

ESTUDIO A LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE LA YUCA TIPO INDUSTRIAL
(Manihot esculenta Crantz) A DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE AZUFRE EN
LA ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

CALET ALBEIRO VASQUEZ VARGAS
MARIA CECILIA COLLANTE MARTINEZ

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIA AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SANTA MARTA, D.T.C.H.

2003

ESTUDIO A LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE YUCA TIPO INDUSTRIAL
(Manihot esculenta Crantz) A DIFERENTES FUENTES Y DOSIS DE AZUFRE EN
LA ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

CALET ALBEIRO VASQUEZ VARGAS
MARIA CECILIA COLLANTE MARTINEZ

Memoria de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Director

CESAR ELIAS BAQUERO MAESTRE I.A. M.S.c.

Coodirector

RAMIRO ALVAREZ GONZALES I.A.

Especialista en fruta tropicales

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIA AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONOMICA
SANTA MARTA, D.T.C.H.

2003

Los jurados examinadores de este trabajo de memoria de grado no serán responsables de los conceptos e ideas emitidas por los aspirantes al título.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

CESAR BAQUERO I.A. M.Sc.
Director

MANUEL PINTO I.A. M.Sc.
Jurado

REINALDO LOBATO I.A. M.Sc.
Jurado

Santa Marta, 20 de Junio de 2003

DEDICATORIA

Le doy gracias a todopoderoso por su guía, apoyo y porque siempre me acompaña, dándome la luz para seguir adelante.

A mis padres **EUSEBIO COLLANTE** y **DIGNA MARTINEZ**, quines día a día creyeron en mí y mi potencial, para que mi sueño se hiciera realidad a través de sus valiosos esfuerzos, voluntad, sabidurías y sacrificios. Hoy con gran satisfacción le entrego mi título.

A mis hermanas **ORMELIS, ORLENIS, ORNELIS, ORMEIS (Q.E.P.D).** e **IRIS**, ejemplo que le ofrezco como pago por su fraternidad, apoyo y por estar siempre conmigo.

A mis sobrinos **ORMELIS, YURIMIS, DAYANA, RODOLFO, LEES MARYORITH, RONAL, DAYLEES Y MELANIS VANESA**, por ser la esencia de mi vida, le entrego el fruto de mi esfuerzo.

A la memoria de mis abuelos maternos y paternos aunque estén ausente siempre estarán presenta en mi corazón.

A la memoria de mi ahijado **LUIFER PASO ARIAS (Q,E,P,D).**

A la memoria de LEOPOLDO BARRAGÁN (Q,E,P,D), por su firmeza y enseñanza.

A mi compañero de tesis CALET VASQUEZ, por su valioso apoyo y colaboración haciendo posible nuestros sueños.

A CRISTÓBAL JIMÉNEZ, porque el amor es la fuerza que nos empuja para lograr todos nuestro triunfos.

A FERNANDO PRIETO, por su apoyo, confianza y por ser un hombre valioso.

A WARTER MARTINEZ , por su valiosa colaboración y ser tan especial conmigo.

A ERIKA OROZCO, por la lealtad de su amistad.

A mis compañeros y amigos, especialmente CAROL, OLGA, MARIA, LEDIS, DIANA, EVA, PEDRO Y CALET, por estar conmigo y contagiarme de sus alegrías.

MARIA CECILIA

DEDICATORIA

Primero que todo quiero dedicarle este triunfo al **Dios** único del universo, porque siempre me dirigió por el camino del bien, dándome luz en la oscuridad, alegría en los momentos de tristeza y gozo en tiempo de perdón.

A mis padres **LEONOR ESTER VARGAS CABANA Y PASCUAL EMILIO VASQUEZ BUSTAMANTE**, por ser ellos los grandes emprendedores de este triunfo, y por haberme dado siempre todo el apoyo físico y moral en los momentos mas difíciles de mi vida.

A mis hermanos, **RAFAEL A VASQUEZ VARGAS, GERSON VASQUEZ VARGAS, PASCUAL VASQUEZ VARGAS, PABLO VASQUEZ VARGAS**, porque me supieron dar el apoyo en los momentos mas necesitados.

A mis sobrinos **MISHELL VASQUEZ ROJAS, RAFAEL VASQUEZ ROJAS, CAMILO VASQUEZ ROJAS**, que esto le sirva como propósito, para que algún día en la vida superen esta meta.

