. Por esforzarme al trabajo de la investigación y por exigir a cada día más y más de mí. Agradezco el apoyo financiero del Proyecto del Dr. Wilfredo Colón, de la Universidad del Este, titulado “DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A MANAGEMENT PLAN TO REDUCE NONPOINT POLLUTION OF THE COASTAL WATERS OF THE NATIONAL ESTUARY RESERVE OF JOBOS BAY IN SOUTHERN PUERTO RICO, United States Department of Agriculture/Foreign Agricultural Services/ICD/RSED AGREEMENT NUMBER 58-3148-1-039”. A Manuel Díaz y miembro del comité graduado por su experiencia y gran colaboración para que este trabajo fuera posible. A Luis Ernesto Rivera y miembro del comité graduado también por su experiencia y colaboración. A John Jairo Ramírez por su gran colaboración en la toma de resultados en mi ausencia por activación militar. A Jorge Frau propietario de la Finca Magdalena y todos sus empleados por su gran colaboración en el campo. Al Departamento de Agronomía y Suelos y todo su personal administrativo. A todos los que estuvieron al frente de mi proyecto cuando tuve que irme a cumplir con el deber en territorio de guerra en Iraq. A todos mis compañeros de clases y por ultimo a la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario Mayagüez por ser mi Alma Mater.

## Tabla de contenido

Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	ix
Lista de apéndices.....	x
1. Introducción.....	1
1.1Objetivos.....	4
2. Revisión de literatura.....	5
3. Materiales y métodos.....	12
4. Resultados y Discusión.....	19
4.1 Análisis de suelo.....	19
4.2 Rendimientos.....	25
4.3 Crecimiento del cultivo.....	28
4.4 Análisis foliar.....	29
4.5 Valores de clorofila A medidos con el medidor de clorofila (SPAD).....	30
4.6 Concentración de N en las diferentes partes de la planta y extracción del N.....	30
4.7 Climatología, riego y NO <sub>3</sub> -N en el riego.....	32
4.8 Análisis económico.....	36
5. Conclusiones.....	40
6. Literatura citada.....	41
7. Apéndices.....	45

## Lista de cuadros

Cuadro	Página
1. Datos resumidos de aportación de N en cinco suelos diferentes en Puerto Rico (Caro-Costas et. al., 1972, Vicente-Chandler et. al., 1959 y Vicente-Chandler et. al., 1961).....	11
2. Dosificación de nutrientes en los distintos niveles de N aplicados mensualmente en forma de urea (46%) y sulfato de amonio (21%) a plátanos en el sur de Puerto Rico.....	15
3. Dosificación de fósforo y potasio aplicados mensualmente en forma de $K_2SO_4$ (50% $K_2O$ ) y $KCl$ (60% $K_2O$ ) y superfosfato triple (46% $P_2O_5$ ) y de ácido fosfórico (67% $P_2O_5$ ) en plátanos en el sur de Puerto Rico.....	16
4. Propiedades químicas del suelo en las parcelas experimentales, previo a la siembra y a una profundidad de 0-15 cm.....	19
5. Propiedades químicas del suelo en las parcelas experimentales posterior a la siembra y a una profundidad de 0-15 cm.....	19
6. Influencia de los cuatro niveles de N sobre el rendimiento de plátanos en la Finca Magdalena en la zona semiárida del sur de Puerto Rico.....	27
7. Valores de ANOVA para cada una de las variables de respuesta bajo estudio....	28
8. Indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo del plátano al sexto mes después de la siembra.....	28
9. Indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo del plátano al noveno mes después de la siembra.....	29
10. Concentración de N en la hoja indicadora a los siete meses después de la siembra.....	30
11. Valor de SPAD en cada uno de los tratamientos aplicados.....	30
12. Extracción de N en cada una de las partes de la planta del plátano.....	32
13. Datos climatológicos de la Finca Magdalena durante el experimento.....	35
14. Rendimientos e ingresos estimados obtenidos para cada uno de los tratamientos aplicados en la parcela experimental en la Finca Magdalena en el sur de Puerto Rico.....	37

15. Costos aproximados de la producción de plátanos en la Finca Magdalena.....38

## Lista de figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Mapa de Puerto Rico (área amarilla representa el municipio de Salinas en donde se estableció el experimento).....	12
2. Mapa experimental de las parcelas en la Finca Magdalena en la zona sur de Puerto Rico.....	13
3. Concentración de NO <sub>3</sub> -N extraíble con solución KCl antes de la siembra.....	21
4. Concentración de NO <sub>3</sub> -N extraíble con solución KCl posterior a la cosecha.....	21
5. Porcentaje de materia orgánica antes de la siembra.....	22
6. Porcentaje de materia orgánica posterior a la cosecha.....	22
7. P extraíble solución Olsen-bicarbonato antes de la siembra.....	23
8. K extraíble con acetato de amonio antes de la siembra .....	23
9. P extraíble solución Olsen-bicarbonato posterior a la siembra .....	24
10. K extraíble con acetato de amonio posterior a la siembra.....	24
11. Precipitación semanal en la Finca Magdalena durante experimentación.....	34

## Lista de apéndices

	<b>Página</b>
Apéndice A: Resumen de los Análisis de varianza.....	45
Apéndice B: Cálculos.....	52
Apéndice C: Fotos.....	66

## 1. Introducción

El plátano (*Musa accuminata* x *Musa balbisiana*) es el cultivo de mayor importancia económica en Puerto Rico. Para el año fiscal 2005 se produjeron  $3.86 \times 10^8$  frutas, que aportaron  $\$5.68 \times 10^7$  al ingreso bruto agrícola de la isla (Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2005). Para el 2002 en Puerto Rico, había 6,340 fincas productoras de plátano en un total de 10,632 hectáreas de terreno (NASS, 2002). Para ese mismo año en la costa sur de Puerto Rico, se produjo el 20% de la producción total de plátanos de Puerto Rico y en la zona montañosa se produjo el 80 % de la producción total de plátanos (NASS, 2002). El plátano es un farináceo de importancia mundial, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales porque aporta a la nutrición humana gran parte de los requerimientos nutricionales como carbohidratos, fibras, vitaminas (A, B<sub>6</sub> y C) y minerales como potasio, fósforo y calcio.

Históricamente, el plátano se ha cultivado en Puerto Rico en los suelos del interior de la isla, principalmente en Oxisoles y Ultisoles (Del Valle et. al., 1977). Esta zona se caracteriza por tener suelos rojos, profundos, bien drenados, reacción del suelo entre 4.5 y 5.5 y de baja fertilidad, pero con una estructura favorable (Rodríguez García et. al., 1984). Se estima que hay más de  $4.04 \times 10^8$  ha de estos suelos en el trópico los cuales generalmente contienen niveles bajos de fósforo (P) y de nitrógeno (N) con una alta capacidad de fijar el fósforo (Vicente-Chandler y Figarella, 1962). Investigaciones reflejan que cultivos sembrados en estos suelos (Oxisoles y Ultisoles) muestran altos rendimientos con la aplicación de nutrientes como N, P, K, Ca y Mg, en combinación con unas buenas prácticas de manejo (Irizarry et. al., 1980b). Hay pocos trabajos publicados realizados en Puerto Rico que documentan la relación entre la aplicación de fertilizantes

de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) y la respuesta del cultivo (Samuels et. al., 1978). La fertilización basada en la respuesta máxima del cultivo es la estrategia más sustentable desde el punto de vista ambiental y económico para la producción de plátano (Sotomayor y Macchiavelli, 2002). Es importante aplicar la cantidad de nutrientes que más se acerquen a los requisitos nutricionales de la planta y cuantificarlos por medio de la respuesta del cultivo a la fertilización, de tal manera que reduzca las pérdidas por escorrentía y lixiviación y así poder maximizar los rendimientos económicos del cultivo.

Por años se ha cosechado plátanos en la zona montañosa de Puerto Rico, pero la producción del mismo en los llanos semiáridos de la costa sur de Puerto Rico se han incrementado debido a una mayor demanda en el mercado por frutas de alta calidad, altos precios a nivel de la finca y la alta disponibilidad de tierras mecanizables con infraestructura para el riego (Goenaga et. al., 1995). El uso de la tecnología de riego suplementario por goteo permite una mayor eficiencia en el uso del agua, además que permite la aplicación de nutrientes por fertirrigación. Los suelos de la costa sur de Puerto Rico se consideran suelos fértiles, ricos en materia orgánica, alto porcentaje de saturación de bases y alta capacidad de intercambio catiónico. El requisito de fertilización de N puede que sea mucho menor que aquel necesario en suelos altamente meteorizados de la montaña del orden Ultisol y Oxisol, debido a la forma de aplicación de N y la mayor fertilidad de suelos dominados por arcillas 2:1.

La extracción de nutrientes en plátanos ha sido reportada en: 249 kg N/ha, 21 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 585 kg K<sub>2</sub>O /ha y 60 kg Mg/ha (Irizarry et. al., 1980b). Los autores recomiendan la aplicación de 329 kg N/ha, 56 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 767 kg K<sub>2</sub>O /ha y 96 kg Mg/ha, basado

estrictamente en los niveles de extracción, valores estimados de eficiencia y valores estimados de capacidad para suplir nutrientes. Los autores recomiendan la aplicación de 3,000 kg/ha con una formulación 10-2-25-3 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-MgO). Aunque este trabajo se ha convertido en la base para las recomendaciones de fertilización del Colegio de Ciencias Agrícolas, no hay base sustantiva objetiva para continuar con esas recomendaciones debido a que no se basó en un criterio de respuesta del cultivo y porque han ocurrido cambios en la tecnología del manejo agronómico del cultivo.

El N es uno de los nutrimentos más limitantes para la mayoría de los cultivos y éste es importante para optimizar la producción agrícola. Las plantas normalmente contienen entre 1 y 5% de N y es absorbido por la raíz en forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que se mueven en el suelo por el flujo de masa y difusión. El N es importante para la planta para varias funciones como: cadenas de aminoácidos que son incorporados en las proteínas, coenzimas, hormonas y ácidos nucleicos que están presentes en la molécula del DNA y RNA. El N forma parte integral de la molécula de clorofila que es la que se encarga de la absorción de la luz solar como fuente de energía necesitada para la fotosíntesis. Cantidades adecuadas de N están asociadas a una alta actividad fotosintética, un crecimiento vigoroso de la planta y al color verde oscuro en las hojas. En este trabajo se reporta la respuesta del plátano a la aplicación de cuatro niveles de N por fertirrigación. El trabajo de Samuels et. al. (1978) ha sido el único en donde se ha reportado el efecto de la aplicación del N sobre el rendimiento de plátanos en la costa semiárida de Puerto Rico.

## 1.1 Objetivos

1. Cuantificar la respuesta agronómica del plátano a cuatro niveles de N en un suelo de la serie Cartagena (*Fine, mixed, superactive isohypertermic Sodic Haplusterts*) en la zona semiárida en el sur de Puerto Rico.
2. Estimar los costos de producción y el costo debido a la fertilización con N.

## 2. Revisión de Literatura

Del Valle et. al. (1977) evaluaron la respuesta del plátano a la aplicación de varios nutrientes aplicados al voleo y en bandas con y sin P residual. El experimento se realizó en un Ultisol en la Estación Experimental de Corozal. Los tratamientos fueron i) cinco niveles de P (0, 56, 112, 179 y 1121 kg/ha), de los cuales los niveles de 179 y 1121 kg/ha fueron aplicados en una siembra anterior (P residual); ii) tres niveles de N aplicados en bandas (112, 224 y 336 kg/ha); y iii) dos niveles de N al voleo (112 y 224 kg/ha). A todos los tratamientos se les hizo una aplicación de 336 kg K<sub>2</sub>O/ha y 168 kg Mg/ha. El peso del racimo fue significativamente más alto en plantas que recibieron aplicaciones de 224 kg N/ha en banda en comparación con las plantas que recibieron 112 kg N/ha en banda y 112 y 224 kg N/ha al voleo. No hubo diferencias en el número de frutas por racimo que pueda atribuirse a los niveles de N aplicados al voleo o en bandas. El peso del racimo y de la fruta aumentó cuando se incremento la aplicación de P de 0 a 56 kg/ha.