A **CARMEN ROJAS Y ZULLIBETH LOPEZ**, por siempre haberme comprendido y mostrarme todo su apoyo en todo el transcurso de mi carrera.

A mi abuela **ROSAURA CABANA DE VARGAS**, por darme sus enseñanzas y ser ella la pionera de mis primeros conocimientos.

A mi compañera de tesis MARIA COLLANTE, por estar siempre ahí en los momentos mas difíciles de la carrera y hacer que este triunfo fuera una realidad.

A mis compañeros de clases LEDYS, ALEYDA, CONSUEGRA, MARIA AYALA, DIÓGENES, LUZ ESTELA, HAROLDO, EVA, MARENCO y demás compañeros por siempre acompañarme y darme todo su apoyo.

Calet Albeiro Vásquez Vargas

AGRADECIMIENTO

Los autores de este trabajo agradecen la valiosa colaboración para la culminación del mismo, a las siguientes personas y entidades:

Dr. Cesar Elías Baquero Maestre. Ingeniero Agrónomo. M.Sc, director de memoria de grado.

Dr. Ramiro Álvarez Gonzáles. Ingeniero Agrónomo, Especialista en Frutas Tropicales. Coodirector del presente trabajo.

Dr. Manuel Pinto Zapata. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Jurado del presente trabajo.

Dr. Reinaldo Lobato Pertuz. Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Profesor asociado a la Universidad del Magdalena, Jurado del presente trabajo.

Dr. Ricardo Guerrero Riascos. Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencia, Profesional Consejero de Monómeros Colombo- Venezolano, Profesor asociado a la Universidad Nacional de Colombia (Bogota), Asesor del presente trabajo.

Dr. Gilberto Gómez. Ingeniero Agrónomo, Especialista en Frutas Tropicales, Investigador del Centro de Investigaciones Caribia. Por su colaboración y orientación estadística.

Dr. Hernando Suárez. I.A. M.Sc. Profesor asociados a la Universidad del Magdalena. Por su colaboración y orientación estadística.

Dr. Jorge Gadban Reyes. Ingeniero Agrónomo, profesor de Maquinaria Asociado a la Universidad del Magdalena, Asesor del presente trabajo.

Al estudiante de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Magdalena. Gabriel Consuegra Ponce, por su colaboración en la parte estadística del presente trabajo.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, por prestarnos sus instalación (laboratorio, áreas, riego, etc.).

A la empresa Monómero Colombo-venezolanos S.A. por su apoyo y a todas aquellas persona que de una u otra forma contribuyeron para que este trabajo llegara a su culminación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN	22
1. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES.	25
1.1 FACTOR TOXICO DE LA YUCA.	28
1.2 FORMA DEL AZUFRE EN EL SUELO.	31
1.3 ESTADOS Y FUENTES DE AZUFRE.	32
1.4 FERTILIZANTES UTILIZADOS COMO FUENTE DE AZUFRE	33
1.5 EL AZUFRE EN SUELO DE LA ZONA CALIDA.	35
1.6 DEFICIENCIAS DE AZUFRE EN LOS SUELOS DEL TROPICO.	36
1.7 ABSORCION DEL AZUFRE POR LAS PLANTAS.	37
1.8 TRANSFORMACION MICROBIAL DEL AZUFRE DEL SUELO.	38
1.9 FUNCIONES DEL AZUFRE.	39
1.10 INVESTIGACION SOBRE AZUFRE EN COLOMBIA.	40
2. MATERIALES Y METODOS.	42
2.1 DESCRIPCION DEL AREA.	42
2.1.1 Ubicación geográfica.	42
2.1.2 Aspecto Climático.	42

2.1.3	Características de los suelos.	43
2.2	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EVALUADO.	44
2.2.1	Tratamientos evaluados en el presente ensayo.	45
2.3	DESARROLLO DEL ENSAYO.	45
2.3.1	Diseño Experimental.	46
2.3.1.1.	Modelo estadístico.	46
2.3.2	Fuentes y Dosis.	46
2.3.3	Material Vegetal Usado.	47
2.4	PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DEL CULTIVO.	47
2.4.1	Preparación del suelo.	47
2.4.2	Riego.	48
2.4.3	Manejo de Plagas y Enfermedades.	48
2.4.4	Control de Malezas.	48
2.4.5	Fertilización.	49
2.4.6	Cosecha.	49
2.5	PARAMETROS EVALUADOS.	49
2.5.1	Rendimiento en kilogramos / hectárea.	49
2.5.2	Diámetro de la raíz en centímetro (cm).	49
2.5.3	Longitud de la raíz en centímetro (cm).	50

2.5.4	Porcentaje de Materia Seca (%).	50
2.5.5	Altura de las plantas.	50
2.5.6	Análisis foliar.	51
2.6	METODOS ESTADÍSTICOS.	51
3.	RESULTADOS Y DISCUSIO.	52
3.1	VARIABLES DE PRODUCCION.	52
3.1.1	Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento total de raíces en Kg/ha.	52
3.1.2	Diámetro de la raíz en centímetro.	54
3.1.3	Longitud de la raíz en centímetro.	55
3.1.4	Porcentaje de materia seca.	57
3.1.5	Altura de la planta en metro.	60
3.2	ANALISIS DE CORRELACION Y REGRESIÓN.	62
3.2.1	CORRELACION SIMPLE.	62
3.2.1.1	Rendimiento total (Kg/ha) Vs Análisis foliar.	63
3.2.1.2	Rendimiento total (Kg/ha) Vs Diámetro de la raíz (cm).	63
3.2.1.3	Rendimiento total (Kg/ha) Vs longitud de la rías (cm).	63
3.2.1.4	Rendimiento total (Kg/ha) Vs Materia seca.	64
3.2.2	REGRESION LINEAL.	64
3.2.2.1	Rendimiento total (Kg/ha) Vs Análisis foliar.	64
3.2.2.2	Rendimiento total (Kg/ha) Vs Diámetro de la raíz (cm).	65

3.2.2.3 Rendimiento total (Kg/ha) Vs longitud de la rías (cm).	66
3.2.2.4 Rendimiento total (Kg/ha) Vs Materia seca.	67
3.3 ANALISIS DEL TEJIDO FOLIAR A LOS SEIS MESES DEL CULTIVO.	68
CONCLUSIÓN	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	77

LISTA DE TABLAS

Tablas1. Característica física y química del suelo antes de la siembra.	44
Tabla 2. Fuentes y dosis de la fertilización edifica en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) en el presente ensayo.	45
Tabla 3. Promedio de rendimiento total de raíces en Kg/ha, para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta Crantz</i>),clon CM 4919-1.	53
Tabla 4. Promedio del diámetro de la raíz en cm para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta Crantz</i>),clon CM 4919-1.	55
Tabla 5. Promedio de longitud de la raíz en centímetro (cm), para cada uno de los tratamientos de fertilizante aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta Crantz</i>),clon CM 4919-1.	57
Tabla 6. Promedio del porcentaje de materia seca, para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta Crantz</i>),clon CM 4919-1.	60

Tabla 7. Promedio de altura de la planta en metro (m), para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1. 62

Tabla 8. Análisis del tejido foliar a los seis meses de edad del cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1 para cada uno de los tratamientos. 70

LISTA DE FIGURA

- Figura 1. Correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Análisis foliar, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*, clon CM 4919-1. 65
- Figura 2. Correlación y regresión entre las variables rendimiento total (Kg/ha) vs Diámetro de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1. 66
- Figura 3. Correlación y regresión entre las variables entre Rendimiento total (Kg/ha) vs Longitud de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*). clon CM 4919-1 67
- Figura 4. Correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Porcentaje de materia seca, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1.

LISTA DE ANEXO.

- Anexo A. Análisis de varianza para la variable de rendimiento total en Kg/ha para cada una de las fuentes y respectivo tratamiento, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia. 78
- Anexo B. Análisis de varianza para la variable diámetro de la raíz en centímetro (cm). Para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia. 79
- Anexo C. Análisis de varianza para la variable longitud de la rías en centímetro (cm). Para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia. 80
- Anexo D. Análisis de varianza para la variable del porcentaje de materia seca para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia. 81

Anexo E. Análisis de varianza para la variable altura de la planta en metro para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta crantz</i>), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia.	82
Anexo F. Análisis de varianza de correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) Vs Análisis foliar, en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta crantz</i>), clon CM 4919-1.	83
Anexo G. Análisis de varianza de correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) Vs Diámetro de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta crantz</i>), clon CM 4919-1.	84
Anexo H. Análisis de varianza correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) Vs Longitud de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta crantz</i>), clon CM 4919-1.	85
Anexo I. Análisis de varianza de correlación y regresión entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) Vs Materia seca, en el cultivo de la yuca tipo industrial (<i>Manihot esculenta crantz</i>), clon CM 4919-1.	86

RESUMEN

En el Centro Regional de Investigación Caribia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, ubicada en el corregimiento de Sevilla, municipio Zona Bananera (Magdalena), se llevo acabo un ensayo en el cultivo de yuca industrial (*Manihot esculenta Crantz*) Clon CM 4919-1, en el cual se compararon dos fuentes y cuatro niveles de Azufre, usando como fuentes de Azufre, Sulfato de Amonio y Sulfato de Potasio en dosis de 0,30,60,90 Kg/ha, durante los meses de Marzo del 2001 a Enero del 2002.

El objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del cultivo de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) a diferentes fuentes y dosis de Azufre.

El diseño estadístico empleado fue el de bloques al azar con 4 repeticiones y 8 tratamientos para un total de 32 parcelas, con un área de 20m² en cada parcela y 768 plantas.

Los parámetros evaluados fueron: Rendimiento en Kilogramos por hectárea, Diámetro de la raíz en centímetros, Longitud de la raíz en centímetros, Porcentaje de materia seca, Altura de la planta en metro y Análisis foliar, a los cuales se le realizó el análisis de varianza, prueba comparativa de Tukey , análisis de correlación y regresión.

Los resultados obtenidos al analizar los parámetros establecidos en este trabajo, indicaron que el mejor comportamiento se obtuvo con la fuente de Sulfato de Amonio, al registrar el mayor rendimiento el tratamiento (T₄), con un promedio de 44.34 t/ha con una dosis de 90 Kg/ha de azufre. Para el parámetro del diámetro de la raíz en centímetro, se encontró que el mejor tratamiento fue el T₄ con un promedio de 9.02 cm, que corresponde a la dosis de 90 Kg/ha de Azufre. El mejor comportamiento en cuanto a la longitud de la raíz en centímetro, la obtuvo el T₄ con un promedio de 43.34 con una dosis de 90 Kg/ha. Mientras que para la variable del porcentaje de materia seca el T₄ fue el que presentó el mayor promedio siendo este de 36.70%. Posteriormente la variable de la altura de la planta en metro. Mostró que el tratamiento que mayor promedio obtuvo fue el T₇ con una altura de 1.84 m con dosis de 60 Kg/ha de Sulfato de Potasio.

INTRODUCCIÓN

La yuca es un cultivo de gran valor social para la Costa Atlántica, el 80% del área que se siembra en Colombia se encuentra en esta región se cultiva casi en su totalidad con variedades dulce y son utilizadas en un 90% para consumo en fresco y un 10% para transformaciones en la industria (harina y almidones). El desarrollo de la agroindustria ha incrementado la demanda de este vegetal para sus procesos de transformación, lo que ha conllevado que en la Costa Caribe y en la Zona Bananera del Magdalena se están sembrando variedades de yuca tipo industrial (amargas), las cuales son de mayor rendimiento que las dulces. Por ser estas variedades más rendidoras implica que se deben de mejorar algunas practicas agronómicas como es la de suministrarle a las plantas una adecuada fertilización.

El azufre es uno de los nutrientes esenciales en la nutrición vegetal, y es requerida por los cultivos en cantidades aproximadamente iguales a las del fósforo.

Las plantas necesitan el azufre para la acción de muchos procesos, como la constituyente en el metabolismo de las plantas, como componente de aminoácido tales como la cistina, cisteina y meteonina, y otra parte es esencial para el proceso respiratorio de las plantas.

La fertilización es uno de los factores más importante que requiere toda explotación agrícola, con el propósito de aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de la producción, cuando los suelos presentan diferencia de algunos elementos esenciales para su normal desarrollo. La fertilización se convierte en una práctica necesaria para la obtención de altos rendimientos.

Cuando existen deficiencias de elementos mayores en el suelo, como en el caso del azufre, el cultivo es exigente en este nutriente; se hace necesario realizar una fertilización con dicho elemento para satisfacer las necesidades de la planta y lograr un buen desarrollo. Pero ha de tenerse en cuenta otro factor como las fuentes a utilizar dependiendo de las características físicas y químicas del suelo, para que el efecto que se desee obtener, sea el mas adecuado y trate de mantener el equilibrio entre la explotación agrícola y la conservación de los niveles nutricionales del mismo.

Las deficiencias de este elemento se acentúan mas cuando se realiza una agricultura extensiva en regiones cálidas con bajo contenido de materia orgánica, suelos arenosos y sabanas expuestas a quemas periódicas, tales características las presentan algunos suelos de la Costa Atlántica (donde se cultiva la yuca).