Vicente-Chandler y Figarella (1962) evaluaron la respuesta del plátano a la aplicación de 45 kg/ha de P aplicado al hoyo en el momento de la siembra en un Ultisol en la zona montañosa en Orocovis. Ellos reportaron que hubo respuesta a la aplicación de P y la forma de aplicación disminuye la posibilidad de que el P sea fijado por el suelo.

Irizarry et. al. (1980b) evaluaron la producción y la extracción de los nutrientes N, P, K, Mg y Ca en el plátano en dos localidades (Corozal y Gurabo). En Gurabo, las plantas se fertilizaron con un fertilizante 10-5-15-2 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-MgO) con tres tratamientos 0, 1,350 y 2,700 kg/ha divididas en cuatro aplicaciones iguales a los 2, 5, 9 y 10 meses después de la siembra. En Corozal, las plantas se fertilizaron con una

formulación completa 10-5-20-4 con tres tratamientos 0, 2,000 y 4,000 kg/ha divididas en cuatro aplicaciones iguales a 1, 4, 7 y 10 meses después de la siembra. En ambas localidades, los rendimientos máximos se obtuvieron con la aplicación de 2,000 kg/ha de 10-5-20-4 (200, 100, y 800 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente), pero no hubo forma de determinar debido a cual factor (N, P o K) ocurrió la respuesta. Las plantas extrajeron un promedio de 249, 21, 585 y 60 kg/ha de N, P, K y Mg en este estudio. A pesar que la respuesta máxima se obtuvo con la aplicación de 200, 100, y 800 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, los autores sugieren que debe hacerse una aplicación de 3,000 kg/ha de un fertilizante 10-2-25-3 (300 kg N/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 750 kg K<sub>2</sub>O/ha y 90 kg MgO/ha) o una formulación con proporciones similares fraccionando los 2, 6, 9, y 12 meses después de la siembra. La concentración de nutrientes en la lámina de hoja indicadora al séptimo mes después de la siembra estuvo entre 3.2 y 3.9% de N, 0.17 y 0.20 % de P, 3.0 y 3.6% de K, 0.3% de Mg y entre 0.6 y 0.8% de Ca (Irizarry et. al., 1980b). Esa recomendación esta basada en la extracción, lo que suple el suelo y la eficiencia del fertilizante, lo que contrasta con el concepto moderno de manejo de nutriente que esta basado en la respuesta de aplicación.

Caro-Costas et. al. (1964) reportaron que el rendimiento del plátano aumentó con una aplicación de N, P, K y Mg hasta niveles de 224, 98, 448 y 122 kg/ha respectivamente, en un suelo de la serie Humatas con un rendimiento de 20,748 kg/ha y 73,680 frutas/ha. En el mismo suelo, Samuels et. al. (1975) reportaron que el plátano demostró respuesta a la aplicación de 122 kg Mg/ha. Hernández Medina y Lugo López (1969) encontraron que los rendimientos del plátano aumentaron con la aplicación de Mg de 56 kg/ha en un Ultisol de la serie Corozal (Aquic Tropults).

Samuels et. al. (1978) establecieron un experimento en un suelo de la serie San Antón localizado en la Subestación Experimental Fortuna en la zona semiárida de Puerto Rico. La relación entre la cantidad de nutrientes aplicados al suelo y los rendimientos obtenidos fueron descritas con la ecuación de abono-rendimiento de Capó (modelo Capó)  $Y=A/1+B(C-X)^2$ . Se aplicaron cinco niveles de N (0, 168, 336, 504 y 673 kg N/ha), tres niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 168 y 336 kg N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y cuatro niveles de MgO (0, 94, 187 y 374 kg MgO/ha). Aunque los mayores rendimientos se obtuvieron con el tratamiento de 168 kg N/ha el uso del modelo Capó indicó que los rendimientos máximos con respecto al número de frutas por planta y peso por racimo se hubiese obtenido con aplicaciones de 259 a 282 kg N/ha respectivamente. Los autores demostraron que la aplicación de K<sub>2</sub>O de 336 kg/ha estuvieron asociadas con los mayores rendimientos en número y peso de los plátanos. No se lograron aumentos significativos en las aplicaciones de P debido a que el suelo sin fertilización contenía 45 ppm de P extraíbles con la prueba de Olsen-bicarbonato y el plátano contenía 0.28 % P en las hojas a los diez meses. El tratamiento en donde se aplicó 94 kg MgO/ha fue donde se obtuvieron los mayores rendimientos en número y peso de la fruta. En resumen, se recomienda la aplicación de 168 kg N/ha y 336 kg K<sub>2</sub>O/ha en suelos de la serie San Antón en el área sur de Puerto Rico donde usualmente se emplea riego por goteo aplicando 18 cm/ha por los primeros tres meses, y luego de los siete meses utilizando riego por inundación.

Pérez Escolar y Lugo López (1979) evaluaron el efecto de la reacción suelo y los factores de acidez del mismo sobre la producción de plátano, en un Ultisol de la serie Los Guineos en Jayuya. El estudio reveló una baja correlación ( $r=0.47$ ) entre el pH y ninguna correlación entre el pH del suelo a 0-30 cm de profundidad y el número de frutas por

racimo. No se encontró relación entre el aluminio intercambiable con el número de frutas, peso del racimo y peso de la fruta.

Rodríguez García et. al. (1984) en un experimento en un Oxisol y en un Ultisol, determinaron que los factores de la acidez en el suelo no afectaron los componentes del rendimiento ni la composición foliar del plátano. En el Ultisol el rendimiento promedio fue de 30 ton/ha con 40 frutas por racimo en un suelo con un rango de pH entre 4.1 y 6.0 y el porcentaje de saturación de Al varió de 0 hasta 70 %. La composición química de las hojas no se afectó por los factores de acidez excepto que el contenido de Ca en la hoja disminuyó cuando aumentó la acidez en el suelo. La misma tendencia se observó en el suelo de la serie Coto con un cambio en los valores de pH entre 4.25 y 5.25. Los rendimientos no fueron afectados por los factores de la acidez del suelo, aunque la concentración de Ca en la hoja disminuyó con un incremento en la acidez del suelo. El plátano aparentemente puede tolerar niveles altos de Al y de manganeso (Mn) y valores de pH bajos en el suelo en comparación con otros cultivos (Rodríguez García et. al., 1984).

Otros de los parámetros importantes en el cultivo de plátano es poder determinar si las distancias de siembra o la densidad poblacional de plantas afectan los rendimientos de la cosecha. Irizarry et. al. (1980a) en un estudio en la Estación Experimental de Gurabo y en la Estación Experimental de Corozal evaluaron el efecto de tres distancias de siembras y tres niveles de abonamiento en el rendimiento y la calidad del cultivo de plátano. Las tres distancias utilizadas fueron 1.7 x 1.7 m, 2.0 x 2.0 m y 2.3 x 2.3 m equivalente a las densidades de 3,460, 2,500 y 1,890 plantas por hectárea, respectivamente. Los niveles de abonamiento fueron 2,240, 3,360 y 4,480 kg/ha de un

fertilizante con una formulación de 10-2-40 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). No hubo diferencias significativas entre los niveles de abonamiento y ni entre las distancias de siembra en la producción de plátanos. En ambas localidades los rendimientos más altos obtenidos se lograron usando las densidades mas bajas de 1.7 x 1.7 m ó 3,460 plantas por hectáreas en donde se lograron 133,900 frutas totales/ha en Gurabo y 153,600 frutas totales/ha en Corozal. Asumiendo que que el 80% de la frutas totales son comerciales se produjeron 107,100 frutas comerciales/ha en Gurabo y 122,900 frutos comerciales/ha en Corozal.

Los requisitos de riego se han evaluado en Puerto Rico. Abruña et. al. (1980) utilizaron la tasa de evapotranspiración de un recipiente “pan evaporation” para determinar el requisito de riego en un suelo de la serie Mabí. Se aplicó 15 cm de agua a través de riego por inundación cuatro meses después de la siembra considerando al momento que la humedad volumétrica se reducía a un valor de 20, 40 y 60 %, del valor correspondiente a capacidad de campo. La humedad disponible en el suelo para la planta promedio fue de 2.61 cm en cada intervalo de 15 cm de profundidad de muestreo para un total de 7.83 cm a una profundidad de 0 hasta 45 cm. Se obtuvieron rendimientos 15,696, 22,214, 24,224 kg/ha en los tratamientos con riego aplicado con valores de 20, 40 y 60%, respectivamente, del valor correspondiente a capacidad de campo. En la zona sur de Puerto Rico, Goenaga et. al. (1995) determinaron que no hubo diferencias significativas en el rendimiento de plátano con valores de reposición de agua de entre 0.75 y 1.25 de la evapotranspiración potencial, pero hubo mayor número de frutas (88,597 frutas/ha) con una reposición de agua correspondiente a 1.25 veces la evapotranspiración potencial.

Santiago Córdova (1984) evaluó el efecto de cuatro niveles de N y cinco niveles de K sobre el rendimiento óptimo, composición foliar, calidad de la fruta y otras

características del banano Grand Nain en un Molisol de la zona semiárida de Puerto Rico. El autor, no encontró diferencias significativas entre los niveles de aplicación de N en el rendimiento comercial y otros componentes de producción como calidad de frutas y características de la planta. Sin embargo la concentración de N en la hoja incrementó a medida que incrementaron las unidades de fertilizante. El contenido máximo foliar de N y K fue 3.46 y 4.24%, respectivamente.

La mayor proporción de la totalidad de N en el suelo está en forma orgánica (90%). Se estima que en suelos con valores altos de materia orgánica (>4%) la tasa de mineralización puede llegar hasta un 4% anualmente (Havlin et. al., 1999). Debido a que la mineralización de N (conversión de N orgánico a N inorgánico) puede ser afectada por las propiedades físicas, químicas y biológicas del ambiente, la materia orgánica no es utilizada como un buen indicador del potencial del suelo a suplir N. Algunos de estos factores son pH, temperatura, aireación del suelo, actividad microbiana y la aplicación de fertilizantes (Havlin et. al., 1999). Vicente Chandler et. al. (1959) estudiaron la aportación de N al suelo utilizando la extracción de N por la yerba Congo en un suelo de la serie Corozal y determinaron que el suelo aportó 94 kg N/ha/año. Vicente Chandler et. al. (1961), en un estudio de la serie Fajardo sin la aplicación de N, determinaron que la yerba Pangola extrajo 106 kg N/ha/año. En otro estudio realizado en un Ultisol de la serie Humatas utilizando la yerba estrella hubo una aportación de 104 kg N/ha/año (Caro-Costas et. al., 1972). La aportación de N en un suelo de la serie Toa utilizando la yerba elefante fue de 168 kg N/ha/año y de 123 kg N/ha/año en un suelo de la serie Daguey utilizando la yerba guinea (Cuadro 1).

Cuadro 1: Datos resumidos de aportación de N en cinco suelos diferentes en Puerto Rico (Caro-Costas et. al., 1972, Vicente-Chandler et. al., 1959 y Vicente-Chandler et. al., 1961).