En lo concerniente al efecto de la fertilización con azufre en los suelos del *Centro de Investigación Caribia de CORPOICA*, se evaluaron dos fuentes de azufre (SAM

y SOP) y cuatro dosis (0, 30, 60,90 kg/ha), para determinar cual fuente y que dosis es necesaria para la producción optima de raíces de yuca.

Se espera que los resultados encontrados sean una valiosa información para colocar el azufre como elemento importante en la fertilización normal de estos suelos.

En la costa Atlántica y en especial la Zona Bananera los suelos han sido sometidos a una agricultura intensiva lo cual conlleva a que a través del tiempo se han ido acentuando algunas deficiencias de nutrientes. Estas deficiencias son más notorias en algunos elementos como el azufre, potasio, nitrógeno, boro y zinc.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar el efecto de las diferentes fuentes y dosis de azufre (S), en la producción y calidad de la yuca tipo industrial.

1. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES

Dentro de las jerarquías sistemáticas, la yuca pertenece a la clase Dicotiledónea, subclase Archichlamydeae, orden Euphorbiales, familia Euphorbiaceae, tribu Manihoteae, género Manihot y especie Manihot esculenta Crantz. Dentro de la familia Euphorbiaceae se encuentran plantas de porte diferentes: árboles, arbusto, hierbas de diversa importancia económica. Dentro del Manihot se han clasificado alrededor de un centenar de especies, entre las cuales la única cultivada comercialmente es la Manihot esculenta Crantz, cuyo sinónimo son: Manihot utilísima, Manihot edulis y Manihot aipi. Comúnmente se conoce como yuca, mandioca, cassava, manioc, manioca, tapioca, suahili, mhogo y omowgo. Existen variedades de especies amargas y dulces, según su contenido de ácido cianhídrico (18).

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*), cultivo de raíces que se propaga vegetativamente a partir de estacas, se originó en América del Sur, donde las tribus indígenas aprendieron a extraer el líquido tóxico de las raíces para la preparación de harinas, las hojas también se utilizaron como legumbre. Después de la conquista de América la planta fue introducida a África y Asia, donde llegó a hacer un cultivo importante para el consumo humano y animal.

La yuca se cultiva en los trópicos de las tierras bajas, principalmente como cultivo de subsistencia. Las raíces engrosadas se cosechan entre los 6 a 24 meses, después de la siembra, dependiendo de los factores varietales y ecológicos. Es tolerante a las condiciones adversas del suelo, y se puede producir en suelos muy ácidos o infértiles en las cuales otros cultivos no pueden crecer satisfactoriamente, debido a su tolerancia al estrés de agua. La yuca se utiliza en época de hambruna en África del Norte, donde constituye la principal fuente alimenticia durante prolongados períodos de sequía.

La yuca es una planta que se adapta a suelos muy pobre, y en Colombia se cultiva sin aplicación de fertilizantes lo que evidencia que es un cultivo marginal, pero a pesar de ello, esta responde con extraordinaria eficiencia al empleo de fertilizantes, especialmente cuando se cultiva en tierras que aunque no sean muy fértiles tengan características de textura franca.

La yuca es uno de los más eficiente productores de carbohidratos entre las plantas superiores, recientemente ha surgido interés a su explotación a gran escala como alimento para animales. Materia prima para la producción de almidón, para extracción de procesos industriales y alimenticios tales como en la elaboración de macarrones y variedades de harinas para preparar pudines, pasteles, bizcocho, galleta, obleas, cremas, almojábana y embutido.

En nuestro país la yuca se siembra en varias regiones de clima cálido o cálido moderado como lo son: el valle del Cauca, Huila, Meta, Norte de Santander, Cauca y la Costa Atlántica. Este cultivo de pequeña extensión, con bajo nivel tecnológico, explica los bajos rendimientos que se obtienen del mismo, el departamento del Valle del Cauca es el único que muestra un rendimiento relativamente apreciable, con 20 t/ha de raíz para doble propósito. Los departamentos de Caldas, Huila y Tolima superan ampliamente el promedio nacional, el cual se estima en 10.35 Kg/ha para el consumo en fresco, procesamiento y producción de la costa Atlántica.

Según Villa las variedades de yuca se clasifican en dos categorías a saber:

Venenosas: conocida como salvaje, brava o amarga. Utilizadas únicamente para la extracción del almidón de la yuca y harina.