Serie de Suelo	Aportación de N (kg N/ha año <sup>-1</sup> )
Corozal	94
Daguey	123
Fajardo	106
Humatas	114
Toa	168

Un método de estimar el N potencialmente mineralizable es mediante el método de incubación aeróbica de N a largo plazo en el laboratorio. Bracete (2003) evaluó la mineralización de N en suelos de la serie Fraternidad y San Antón sin y con composta aplicada a niveles de 0, 50 y 100 mt/ha. El N potencialmente mineralizable en el suelo Fraternidad y un suelo San Antón fue de 45 y 39 kg N/ha/180 días respectivamente.

### 3. Materiales y Métodos

Se estableció un experimento en la zona sur de la Isla en la Finca Magdalena ubicada en la Carr. #3 Km 158.2 en el Barrio Aguirre, Salinas, Puerto Rico (Figura 1) del arrendatario Jorge Frau el 23 de junio de 2004. El suelo de la finca pertenece a la serie Cartagena (*Fine, mixed, superactive isohypertermic Sodic Haplusterts*). Estos suelos son descritos con 0 % de pendientes, textura fina, profundos, pobremente drenados y alcalinos con pH de 8.0 (USDA-SCS, 1977).

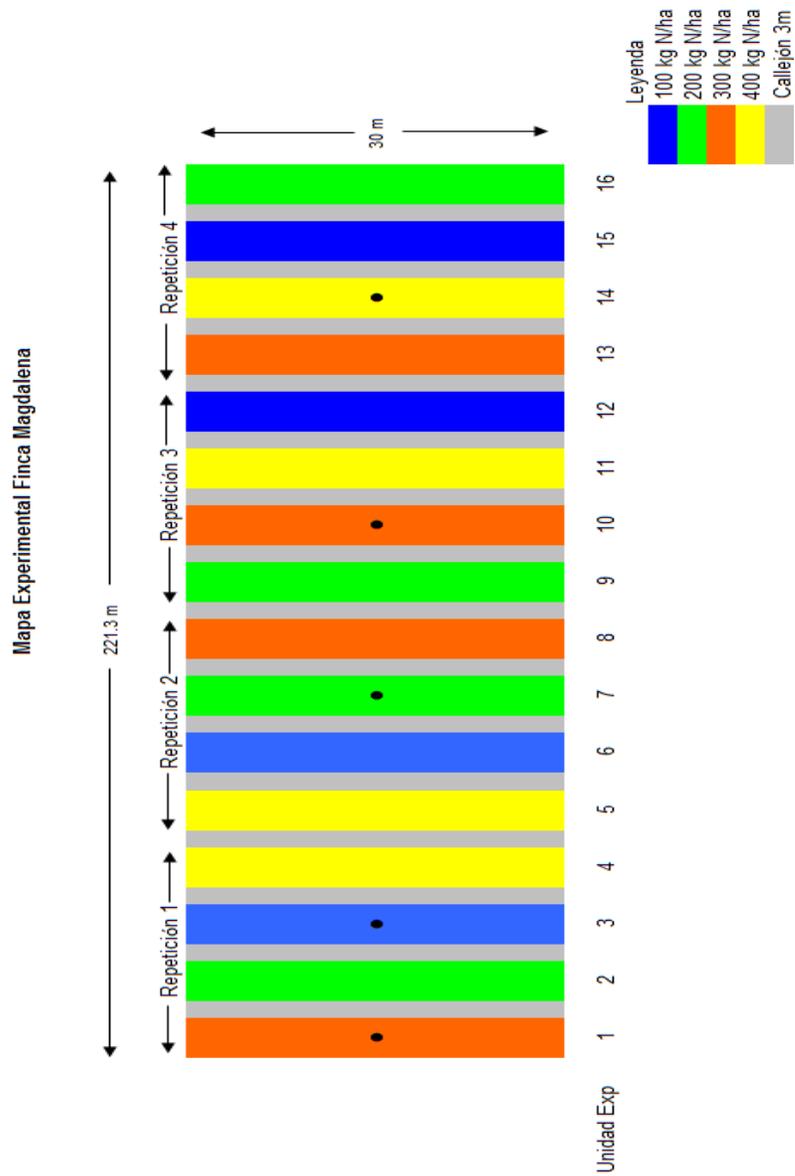
Figura 1: Mapa de Puerto Rico (área amarilla representa el municipio de Salinas en donde se estableció el experimento)



El experimento consistió en la aplicación de cuatro niveles de nitrógeno (100, 200, 300 y 400 kg/ha/año) con cuatro replicados completamente aleatorizados en bloques (Figura 2). El predio tenía un área de 6,630 m<sup>2</sup> (0.66 ha) que se dividió en 16 parcelas. Las parcelas tenían unas dimensiones de 30.5 m de largo y 11 m de ancho, cada una con seis surcos con 1.8 m entre el centro de un banco y el otro. Se dejó un callejón de 3 m entre cada parcela. Se preparó el terreno con dos cortes de arado y dos cortes de rastrillado. Se tomaron muestras de suelos de 0 a 15 cm de profundidad en cada una de

las parcelas y también se muestreó el perfil del suelo en un punto de la parcela seleccionado al azar a las profundidades 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 y 90-110 cm antes y después de la siembra. Las muestras de suelo se secaron al aire y se pasaron por un tamiz no. 10 (2 mm de apertura).

Figura 2: Mapa experimental de las parcelas en la Finca Magdalena en la zona sur de Puerto Rico



Las muestras fueron analizadas por el laboratorio MDS Harris (Lincoln, Nebraska) para materia orgánica (M.O.) por pérdida de masa por ignición, nitratos extraíbles con 1M KCl, fósforo extraíble con el extracto de Olsen, potasio, magnesio, calcio, azufre por extracción con acetato de amonio, micro nutrientes por extracción de DTPA, pH y contenido de sales solubles por H<sub>2</sub>O (1:1) (1:1 suelo: agua) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de desplazamiento con amonio.

Para determinar la cantidad de NO<sub>3</sub>-N extraíble en el perfil de suelo a una profundidad dada, se multiplicó la concentración por la densidad aparente del suelo estimada en 1.4 g/cm<sup>3</sup> y la profundidad de muestreo y se sumaron las masas por el número de intervalos en el perfil. Para determinar el N aportado por la materia orgánica se asumió que el 5% de M.O. es N y una tasa anual de descomposición de 4% (Havlin et al., 1999). Se utilizó un estudio de la calidad de agua de riego en la costa sur de Puerto Rico realizado por Colón et. al. (2003) para determinar el contenido de NO<sub>3</sub>-N en el agua de riego en donde se multiplicó el valor del estudio expresado en mg NO<sub>3</sub>/L por el volumen de riego aplicado en la experimentación.

La densidad de siembra fue de 2,472 plantas/ha del clon Maricongo. Los cormos se escogieron, se clasificaron, y se pesaron antes de la siembra. Cada cormo pesaba entre 1.4 y 3.1 kg. Para cada nivel de N, la mitad del N se aplicó en forma de urea (46% N) y la otra mitad en forma sulfato de amonio (21% N) por medio de fertigación. Las aplicaciones de fertilizante, excepto el muriato de potasio, se realizaron cada 30 días, comenzando 30 días después de la siembra (Cuadro 2).

Cuadro 2: Dosificación de nutrientes en los distintos niveles de N aplicados mensualmente en forma de urea (46%) y sulfato de amonio (21%) a plátanos en el sur de Puerto Rico.

Tratamiento									
		100		200		300		400	
		kg N/ha							
mes	urea	SA	urea	SA	urea	SA	urea	SA	
1	1.25	1.25	2.5	2.5	3.75	3.75	5	5	
2	2.5	2.5	5	5	7.5	7.5	10	10	
3	5	5	10	10	15	15	20	20	
4	7.5	7.5	15	15	22.5	22.5	30	30	
5	10	10	20	20	30	30	40	40	
6	10	10	20	20	30	30	40	40	
7	7.5	7.5	15	15	22.5	22.5	30	30	
8	2.5	2.5	5	5	7.5	7.5	10	10	
9	2.5	2.5	5	5	7.5	7.5	10	10	
10	1.25	1.25	2.5	2.5	3.75	3.75	5	5	
Total	50	50	100	100	150	150	200	200	

Se le aplicó muriato de potasio (KCl, 60% K<sub>2</sub>O) en forma granular cada dos meses. El mes alterno se fertilizó con sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 50 % K<sub>2</sub>O) por fertigación. La fuente de P fue superfosfato triple (SFT) y ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). La aplicación total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fue de 75 kg/ha y la de K<sub>2</sub>O fue de 450 kg/ha para todos los tratamientos (Cuadro 3). Se realizaron aplicaciones foliares de Keyplex (®) como fuente de micro-elementos al tercer y sexto mes luego de la siembra a razón de 6.80 litros/ha como medida precavida de deficiencias de micro-nutrientes que potencialmente presentan estos suelos de la zona sur. Se realizaron aplicaciones de plaguicidas para el control de yerbajos y nemátodos según recomendaciones de la EEA (Conjunto Tecnológico para plátanos y guineos).

Cuadro 3: Dosificación de fósforo y potasio aplicados mensualmente en forma de  $K_2SO_4$  (50%  $K_2O$ ) y  $KCl$  (60%  $K_2O$ ) y superfosfato triple (46%  $P_2O_5$ ) y de ácido fosfórico (67%  $P_2O_5$ ) en plátanos en el sur de Puerto Rico.

Fuente	450		75	
	kg Fuente/ha			
mes	$K_2SO_4$	$KCl$	SFT	$H_3PO_4$
1	0	11.25	0	2
2	22.5	0	1	2
3	0	45	0	7.5
4	67.5	0	4.5	6
5	0	90	0	16
6	91	0	6.5	7.5
7	0	67.5	0	12
8	22.5	0	0	4
9	0	21.5	0	4
10	11.25	0	0	2
Total	215	235	12	63

Se instalaron tensiómetros a las profundidades 90 y 110 cm en las parcelas 1, 3, 7, 10 y 14 (Figura 2) para así determinar el movimiento de agua en el perfil. Los datos no se utilizaron por problemas en el sistema de recolección de data del tensiómetro. Se le aplicó aproximadamente 2.55 cm agua/ha/semana. Se aplicó riego siempre y cuando no había llovido en el área dos o tres días antes. Se utilizó un sistema meteorológico (Watch Dog WD 2700) que se instaló un año antes del experimento, para así determinar cada uno de los parámetros del clima en la finca tales como precipitación, velocidad de viento, ráfagas de vientos, temperatura máxima y mínima, intensidad de luz.

Se escogieron 10 plantas del interior de la parcela y a cada planta se muestreó la tercera hoja más joven (de arriba hacia abajo) con el fin determinar la concentración de N en la hoja al séptimo mes después de la siembra. De cada hoja se sacaron 12 muestras; cuatro submuestras en la punta de la hoja, cuatro submuestras en el medio de la hoja y

cuatro submuestras de la base de la hoja y se enviaron al laboratorio para determinar la concentración de N en la hoja. Se utilizó un medidor de clorofila SPAD-502 para determinar si el valor de SPAD es un indicador de la concentración de N en la hoja y poder detectar si la hoja tiene alguna deficiencia de N y hacer una recomendación de fertilización de N. Se determinó el número de hojas, diámetro del tallo a una altura 1.4 m del suelo y altura de la planta en cada una de las plantas experimentales escogidas al sexto y noveno mes después de la siembra.

Se seleccionaron diez plantas de cada parcela en forma aleatoria para cuantificar el número y peso de frutos. Cada racimo se pesó individualmente y se separaron los frutos comerciales y no comerciales basados en una apreciación visual. Los frutos comerciales se clasificaron como tal basado en un estimado de 300 g o más y los no comerciales basado en un estimado de 300 g o menos. Para cada variable, se obtuvo un promedio de los diez racimos y se extrapoló a la unidad de una hectárea. Cuando no había diez racimos para cosechar, la extrapolación se basó en el número de plantas cosechadas.

Cada planta se dividió en hojas, pseudotallos y frutos. Se cuantificó el peso fresco de cada componente de la planta. Se obtuvo una muestra representativa de cada componente para la determinación de la humedad por medio de la pérdida de peso a 60°C. Luego de secado de cada componente, se cuantificó la concentración de N en el tejido en un laboratorio comercial. La extracción de N por la planta se realizó basado en el producto del peso seco (kg/ha) y la concentración de N (%).

Se utilizó el programa de INFOSTAT versión estudiantil 2005 (Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, República de Argentina) para

realizar todas los análisis estadísticos realizando la prueba de ANOVA para las variables de tratamientos bajo estudio antes mencionados.

Se realizó un análisis económico de ingresos y gastos para obtener los costos estimados para la producción de plátanos, costo por planta y los diferentes costo por la aplicación de 100, 200, 300 y 400 kg N/ha. Los costos por los materiales y labor fueron obtenidos por Pan American Fertilizer, Agroservicios e información provista por Agro. Jorge Frau propietario de la Finca Magdalena al momento del experimento.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Análisis de suelo

Los resultados de las pruebas de fertilidad de suelos en las parcelas experimentales muestran que los mismos son alcalinos con un pH promedio de 8.0, con un nivel intermedio de 2.6% de materia orgánica, alta saturación de bases y alta capacidad de intercambio catiónico de 32 cmol<sub>c</sub>/kg (Cuadro 4) según las clasificaciones sugeridas por (Muñiz Torres, 1992). Una muestra representativa de esa serie tiene una textura arcillosa, pobre drenaje y una densidad aparente de 1.4g/cm<sup>3</sup> (USDA-SCS, 1977). Hubo una tendencia a que los niveles de fertilidad del suelo se redujo con el nivel de manejo en este experimento (Cuadro 5).

Cuadro 4: Propiedades químicas del suelo en las parcelas experimentales, previo a la siembra y a una profundidad de 0-15 cm.

Tratamiento	Materia Orgánica %	NO <sub>3</sub> -N mg/kg	P mg/kg	K cmol <sub>c</sub> /kg	Mg cmol <sub>c</sub> /kg	Ca cmol <sub>c</sub> /kg	Na cmol <sub>c</sub> /kg	pH	Total CIC cmol <sub>c</sub> /kg
100	2.55	35	5	0.66	6.33	30.60	0.28	8.0	37.8
200	2.72	33	6	0.54	5.85	24.40	0.30	8.0	31.0
300	2.60	31	6	0.55	5.15	23.94	0.31	8.0	29.9
400	2.60	34	5	0.47	5.36	22.88	0.28	8.0	29.2
Media	2.62	33.06	5.56	0.55	5.67	25.45	0.29	8.01	31.96

Cuadro 5: Propiedades químicas del suelo en las parcelas experimentales posterior de la siembra y a una profundidad de 0-15cm.

Tratamiento	Materia Orgánica %	NO <sub>3</sub> -N mg/kg	P mg/kg	K cmol <sub>c</sub> /kg	Mg cmol <sub>c</sub> /kg	Ca cmol <sub>c</sub> /kg	Na cmol <sub>c</sub> /kg	pH	Total CIC cmol <sub>c</sub> /kg
100	2.8	10	5	0.53	7.30	31.85	0.44	8.2	39.8
200	3.2	12	6	0.63	7.88	33.24	0.36	8.2	41.9
300	2.9	12	5	0.58	7.51	33.03	0.47	8.2	41.4
400	2.6	11	4	0.51	7.10	31.57	0.40	8.2	39.5
Media	2.88	11.13	4.88	0.56	7.45	32.42	0.42	8.20	40.65

El contenido de  $\text{NO}_3\text{-N}$  extraíble a una profundidad de 30 cm previo a la siembra fue de 147, 120, 126 y 130 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  para los tratamientos 100, 200, 300 y 400 kg N/ha, respectivamente. No hubo diferencias significativas en el  $\text{NO}_3\text{-N}$  extraíble en el suelo del muestreo inicial entre los cuatro tratamientos, con un promedio de 137 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ . No hubo diferencias significativas en el  $\text{NO}_3\text{-N}$  extraíble en el suelo del muestreo final entre los cuatro tratamientos, con un promedio de 29 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ . Las concentraciones de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en los primeros 30 cm del suelo del principio al final se redujeron en promedio 108 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ . El contenido de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en el perfil del suelo (120 cm de profundidad) al inicio de la experimentación fue de un promedio de 287 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  y al final de la experimentación fue de un promedio de 65 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ .

La concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en el suelo disminuyó con aumento en la profundidad del suelo en todos los tratamientos antes (Figura 3) y después (Figura 4) del experimento. De igual manera la concentración de la materia orgánica disminuyó mientras aumentó la profundidad del suelo antes (Figura 5) y después de la siembra (Figura 6).

Se realizó un estimado de la capacidad del suelo suplir N basado en el contenido de M.O. del suelo a una profundidad de 30 cm, una densidad aparente de  $1.4 \text{ g/cm}^3$  y una tasa de descomposición de 4%. El estimado de N que suple la M.O. del suelo fue de 212, 207, 210 y 210 kg N para los tratamientos 100, 200, 300 y 400 kg N/ha con un promedio de 210 kg N/ha a 30 cm de profundidad. El estimado de N por la M.O. al final la experimentación a los 30 cm del suelo fue de 193, 176, 193 y 168 kg N/ha en los cuatro tratamientos bajo estudio con un promedio de 182 kg N/ha.

Figura 3: Concentración de NO<sub>3</sub>-N extraíble con solución KCl antes de la siembra.

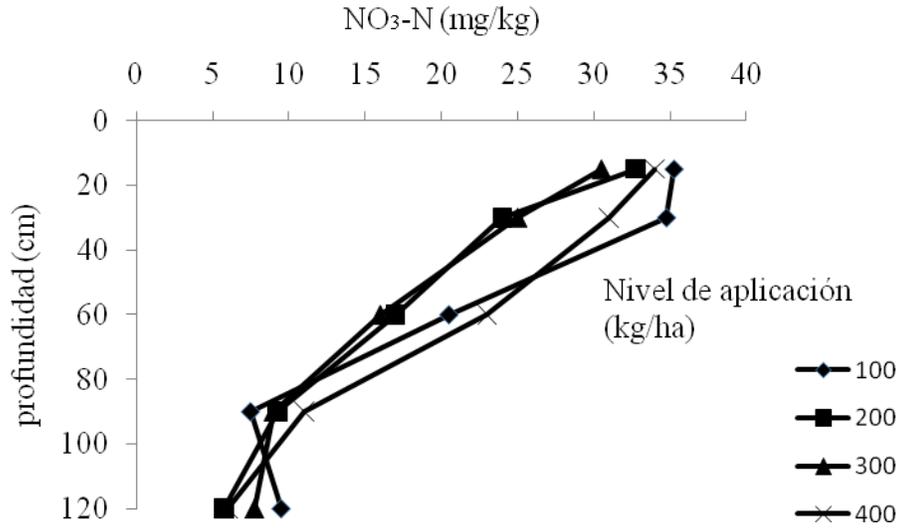


Figura 4: Concentración de NO<sub>3</sub>-N extraíble con solución KCl posterior a la cosecha.

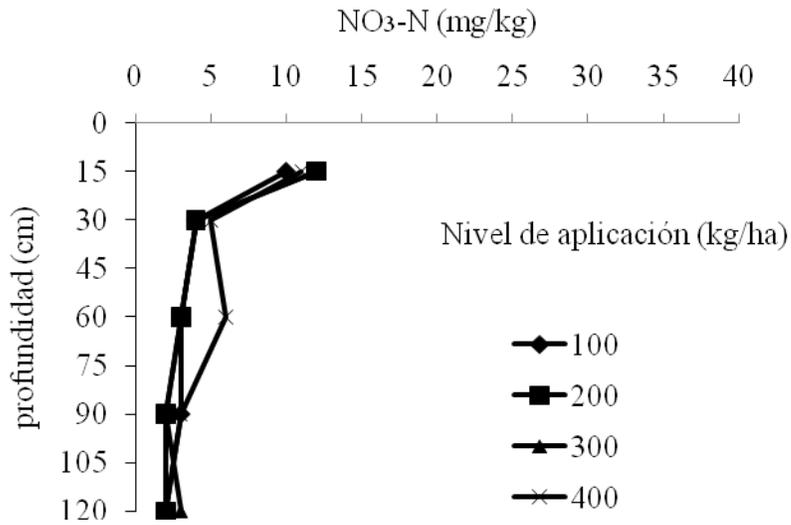


Figura 5: Porcentaje de materia orgánica antes de la siembra.

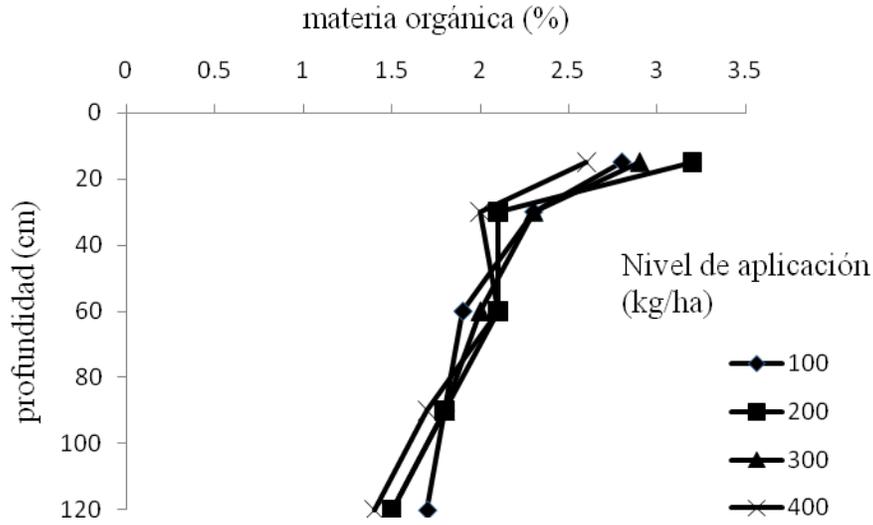
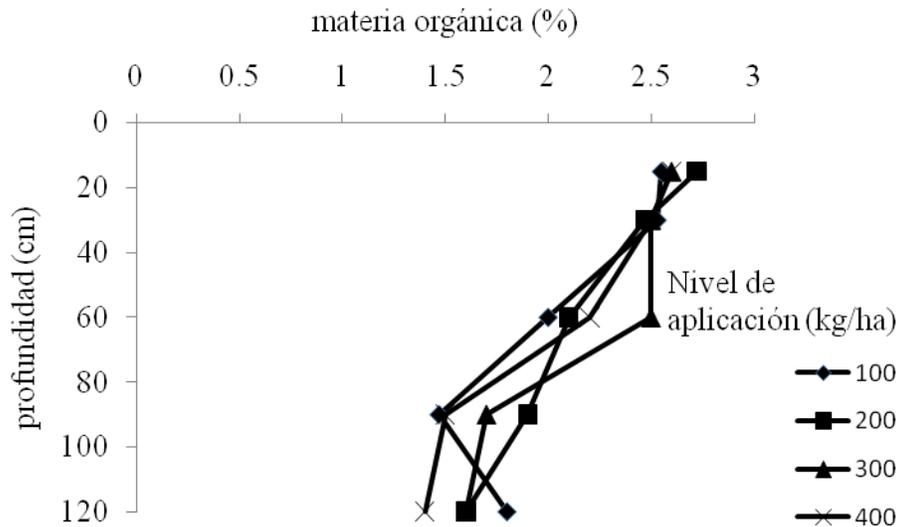


Figura 6: Porcentaje de materia orgánica posterior a la siembra.