No venenosas: llamadas también dulces. Utilizadas en la alimentación animal y humana.

En un proyecto realizado por Iglesia Lenis y Calle (16), para mejorar el potencial genético de la yuca con el objetivo de liberar clones con aptitud de doble propósito; es decir, para el consumo en fresco o procesamiento (estos propósitos pueden emplear diferentes niveles tecnológicos y pueden ser a su vez tradicional

o industrial), a continuación se presentan los cinco clones que obtuvieron mejor rendimiento en el municipio de Media Luna (Magdalena).

SM 1769-15 con 37.9 t/ha.

SM 1565-17 con 34.8 t/ha.

SM 1883-6 con 34.2 t/ha.

SM 1780-15 con 32.3 t/ha.

SM 1657-14 con 29.8 t/ha.

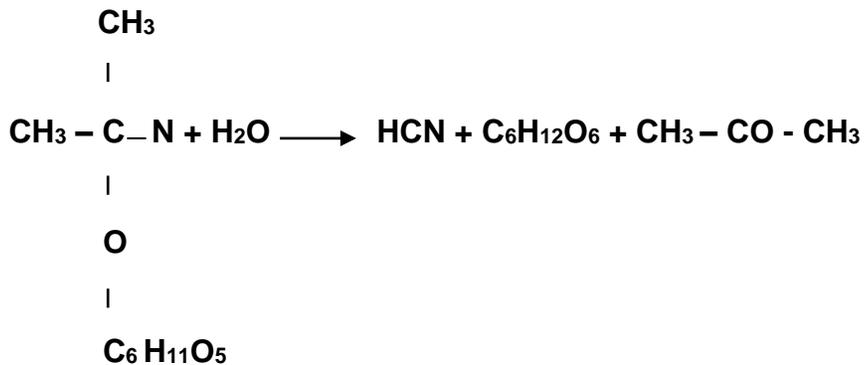
También se consideran los clones ICA Costeña e ICA Negrita, pueden servir para el desarrollo potencial industrial del cultivo de yuca. El clon CM 4919-1 presentó un rendimiento de 22.7 t/ha en el Municipio de Media Luna.

1.1 FACTOR TOXICO DE LA YUCA

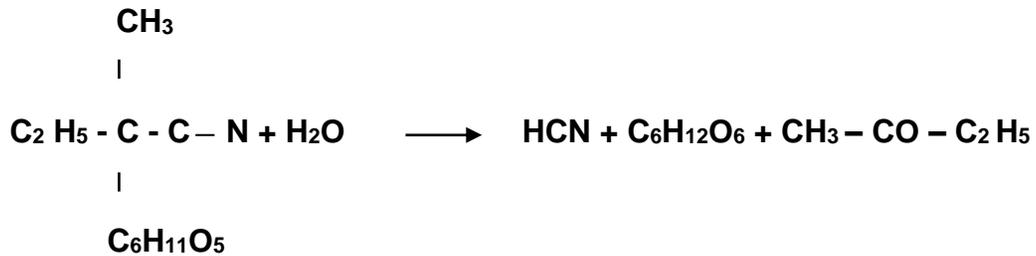
La presencia de un factor tóxico en la yuca, presenta algunos problemas en su utilización como alimento para animales; tal toxicidad se debe a un compuesto conocido como ácido cianhídrico (HCN), el cual se encuentra principalmente en raíces y hojas. El ácido cianhídrico existen tanto en las variedades dulces como amargas, sin embargo, en estas última se encuentra en mayor proporción; en las dulces se presenta principalmente en la cáscara de las raíces.

El HCN forma parte del jugo lechoso de las hojas, tallos y raíces; sin embargo, no existe como tal en las plantas sanas sino combinado con otras sustancias. Se concentra cuando se retarda el crecimiento normal de la planta y se libera cuando se machacan o se cortan las raíces y las hojas.

El HCN se obtiene usualmente por la reacción química de dos sustancias, un glucósido y una enzima que contiene la planta, ni el glucósido ni la enzima son venenosos al considerarlos por separado. Los dos B- glucósidos que contiene la yuca son la Linamarina (2 (-D- glucopiranosiloxi) Isobutironitrilo) y la lotaustralina (2 (-D- glucopiranosiloxi) 2 metilbutironitrilo), cuya formula y el proceso por el cual se generan HCN se esquematiza a continuación:



Linamarina + Agua \longrightarrow Ácido cianhídrico + Azúcar + Acetona.