El contenido de P extraíble con la solución Olsen-bicarbonato del suelo a una profundidad de 30 cm fue de 11.12 mg P/kg (Figura 7) y el contenido de K extraíbles con acetato de amonio fue de 1.10 cmol<sub>e</sub>/kg (Figura 8) antes de la siembra. El contenido de P y K extraíbles luego de la cosecha fue de 9.76 mg P/kg (Figura 9) y 1.12 cmol<sub>e</sub>/kg

(Figura 10), respectivamente. Los valores están por debajo de niveles críticos sugeridos por lo que se recomienda la aplicación de P para evitar posibles reducciones en el rendimiento del cultivo.

Figura 7: P extraíble con la solución Olsen-bicarbonato antes de la siembra.

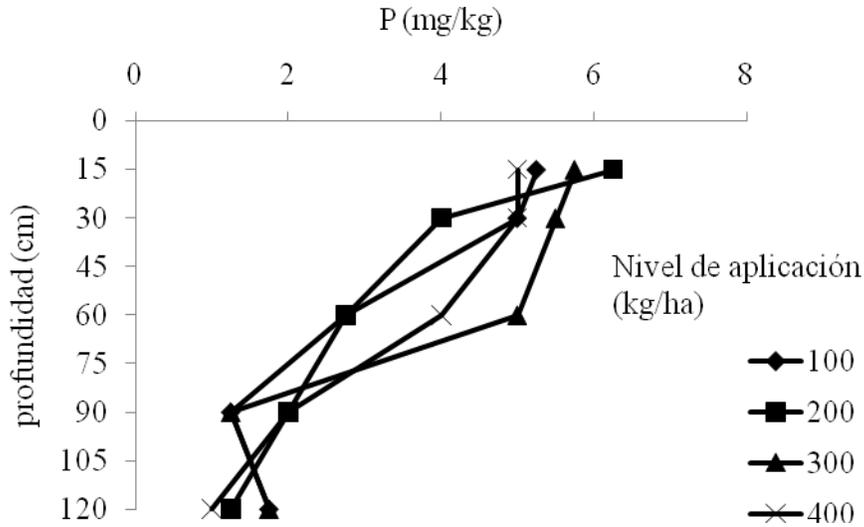


Figura 8: K extraíble con acetato de amonio antes de la siembra.

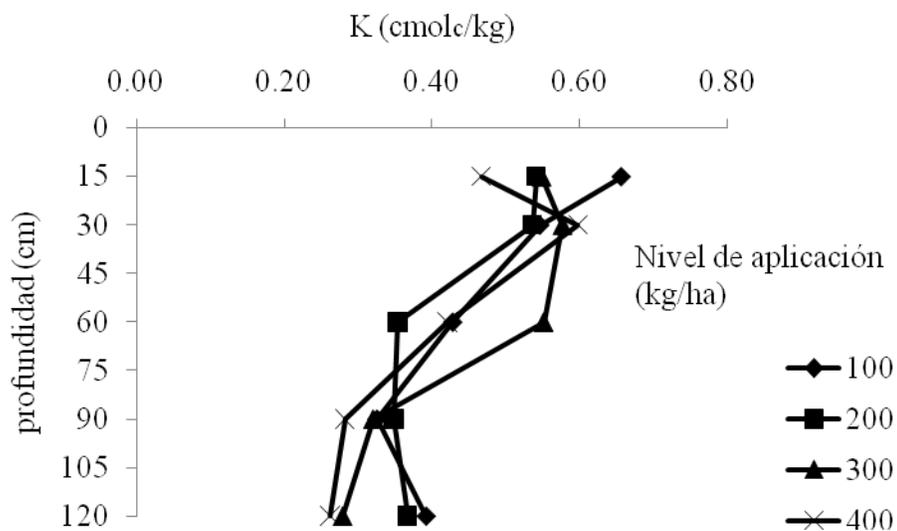


Figura 9: P extraíble con la solución Olsen-bicarbonato posterior a la siembra.

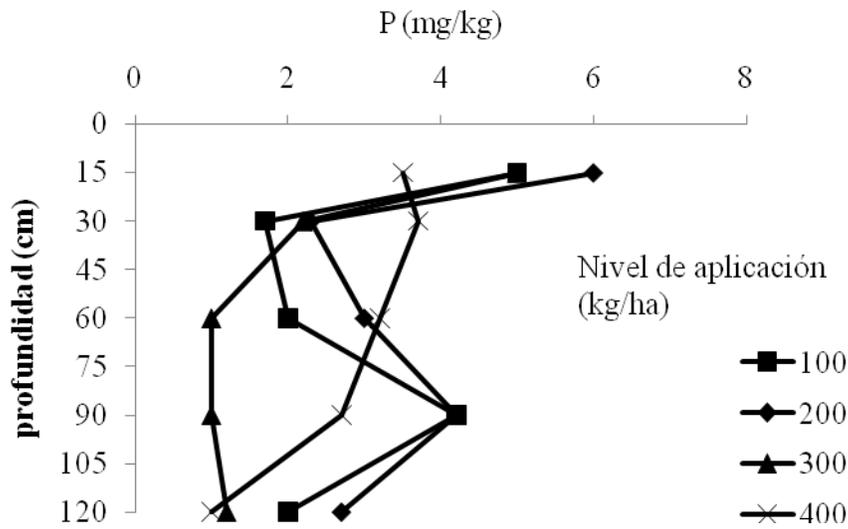
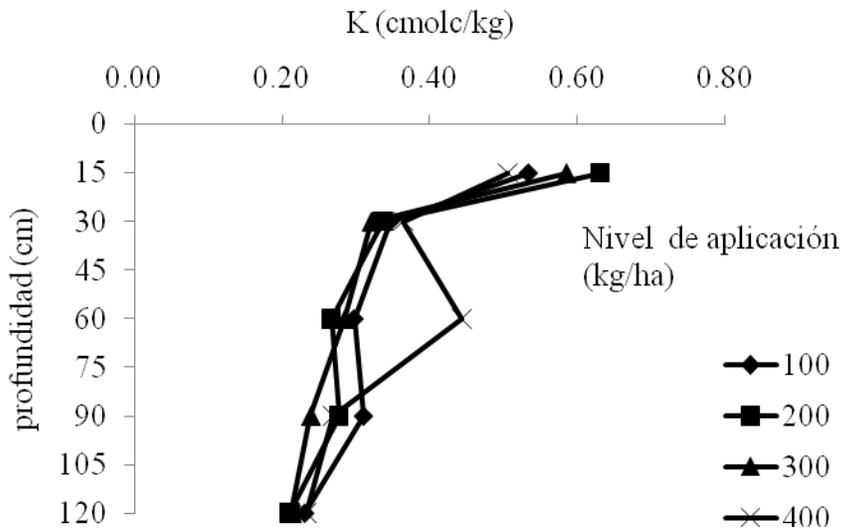


Figura 10: K extraíble con acetato de amonio posterior a la siembra.



## 4.2 Rendimientos

La cosecha se realizó a los 13 meses después de la siembra ó 120 días después de la florecida. El nivel de fertilización con N no afectó las variables de respuesta ( $p>0.05$ ) (Cuadro 7): número de frutos totales (frutos/ha), número de frutos comerciales (frutos/ha), número de frutos no comerciales (frutos/ha), peso total (kg/ha), peso de frutos comerciales (kg/ha), peso de frutos no comerciales (kg/ha), peso por fruto total/fruto (g/fruto), peso por fruto comercial/fruto (g/fruto) y peso por fruto no comercial/fruto (g/fruto) (Cuadro 6). Se obtuvo un promedio de 132,969 frutos totales/ha, 81,957 frutos comerciales/ha, 49,976 frutos no comerciales/ha. Un rendimiento de 44,992 kg frutos totales/ha, 29,331 kg frutos comerciales/ha y 12,833 kg frutos no comerciales/ha, 353 g frutos totales/fruto, 358 g frutos comerciales/fruto y 253 g frutos no comerciales/fruto.

Vicente-Chandler y Figarella (1962) encontraron respuesta a la aplicación con 224 kg N/ha con un rendimiento de 21,455 kg/ha y 75,458 frutas/ha con una densidad de 1,976 plantas/ha en un suelo de la serie Catalina en Orocovis. Caro-Costas et. al. (1964) encontraron respuesta a la aplicación de 224 kg N/ha con unos rendimientos de 20,748 kg/ha y 73,680 frutas/ha en un suelo de la serie Cialitos en Orocovis. Del Valle et. al. (1977) reportaron que los mayores rendimientos se encontraron con aplicaciones de 224 kg N/ha en bandas en un suelo Ultisol en la Subestación de Corozal con un rendimiento de 56,871 kg/ha y 176,883 frutas totales/ha.

Samuels et. al. (1978) en un suelo de la serie San Antón reportaron que el nivel óptimo de aplicación de N fue de 168 kg N/ha y 336 kg K<sub>2</sub>O/ha. Mis resultados están por debajo de los niveles óptimos reportados por Samuels et. al. (1978), y es el estudio que

mejor se puede comparar con este trabajo debido a la similitud en el manejo y el tipo de suelo utilizado.

Los resultados en los rendimientos y en los componentes de rendimiento encontrados en este estudio están de acuerdo con los obtenidos en otros trabajos publicados. Por ejemplo, Irizarry et. al. (1980b) reportaron 86,400 frutas/ha en Gurabo y 113,000 frutas/ha en Corozal. Irizarry et. al. (1980a) reportaron 133,900 frutos totales/ha (107,100 frutos comerciales/ha) y 29,700 kg/ha en Gurabo y 153,600 frutas totales/ha (122,900 frutos comerciales/ha) y 36,200 kg/ha con densidades de 3,460 plantas/ha. Samuels et. al. (1978) reportó que el rendimiento óptimo se obtuvo con la aplicación de 168 kg N/ha en un Molisol de la zona sur de Puerto Rico, obteniendo 154,000 frutas totales/ha y un rendimiento total de 44,932 kg/ha. Goenaga et. al. (1995) reportaron en su experimento en la zona semiárida de Puerto Rico 88,597 frutos comerciales/ha. Díaz Rivera (2007) reporta que el rendimiento estimado es de 96,520 frutas/ha.

Cuadro 6: Influencia de los cuatro niveles de N sobre el rendimiento de plátanos en la Finca Magdalena en la zona semiárida del sur de Puerto Rico.

kg N/ha	#frutos/ha	Total		Frutos Comerciales			Frutos No Comerciales		
		kg/ha	g/fruto	#frutas/ha	kg/ha	g/fruto	#frutos/ ha	kg/ha	g/fruto
100	137086	44879	330	83119	30211	350	51202	12707	240
200	130593	42009	330	69282	25095	350	63506	16174	250
300	127878	48324	350	97148	34625	380	30179	8305	270
400	136319	44755	400	78277	27391	350	55016	14144	250
Promedio	132969	44992	353	81957	29331	358	49976	12833	253

Cuadro 7: Valores de ANOVA para cada una de las variables de respuestas bajo estudio.