Lotaustralina + Agua \longrightarrow Ácido cianhídrico + Azúcar + Metiletil-acetona.

El **HCN** forma una combinación reversible con el cobre de la oxidasa citocromica, inhibiendo en esta forma sus funciones como enzima oxidativa en el traslado de electrones y constituye un ejemplo clásico de anoxina histotoxina. Estas anomalías químicas causan depresión neuronal en los centros moduladores, lo cual ocasiona problemas respiratorios y la muerte.

Pequeña cantidades no son suficientes para causar la muerte, pero afectan la salud general y el aspecto físico del individuo. El cuerpo posee la propiedad de eliminar ciertas cantidades de HCN pero estas varían según la especie, la condición física, el consumo de nutrimentos y probablemente otros factores no identificados; por lo tanto, parece que las diferencias en el grado de toxicidad del HCN pueden ser explicadas, en muchos casos, por la presencia o ausencia de sustancias tales como metionina, cistina, sulfuro, vitamina B₁₂, yodo y otros elementos tales como hierro y cobre, quienes actúan como detoxicantes con la presencia de niveles subletales de HCN.

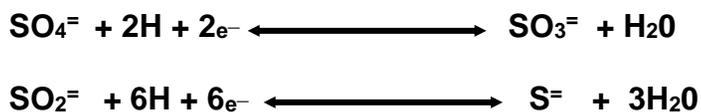
Varios métodos de procesamientos pueden utilizarse para reducir la toxicidad del HCN. Algunos de ellos son más efectivos que otros. El secamiento en un horno con aire forzado, a temperatura moderadamente altas (70 - 80°C), la cocción en agua y el secamiento al sol son algunos de los métodos (18).

1.2 FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO

El azufre (S) en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica, la proporción relativa de cada una de ellas depende del clima y de las propiedades físicas y químicas del suelo.

El azufre orgánico proviene de los residuos animales o vegetales, caídos al suelo; estas formas orgánicas no son directamente disponibles para la planta, pero por procesos de mineralización pueden pasar al suelo; por lo tanto constituyen una reserva de azufre (19).

La forma de azufre (S) en el suelo son principalmente los sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), y los sulfuros ($\text{S}^{=}$), el predominio de estas formas, depende del potencial oxido-reducción, según se aprecia en las siguientes ecuaciones (15):



En el suelo, el azufre pasa por una serie de transformaciones de naturaleza química y biológica que aseguran de una parte la provisión de elementos a las plantas en la forma más asimilable y por otra parte, reducen las pérdidas por lixiviación y arrastre de las lluvias. Estas transformaciones incluyen procesos de oxidación, reducción, síntesis y descomposición de las proteínas que contienen azufre (29).

Domínguez y Rodríguez (8). Dicen que las cantidades de azufre total en los suelos colombianos no pasan por lo general de 1500 ppm. El azufre orgánico representa del 90% al 95% del azufre total, y la fracción inorgánica corresponde a la forma de sulfatos adsorbidos y alrededor del 1% a 2% del azufre total. Son formas inorgánicas en estado de oxidación menor que el sulfato.

Según Thompson (28), la cantidad de azufre presente en el suelo superior de la zona subhúmeda y árida es similar al de la zona húmeda, ya que la cantidad de azufre, se encuentra en relación con la proporción de la materia orgánica

1.3 ESTADOS Y FUENTES DE AZUFRE

Gran parte del azufre en las regiones áridas y semiáridas pueden hallarse en forma de sulfato soluble, tales como sales de Calcio, de Magnesio, de Potasio o de Sodio.

Según Fassbender (10), la mayor parte del azufre inorgánico ocurre en forma de sulfato, solo en el caso de anaerobismo como en suelos anegados y pantanosos se presentan en los

suelos sulfuros como la pirita (FeS_2). Generalmente al restablecerse las condiciones aeróbicas, los sulfuros son transformados rápidamente a sulfatos. En suelos bien aireados solo hasta el 1% del azufre inorgánico se presenta como sulfuro.

La meteorización es un fenómeno muy importante por el cual el azufre de los minerales sulfuros es transformado a iones de sulfatos, forma aprovechable por las plantas. La velocidad con que pasan los sulfatos a forma oxidadas depende de los factores de la meteorización, como humedad y temperatura principalmente, por eso, este proceso es rápido en el trópico (4).