VARIABLES DE RESPUESTAS	F	Valor de p
rendimiento total	1.79	0.2188
no. frutas totales/ha	0.80	0.5222
no. frutas comerciales/ha	0.79	0.5288
no. frutas no comerciales/ha	1.80	0.2175
peso frutos comerciales/ha	0.66	0.5991
peso frutos no comerciales/ha	2.06	0.1765
peso total/fruto	2.25	0.1517
peso fruto comercial/fruto	0.22	0.8804
peso fruto no comercial/fruto	0.75	0.5493

### 4.3 Crecimiento del Cultivo

Los datos de crecimiento y desarrollo del cultivo se determinaron al sexto y noveno mes después de la siembra para cada uno de los cuatro niveles del N en cada una de las subparcelas experimentales. No hubo diferencias significativas entre tratamientos en términos de número de hojas, altura y diámetro del tallo de la planta, al sexto (Cuadro 8) ni al noveno mes (Cuadro 9) después de la siembra. El crecimiento máximo de la planta fue alcanzado a los 9 meses después de la siembra. En el décimo mes después de la siembra las plantas empezaron a florecer.

Cuadro 8: Indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo del plátano al sexto mes después de la siembra.

Tratamiento	Diámetro (cm)	Número de hojas	Altura (m)
100	15	12	2.12
200	15	12	2.18
300	15	13	2.11
400	15	13	2.15
Media	15	13	2.14

Cuadro 9: Indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo del plátano al noveno mes después de la siembra.

Tratamiento	Diámetro (cm)	Número de hojas	Altura (m)
100	16	12	2.29
200	16	11	2.24
300	17	11	2.35
400	17	12	2.29
Media	17	12	2.29

#### 4.4 Análisis foliar

No hubo diferencias significativas entre los cuatro niveles de N con relación a la concentración de N en la hoja indicadora (Cuadro 10). En promedio, la concentración de N en la hoja indicadora fue de 2.74 %. Los valores reportados en esta tesis están por debajo de los reportados en otros trabajos publicados en Puerto Rico. Por ejemplo, Irizarry et. al. (1980b) concluyeron que para tener una producción óptima los valores de N en la lámina de la tercera hoja de arriba hacia abajo a los siete meses después de la siembra debe ser entre 3.2 a 3.9 %. Samuels et. al. (1978) encontraron rendimientos máximos con valores de 3.50% de N en la hoja. Vicente-Chandler y Figarella obtuvieron mayores rendimientos con 2.80% de N en la hoja en un experimento en un Ultisol de Corozal. En el mismo suelo Caro-Costas et. al (1962) obtuvieron los mayores rendimientos con 3.47% de N en la hoja indicadora.

Cuadro 10: Concentración de N en la hoja indicadora a los siete meses después de la siembra.

Tratamiento	% N
100	2.78
200	2.75
300	2.71
400	2.72
Media	2.74

#### 4.5 Valores de clorofila a determinados con el medidor de clorofila (SPAD-502)

No hubo diferencias significativas entre los valores de SPAD-502 en ningunos de los cuatro tratamientos de N al suelo (Cuadro 11). No hubo diferencias significativas entre la localidad de la hoja entendiéndose entre la punta, medio o base de la hoja del plátano, o sea, no tiene efecto la localidad de muestreo en la hoja para determinar el contenido de clorofila presente en la hoja (Apéndice A).

Cuadro 11: Valor de SPAD en cada uno de los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Valor de SPAD
100	47.05
200	45.65
300	47.63
400	46.93
Media	46.82

#### 4.6 Concentración de N en las diferentes partes de la planta y extracción de N

A los 13 meses después de la siembra se obtuvieron los datos de extracción de N en el fruto, las hojas y el tallo con un total de materia seca de 36,008 kg/ha. No hubo diferencias significativas en el contenido de N en ninguna de las partes de la planta, en

ninguno de los cuatro tratamientos de N aplicados en las parcelas experimentales. En promedio el cultivo extrajo 105 kg N/ha en el fruto, 91 kg N/ha en las hojas y 38 kg N/ha en el tallo, para un total de 234 kg N/ha (Cuadro 12). Irizarry et. al. (1980b) cuantificaron valores totales de extracción de 249 kg N/ha en el fruto, pseudotallo y hojas, extrayendo así 88 kg N/ha en el fruto, 68 kg N/ha en las hojas y 46 kg N/ha en el pseudotallo. Los valores de extracción de mi estudio son similares a los valores reportados por Irizarry et. al. (1980b). Los valores promedios de extracción total y de extracción en el fruto, demuestran que si se aplica el nivel óptimo de fertilización de 100 kg N/ha, se estará reponiendo solamente el N que está en el fruto. El restante 134 kg N/ha, tendrá que venir del N residual del suelo, N asociado a la materia orgánica y mineralizado durante el período de crecimiento, N proveniente del agua de riego, y N asociado a residuos vegetativos anteriores. Es posible que la recomendación de N sea mayor de los 100 kg N/ha para evitar minar el N del suelo y no reducir la sustentabilidad del sistema suelo-planta.

Cuadro 12: Extracción de N en cada una de las partes de la planta del plátano.

Biomasa Seca				
(kg/ha)				
Tratamiento	hoja	tallo	fruto	Total
100	5753	9844	20139	35736
200	5888	9979	18926	34793
300	5798	10205	21623	37626
400	5933	9889	20048	35870
Media	5844	9979	20185	36008

concentración				
(%)				
Tratamiento	hoja	tallo	fruto	Total
100	1.53	0.27	0.48	2.28
200	1.48	0.43	0.65	2.56
300	1.66	0.36	0.51	2.53
400	1.59	0.5	0.44	2.53
Media	1.57	0.39	0.52	2.48

contenido				
(kg/ha)				
Tratamiento	hoja	tallo	fruto	Total
100	88	26	95	209
200	86	42	123	251
300	95	36	109	240
400	94	48	88	230
Media	91	38	105	234

#### 4.7 Climatología, riego y NO<sub>3</sub>-N en el riego

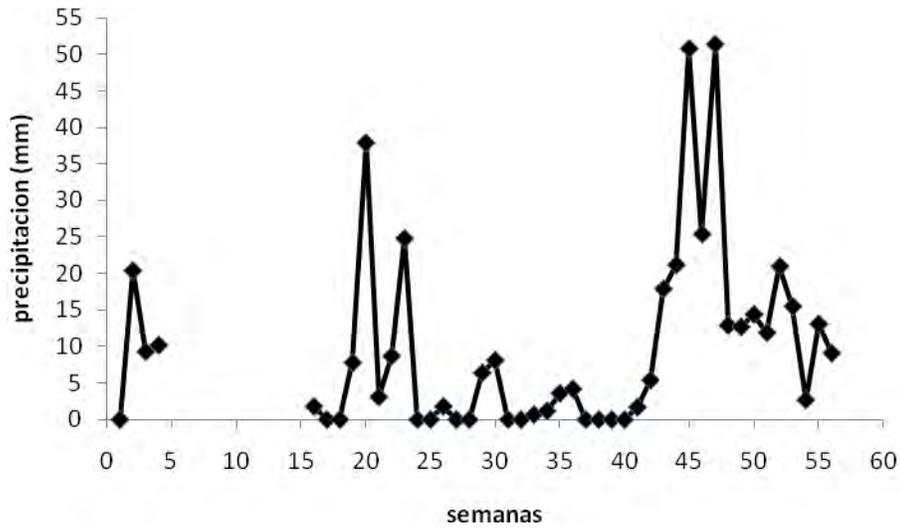
Los datos climatológicos se obtuvieron durante la experimentación por una Estación Meteorológica (Watch Dog WD 2700) instalada en la Finca Magdalena desde junio 2004 hasta julio 2005. La temperatura máxima promedio de 27<sup>0</sup>C y una temperatura mínima de 21<sup>0</sup>C. Se reflejó una precipitación promedio anual de 479 mm, una humedad relativa promedio de 70.8%, una radiación solar promedio de 256.5 Watts/m<sup>2</sup> y velocidad de viento promedio diario de 4.0 km/h (Cuadro 13). Por medio de estos datos en la zona semiárida de Puerto Rico se le hizo al cultivo una aplicación de agua a través riego por

goteo de aproximadamente de 1,428 mm. En promedio la cantidad de lluvia reportada en el experimento fue de 479 mm o sea que aproximadamente el cultivo recibió un total de 1,907 mm de agua. Irizarry et. al. (1980b) reportaron 1,650 mm de precipitación/año en un suelo Corozal en la Estación Experimental de Corozal y 1450 mm de precipitación en un suelo Mabi en la Estación Experimental de Gurabo. Abruña et. al. (1980) reportó un total de precipitación de 1,500 mm y según el mismo trabajo el plátano puede tolerar cantidades de agua de 1,500 a 3,000 mm de agua/año. La cantidad del agua total recibida en este proyecto es razonable para un óptimo rendimiento. Aunque Goenaga et. al. (1995) en su experimento aplicó un total de agua por riego por goteo entre 529 a 2,652 mm para un factor de evapotranspiración potencial entre 0.25 a 1.25 para obtener los máximos rendimientos.

Basada en los datos recopilados y manejo del riego yo estimo que se regó aproximadamente 2.55 cm de agua/ha/semanal por el riego. Basado en los resultados de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en el agua de riego por Colón et. al. (2003), estimo que la aportación de N en el agua de riego fue de 72.3 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  /ha durante los 13 meses que estuvo el cultivo bajo riego.

El  $\text{NO}_3^-$  es soluble en agua por lo tanto cuando el movimiento de agua en el suelo es alto aumenta la pérdida por lixiviación. Los factores que afectan la magnitud de lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  son la frecuencia, tiempo y método de fertilización, la intensidad con la que el cultivo absorbe el N, propiedades físicas del suelo que afectan la percloración y la cantidad de precipitación y/o riego aplicado (Havlin et. al., 1999).

Figura 11: Precipitación semanal en la Finca Magdalena durante experimentación.



Datos desde la semana 5 a la 15 no presentados por que la estación meteorológica estaba fuera de servicio

Cuadro 13: Datos Climatológicos de la Finca Magdalena durante la experimentación.

Mes	Temperatura ( <sup>0</sup> F)		Lluvia (mm)	Humedad Relativa (%)	Radiación Solar (Watt/m <sup>2</sup> )	Velocidad Viento (km/h)
	Máxima	Mínima				
Junio 2004	89.6	73.6	39.9	70.4	249.0	5.8
Julio 2004	No Data (Estación Fuera de Servicio)					
Agosto 2004	No Data (Estación Fuera de Servicio)					
Septiembre 2004	89.3	73.1	1.8	76.7	232.9	3.1
Octubre 2004	89.5	72.8	45.7	73.6	275.9	4.7
Noviembre 2004	87.5	70.3	36.6	68.1	226.1	4.2
Diciembre 2004	87.8	67.9	1.8	68.8	277.8	3.2
Enero 2005	85.7	67.7	14.5	64.8	246.0	4.2
Febrero 2005	85.4	64.2	9.7	62.9	277.3	3.9
Marzo 2005	88.9	68.4	0.0	66.4	297.3	4.5
Abril 2005	90.3	73.0	46.2	68.7	247.0	3.9
Mayo 2005	89.2	74.2	140.5	74.7	302.5	3.1
Junio 2005	89.8	74.4	63.0	76.9	260.7	3.5
Julio 2005	90.0	74.4	40.4	78.1	285.2	3.7

#### **4.8 Análisis económico**

El precio de venta para frutos comerciales de \$0.20/fruto se calculó el ingreso bruto para cada uno de los tratamientos. La producción de plátanos en la Finca Magdalena reflejó un ingreso promedio de \$16,380.20/ha con un promedio 81,901 frutos comerciales/ha (Cuadro 14).

El total de gastos estimados para la producción de plátanos en el experimento fue de \$7,026.16/ha (Cuadro 15), con un 26.48% de los gastos fue costos por labor, un 53.78% de los gastos fueron por la compra de los diferentes materiales y un 19.74% por otros gastos. En resumen, el ingreso neto promedio fue de \$9,354.04 y un costo de \$2.84 por planta.

El costo de los fertilizantes fueron de \$1,827.67 y el costo por la aplicación fue de \$650.00. Analizando los costos de los diferentes tratamientos de N aplicados 100, 200, 300 y 400 kg N/ha conllevó a unos costos de \$121.80, \$243.58, \$365.25 y \$497.31/ha respectivamente utilizando urea y sulfato de amonio. Con un costo de \$0.59/kg urea y \$0.24/kg S.A.(\$0.83/kg N). Hubo unas ganancias en promedio de \$10,265.22/ha al aplicar 100 kg N/ha.

Cuadro 14: Rendimientos e ingresos estimados obtenidos para cada uno de los tratamientos aplicados en la parcela experimental en la Finca Magdalena en el sur de Puerto Rico.

Tratamiento	Frutas Comerciales	Ingresos(\$/ha)
100	83,119	16,623.80
200	69,208	13,841.60
300	96,998	19,399.60
400	78,277	15,655.40
Promedio	81,901	16,380.40

Cuadro 15: Costos aproximados de la producción de plátanos por hectáreas en la Finca Magdalena.

Artículo	Costo por unidad (U.S. \$)	Unidades	Costo (U.S. \$)
<b>Labor</b>			
1. Preparación del Terreno	6.50	24 hrs	156.00
2. Siembra	5.15	24 hrs	123.60
3. Preparación de la semilla	5.15	48 hrs	247.20
4. Aplicación de fertilizantes	6.50	100 hrs	650.00
5. Aplicación de herbicidas	5.15	24 hrs	123.60
6. Instalación de tensiómetros	6.50	5 hrs	32.50
7. Remoción de hojas muertas	5.15	16 hrs	82.40
8. Cosecha y Clasificación de frutos	6.50	40 hrs	260.00
9. Otras labores	5.15	36 hrs	185.40
Total de Gastos por labor			1860.70
<b>Materiales</b>			
1. Fertilizantes (para todos los tratamientos)			
Urea	26.95	23.90 quintales	644.45
Sulfato de amonio	10.95	52.38 quintales	573.56
Muriato de potasio	19.40	8.60 quintales	167.19
Sulfato de potasio	31.07	7.50 quintales	232.21
Acido fosfórico	72.00	14 gal	153.28
Superfosfato Triple	39.50	0.70 quintales	28.33
Keyplex	28.65	2.5 gal	28.65
2. Semilla	0.50	2472 semillas	1236.00
3. Herbicidas	70.00	5 gal	140.00
4. Sistema de Riego			475.00
5. Instalación de sistema de riego			100.00

Cuadro 16: Costos aproximados de la producción de plátanos por hectáreas en la Finca Magdalena (Continuación)

Artículo	Costo por unidad (U.S. \$)	Unidades	Costo (U.S. \$)
Total de Gastos por materiales			3778.67
Otros Gastos			
1.Electricidad			180.00
2.Agua de Riego			120.00
3.Uso de Equipo			400.00
4.Pago S.S, FSE, Desempleo y Contribuciones			243.94
5.Costo de la tierra			142.85
6.Combustible y Aceite			300.00
Total de Otros Gastos			1386.79
Total Gastos			7026.16

## 5. Conclusiones

1. No hubo diferencias significativas en los rendimientos y sus componentes con la aplicación de 100, 200, 300 y 400 kg N/ha.
2. En términos económicos y ambientales se recomienda la aplicación de 100 kg N/ha para obtener rendimientos adecuados a unos costos razonables. Con estos niveles de aplicación se estará reponiendo solamente el N que se remueve en el fruto y dependerá de otras fuentes para suplir N para la planta.
3. La concentración de N en la hoja indicadora a los siete meses fue 2.74 %.
4. No hubo diferencias significativas en el contenido de N en ninguna de las partes de la planta (fruto, pseudotallo, hojas) extrayendo en promedio 234 kg N/ha (105 kg N/ha en el fruto, 91 kg N/ha en el pseudotallo y 38 kg N/ha en las hojas).
5. La no respuesta a la aplicación de N para ninguna de las variables de respuestas pudo ser por el contenido residual de N al inicio del experimento en el perfil del suelo, por el contenido de N potencialmente mineralizable y por el contenido de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en el agua de riego.
6. Los resultados del experimento sugieren una aplicación de 100 kg N/ha en presencia de 75 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 450 kg  $\text{K}_2\text{O}$  utilizando urea y sulfato de amonio como fuente de N, muriato de potasio y sulfato de potasio como fuente de potasio y ácido fosfórico y superfosfato triple como fuente de fósforo para este tipo de suelo.

## 6. Literatura Citada

- Abruña, F., J. Vicente-Chandler, H. Irizarry y S. Silva, 1980. Evapotranspiration with plantains and the effect of frequency of irrigation on yield. J. Agric. Univ. P. R. 64(2): 204-210.
- Bracete, J. M., 2003. Mineralización de nitrógeno en un vertisol enmendado con composta. Tesis. Departamento de Agronomía y Suelos. Disponible en <http://grad.uprm.edu>.
- Caro-Costas, R., 1964. Response to fertilization of strip cultivated plantains growing on step latosol in a humid mountain region of Puerto Rico. J. Agric. Univ. P. R. 48(4): 312-317.
- Caro-Costas, R., F. Abruña y J. Figarella, 1972. Effect of nitrogen rates, harvest interval and cutting height on yield and composition of star grass of Puerto Rico. J. Agric. Univ. P.R. 56:267-279.
- Colón, W., D. L. Orihuela y J. A. Delgado, 2003. Irrigation Water Quality in Southern Puerto Rico. Universidad del Este, Universidad de Huelva y USDA-ARS, Fort Collins, CO.
- Del Valle, R.J., T.W. Scott, J. Rodríguez y M.A. Lugo-Lopez, 1977. Response of plantains to banded and broadcast N and to P Application of planting and to Residual P on an Ultisols. J. Agric. Univ. P. R. 62(1): 29-37.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2005. Ingreso bruto agrícola. Oficina de Estadísticas Agrícolas. Departamento de Agricultura, Gobierno de Puerto Rico.
- Díaz-Rivera, M., 2007. Hoja Técnica del Cultivo del Plátano. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

- Estación Experimental Agrícola, 1995. Conjunto Tecnológico para la Producción de Plátanos y Guineos. Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico.
- Goenaga, R., H. Irizarry and E. González, 1993. Water requirement of plantains (*Musa acuminata x Musa balbisiana AAB*) grown under semiarid conditions. *Tropical Agriculture* 70(1): 3-7.
- Goenaga, R., H. Irizarry, B. Coleman y E. Ortiz, 1995. Drip irrigation recommendation for plantains and bananas grown on the semiarid southern coast of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 79(1-2): 13-27.
- Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L. y Nelson W. L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Sixth Edition. Nitrogen: pp 86- 153.
- Hernandez- Medina, y M. A. Lugo- López, 1969. Effect of minor nutrient elements and magnesium upon the growth, development, and yields of plantains, *J. Agric. Univ. P. R.* 53(1): 33-40.
- Irizarry, H., J. Rodríguez García y N. Díaz, 1980 (a). Effect of three population densities and fertilizer levels on yield of high yielding clones of Plantains at two locations. *J. Agric. Univ. P.R.* 65(4): 395-400.
- Irizarry, H., E. Rivera y J. Rodríguez, 1980 (b). Nutrient uptake by intensively managed plantains as related to stage of growth at two locations. *J. Agric. Univ. P.R.* 65(4): 331-345.
- Muñiz Torres, O 1992. *Uso de fertilizantes en Puerto Rico. Enfoques Prácticos. Guía Técnica SEA, UPR-RUM*

- Nacional Agricultural Statistics Service, 2002. United States Department of Agricultura.  
[http://www.nass.usda.gov/Census\\_of\\_Agriculture/index.asp](http://www.nass.usda.gov/Census_of_Agriculture/index.asp).
- Perez-Escolar, R. and M. Lugo- Lopez, 1979. The effect of soil pH and related acidity factors on yield of plantains grown on Los Guineos clay, an Ultisol, J.Agric.Univ. P.R. 63(1) 22-6.
- Rodriguez-Garcia, J., E. Rivera y F. Abruña, 1984. Crop response to soils acidity factors in Ultisols and Oxisols in Puerto Rico Plantains and Bananas. J. Agric. Univ. P.R. 69(3): 377-380.
- Samuels, G., E. Orengo-Santiago y A. Beale, 1978. Influence of fertilizer on the production of plantains with irrigation. J. Agric. Univ. P.R. 62(1): 1-9.
- Samuels, G., Hernandez, E. y Torres, S., 1975. Response of plantain to magnesium fertilizer in an Ultisol, J. Agric. Univ. P. R. 59 (3): 233-35.
- Santiago, M, 1984. Efecto de aplicaciones de nitrógeno y potasa sobre el rendimiento optimo, composición foliar, calidad de la fruta y otras características del banano Grand Nain abonado via riego por goteo. Disponible en:  
<http://unilib.uprm.edu/uhtbin/cgisirsi.exe/x/0/0/123>.
- Sotomayor-Ramírez, D., and R. Macchiavelli. 2002. Interpretations of field fertility research on solanacea in Puerto Rico. J. Agric. Univ. P.R. 86: 95-116.
- Stanford, G y S.J., Smith, 1972. Nitrogen mineralization potencial soils. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 36:465-472.
- United States Department of Agriculture, Soils Coservation Service. Soil Survey of Humacao Area of Eastern Puerto Rico. <http://www.nrcs.usda.gov>.

Vicente-Chandler, J., Silva y Rodriguez, J, 1959. Effect of nitrogen fertilization of cutting on the yields of: I, Napier grass Pangola grass, II, Guinea grass, III, Para grass. J. Agric. Univ. P. R. 43: 215-248.

Vicente-Chandler, J, Figarella, J, Silva, S, 1961. Effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Pangola grass in Puerto Rico. J. Agric. Univ. P. R. 45: 37-45.

Vicente-Chandler, J., y Figarella, J, 1962. Experiments in plantain production with conservation in the mountain region of Puerto Rico, J. Agric. Univ. P. R. 46 (3): 226-36.

## 7. Apéndices

### Apéndice A: Análisis de Varianza

#### Análisis de Varianza para Rendimiento del Peso Total (kg/ha)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PT kg/ha	16	0.61	0.35	8.59

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	210859345.60	6	35143224.27	2.35	0.1199
trat	80261397.11	3	26753799.04	1.79	0.2188
rep	130597948.49	3	43532649.50	2.91	0.0931
Error	134427165.63	9	14936351.74		
Total	345286511.22	15			

#### Análisis de Varianza para peso total por fruta (kg/fruta)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso total/fruto	16	0.67	0.44	13.47

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	6	0.01	3.00	0.0677
trat	0.02	3	0.01	2.25	0.1517
rep	0.03	3	0.01	3.75	0.0536
Error	0.02	9	2.2E-03		
Total	0.06	15			

#### Análisis de Varianza para el rendimiento en número de frutas total (#frutas/ha)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
#fruto/ha	16	0.40	4.7E-03	7.48

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	600927712.45	6	100154618.74	1.01	0.4738
trat	238959971.53	3	79653323.84	0.80	0.5222
rep	361967740.92	3	120655913.64	1.22	0.3580
Error	890974653.92	9	98997183.77		
Total	1491902366.37	15			

**Análisis de Varianza para el rendimiento en numero de frutos comerciales (#frutas/ha)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
#fruto comercial/ha	16	0.52	0.21	31.93

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6778622586.05	6	1129770431.01	1.65	0.2397
trat	1625189431.24	3	541729810.41	0.79	0.5288
rep	5153433154.81	3	1717811051.60	2.51	0.1247
Error	6163316670.44	9	684812963.38		
Total	12941939256.49	15			

**Análisis de Varianza para el rendimiento peso de fruto comerciales (kg/ha)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso comercial/ha	16	0.53	0.22	34.54

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1056842347.66	6	176140391.28	1.72	0.2237
trat	202022216.38	3	67340738.79	0.66	0.5991
rep	854820131.28	3	284940043.76	2.78	0.1026
Error	923594087.61	9	102621565.29		
Total	1980436435.27	15			

**Análisis de Varianza del rendimiento de peso de fruto comercial (kg/fruta)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso comercial/fruto	16	0.35	0.00	14.98

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	6	2.3E-03	0.80	0.5905
trat	1.9E-03	3	6.3E-04	0.22	0.8804
rep	0.01	3	4.0E-03	1.39	0.3076
Error	0.03	9	2.8E-03		
Total	0.04	15			

### Análisis de varianza para número de frutas no comerciales (#frutas/ha)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
# frutas no comercial/ha	16	0.71	0.52	42.27

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9842055666.47	6	1640342611.08	3.68	0.0396
trat	2407519553.38	3	802506517.79	1.80	0.2175
rep	7434536113.10	3	2478178704.37	5.55	0.0196
Error	4016559020.05	9	446284335.56		
Total	13858614686.52	15			

### Análisis de Varianza para peso no comercial/ha (kg/ha)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pesos no comercial/ha	16	0.74	0.57	36.27

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	564113378.85	6	94018896.47	4.34	0.0247
trat	133615478.17	3	44538492.72	2.06	0.1765
rep	430497900.67	3	143499300.22	6.62	0.0118
Error	194966582.55	9	21662953.62		
Total	759079961.40	15			

### Análisis de Varianza peso/fruta no comercial (kg/fruta)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso no comercial/fruto	16	0.33	0.00	17.14

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	6	1.7E-03	0.75	0.6250
trat	0.01	3	1.7E-03	0.75	0.5493
rep	0.01	3	1.7E-03	0.75	0.5493
Error	0.02	9	2.2E-03		
Total	0.03	15			

### Análisis de varianza de crecimiento de la planta (diámetro del pseudotallo)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
diámetro (m)	16	0.72	0.54	2.93

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.4E-04	6	9.0E-05	3.91	0.0334
rep	4.7E-04	3	1.6E-04	6.82	0.0108
trat	6.9E-05	3	2.3E-05	1.00	0.4363
Error	2.1E-04	9	2.3E-05		
Total	7.4E-04	15			

### Análisis de varianza de crecimiento de la planta (número de hojas)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
numero de hojas	16	0.53	0.22	3.71

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.00	6	0.33	1.71	0.2242
rep	0.75	3	0.25	1.29	0.3373
trat	1.25	3	0.42	2.14	0.1649
Error	1.75	9	0.19		
Total	3.75	15			

### Análisis de varianza de crecimiento de la planta (altura de la planta)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
altura (m)	16	0.79	0.66	3.50

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.22	6	0.04	5.78	0.0101
rep	0.20	3	0.07	10.19	0.0030
trat	0.03	3	0.01	1.37	0.3125
Error	0.06	9	0.01		
Total	0.28	15			

### Análisis de varianza entre las localidades en la base de la hoja de la planta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Base	48	0.50	0.40	7.67

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	509.57	8	63.70	4.88	0.0003
Tratamiento	23.15	3	7.72	0.59	0.6246
Repeticion	478.10	3	159.37	12.20	<0.0001
Planta	8.33	2	4.16	0.32	0.7289
Error	509.26	39	13.06		
Total	1018.83	47			

### Análisis de varianza entre las localidades en el medio de la hoja de la planta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Medio	47	0.41	0.28	8.00

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	372.05	8	46.51	3.24	0.0066
Tratamiento	20.20	3	6.73	0.47	0.7055
Repeticion	341.11	3	113.70	7.92	0.0003
Planta	10.75	2	5.37	0.37	0.6902
Error	545.28	38	14.35		
Total	917.33	46			

### Análisis de varianza entre las localidades en la punta de la hoja de la planta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Punta	48	0.37	0.24	7.95

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	307.07	8	38.38	2.87	0.0130
Tratamiento	49.75	3	16.58	1.24	0.3082
Repeticion	233.35	3	77.78	5.82	0.0022
Planta	23.97	2	11.99	0.90	0.4163
Error	521.47	39	13.37		
Total	828.54	47			

### Análisis de varianza entre el valor de SPAD y los diferentes tratamientos

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Valor SPAD	16	0.73	0.55	4.87

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	126.24	6	21.04	4.05	0.0301
tratamiento	8.32	3	2.77	0.53	0.6702
repeticion	117.91	3	39.30	7.57	0.0078
Error	46.72	9	5.19		
Total	172.96	15			

### Análisis de varianza para prueba de extracción de N en el fruto

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
fruto	12	0.62	0.31	24.02

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6862.70	5	1372.54	2.00	0.2124
tratamiento	3275.16	3	1091.72	1.59	0.2880
bloque	3587.54	2	1793.77	2.61	0.1531
Error	4127.03	6	687.84		
Total	10989.72	11			

### Análisis de varianza para prueba de extracción de N en la hoja

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
hoja	12	0.15	0.00	14.30

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2400.14	5	480.03	0.21	0.9457
tratamiento	2397.20	3	799.07	0.35	0.7904
bloque	2.94	2	1.47	6.5E-04	0.9994
Error	13656.30	6	2276.05		
Total	16056.44	11			

## Análisis de varianza para prueba de extracción de N en el tallo

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
tallo	12	0.43	0.00	32.44

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3376.22	5	675.24	0.90	0.5370
tratamiento	2282.54	3	760.85	1.01	0.4502
bloque	1093.68	2	546.84	0.73	0.5213
Error	4509.96	6	751.66		
Total	7886.18	11			

## Apéndice B: Cálculos

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 1 antes de la siembra

a.

$$\left(\frac{35 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 73.5 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

b.

$$\left(\frac{35 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 73.5 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

c.

$$\left(\frac{21 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 88.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

d.

$$\left(\frac{8 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 33.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

e.

$$\left(\frac{6 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 42.0 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 1

310.8 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 2

a.

$$\left(\frac{33 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 69.3 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

b.

$$\left(\frac{33 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 69.3 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

c.

$$\left(\frac{17 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 71.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

d.

$$\left(\frac{9 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 37.8 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

e.

$$\left(\frac{6 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 25.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 2

273 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 3

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{31 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 65.1 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{29 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 60.9 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c.} \\ & \left( \frac{16 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 67.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d.} \\ & \left( \frac{9 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 37.8 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{e.} \\ & \left( \frac{8 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 33.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 3

264 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 4

a.

$$\left(\frac{34 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 71.0 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

b.

$$\left(\frac{31 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 65.0 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

c.

$$\left(\frac{23 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 96.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

d.

$$\left(\frac{11 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 46.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

e.

$$\left(\frac{6 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$
$$= 25.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 4

304 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 1 después de la siembra

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{10 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 21.0 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{4 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c.} \\ & \left( \frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d.} \\ & \left( \frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{e.} \\ & \left( \frac{2 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 1

63.0 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 2 después de la siembra

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{12 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 25.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{4 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c.} \\ & \left( \frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d.} \\ & \left( \frac{2 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{e.} \\ & \left( \frac{2 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 2

63.0 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 3 después de la siembra

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{12 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 25.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{4 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c.} \\ & \left( \frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d.} \\ & \left( \frac{2 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{e.} \\ & \left( \frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}} \right) \left( \frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}} \right) \\ & = 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha} \end{aligned}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 3

$$67.2 \text{ Kg NO}_3\text{-N/ha}$$

Cálculos de Kg NO<sub>3</sub>-N en el perfil de suelo con el Tratamiento 4 después de la siembra

a.

$$\left(\frac{11 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

b.

$$\left(\frac{5 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 10.5 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

c.

$$\left(\frac{6 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 25.2 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

d.

$$\left(\frac{3 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 12.6 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

e.

$$\left(\frac{2 \text{ mgNO}_3 - \text{N}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{KgNO}_3 - \text{N}}{1000000 \text{ mg NO}_3 - \text{N}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ Kg suelo}}{\text{ha}}\right)$$

$$= 8.4 \text{ Kg NO}_3 - \text{N/ha}$$

Total de NO<sub>3</sub>-N para todo el perfil para el Tratamiento 4

65.1 Kg NO<sub>3</sub>-N/ha

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al inicio de la experimentación en el Tratamiento 1

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{2.55 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 107 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{2.53 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 212 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{c.} \\ & \left( \frac{2.00 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 168 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{d.} \\ & \left( \frac{1.47 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 123 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{e.} \\ & \left( \frac{1.80 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 151 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al inicio de la experimentación en el Tratamiento 2

$$\begin{aligned} & \text{a.} \\ & \left( \frac{2.72 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 114 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{b.} \\ & \left( \frac{2.47 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}} \right) \left( \frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \right) (5\% \text{ N}) (4\% \text{ N mineralizado}) \\ & = 207 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha} \end{aligned}$$

c.

$$\left(\frac{2.10 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 176 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.90 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 159 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.60 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 134 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al inicio de la experimentación en el Tratamiento 3

a.

$$\left(\frac{2.60 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 109 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.50 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 210 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{2.50 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$
$$= 210 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.70 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 142 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.60 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 134 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al inicio de la experimentación en el Tratamiento 4

a.

$$\left(\frac{2.60 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 109 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.50 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 210 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{2.20 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 184 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.50 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 126 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.40 \text{ kg M.O.}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 117 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al final de la experimentación en el Tratamiento 1

a.

$$\left(\frac{2.80 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 117 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.30 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 193 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{1.90 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 159 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.80 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 151 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.70 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 142 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al final de la experimentación en el Tratamiento 2

a.

$$\left(\frac{3.20 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 134 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.10 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 176 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{2.10 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 176 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.80 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 151 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.50 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 126 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al final de la experimentación en el Tratamiento 3

a.

$$\left(\frac{2.90 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 121 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.30 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 193 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{2.00 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado}) \\ = 168 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.80 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(5\% \text{ N mineralizado}) \\ = 151 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.50 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(5\% \text{ N mineralizado}) \\ = 126 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Cálculos de N mineralizado en el perfil por la materia orgánica al final de la experimentación en el Tratamiento 4

a.

$$\left(\frac{2.60 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{2100000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 109 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

b.

$$\left(\frac{2.00 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 168 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

c.

$$\left(\frac{2.10 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 176 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

d.

$$\left(\frac{1.70 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 142 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

e.

$$\left(\frac{1.40 \text{ kg M.O}}{100 \text{ kg suelo}}\right) \left(\frac{4200000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}}\right) (5\% \text{ N})(4\% \text{ N mineralizado})$$

$$= 117 \text{ kg N potencialmente mineralizado/ha}$$

Ejemplo de conversión de mg/Kg a cmol/kg para las bases intercambiables

$$\left(\frac{208 \text{ mg K}}{\text{Kg suelo}}\right) \left(\frac{\text{Kg K}}{1000000 \text{ mg K}}\right) \left(\frac{\text{cmol K}}{0.00039 \text{ Kg K}}\right)$$

$$= 0.53 \text{ cmol K}^+/\text{Kg}$$

## Apéndice C: Fotos



Foto 1: Muestreo de suelo antes de la siembra



Foto 2: Siembra de la unidad experimental en la Finca Magdalena



Foto 3: Sistema de riego y sistema de aplicación de fertilizantes en la Finca Magdalena



Foto 4: Unidad Experimental a los 5 meses después de la siembra



Foto 5: Unidad Experimental a los siete meses después de la siembra



Foto 6: Tensiómetro instalado en la unidad experimental en la Finca Magdalena



Foto 7: Colocación de muestras de suelo antes de enviarlas al laboratorio HDS Harris