1.4 FERTILIZANTES UTILIZADOS COMO FUENTE DE AZUFRE

Entre las fuentes de fertilizantes de Azufre más importante se tienen:

Sulfato de Amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: Normalmente se utiliza para suministrar Nitrógeno, se obtiene como subproducto de la industria del acero y de algunos procesos metalúrgicos y químicos (Hagmastrom). También se obtiene como subproducto de la Caprolacta, sintéticamente se le puede producir por reacción del

amonio anhídrido con el ácido sulfúrico. El sulfato de amonio contiene 21% de nitrógeno y 24% de Azufre (21).

Superfosfato Simple: Químicamente es una mezcla de Fósforo Monocalcico y Yeso, es un fertilizante de baja concentración de Fósforo (20% de P_2O_5), comparado con el superfosfato Triple (46% de P_2O_5), o con el fosfato diamónico y monoamónico (46 y 50% de P_2O_5), respectivamente y es fuente adecuada de este nutriente para las plantas (21).

Sulfato de Potasio: Es una fuente importante de potasio y Azufre (50% de K_2O y 18% de S). En Colombia se ha utilizado como fuente de Potasio en cultivos que pueden ser afectados por el Cloro como el Tabaco y la Vid; igualmente en suelos con problema de Sales (14).

Yeso: Es poco utilizado como fertilizante, es útil en la recuperación de suelos Salinos-Sodicos. Sin embargo, es una buena fuente de Azufre por tratarse de una sal neutra y por tener contenido de Azufre aproximadamente del 20% (14).

Azufre Elemental: Su utilización como fertilización es mínima ya que presenta problemas, debido a que una vez agregado al suelo debe ser oxidado a sulfato para ser adsorbido por la planta. Este proceso de oxidación ocurre por acción de las bacterias y depende del agregado de finura del material (21).

1.5 EL AZUFRE EN SUELOS DE LA ZONA CALIDA.

El azufre de la zona cálida proviene según Guerrero (14), en su gran mayoría del Azufre orgánico y en menor proporción de fracción mineral y es tomado en forma de sulfato por las raíces.

Estudios proveniente de algunos Departamentos de la Costa Atlántica concluyeron que en términos generales hay predominancia de un alto contenido de Azufre disponible, con un rango de 1.10 a 700 ppm, y un promedio de 30 ppm, salvo en muestra de Bolívar y Sucre predominaron valores de 5 ppm, los cuales se consideraron muy bajos (14).

En Colombia, según Pedraza y Lora (23), los mayores contenidos de Azufre total se encuentran en los Altiplano de Pasto e Ipiales, Llanuras del Pacifico, Putumayo y Sabana de Tuquerres; los menores contenidos corresponden a los suelos del Tolima. Por otra parte en la mayoría de los suelos de los Llanos Orientales, Nariño, Putumayo, Uraba, predomina ampliamente las formas de Azufre inorgánico sobre las formas orgánicas; en cuanto al Azufre disponible los menores contenidos se presentan en suelos de los Llanos Orientales, Huila, Uraba y algunos de Nariño.

La primera caracterización del Azufre en Colombia fue efectuada por Domínguez y Rodríguez (8), en suelos del Altiplano de Pasto en el año de 1971.

González (13), al realizar estudios del Azufre en la Costa Atlántica de Colombia encontró que el Azufre disponible oscila entre 1.10 a 786,3 ppm, con un promedio de 35.99 ppm, pero hace resaltar que son muchos los suelos que presentan un valor de Azufre por debajo de 5 ppm y por ello se espera una gran respuesta a este elemento.

1.6 DEFICIENCIAS DE AZUFRE EN LOS SUELOS DEL TROPICO.

Las principales causas de las deficiencias de Azufre en los suelos del trópico se pueden agrupar en 3 categorías:

- 1- Bajo contenido de Azufre en el suelo.
- 2- Baja disponibilidad del Azufre contenido en la materia orgánica.
- 3- Deficiencias generadas por practicas agrícolas (15).

Blair (4), afirma que el aumento de las deficiencias de Azufre en el trópico es consecuencia de su bajo contenido en el suelo y la disminución del uso de fertilizantes Nitrogenados y Fosforados que contienen Azufre, los cuales están siendo sustituidos por fuentes de mayor concentración de Nitrógeno y Fósforo pero que no contiene Azufre; también en un estudio sobre el Azufre en los trópicos, manifiesta que se han obtenido respuesta positivas a las aplicaciones de Azufre en 40 países tropicales con 23 cultivos diferentes lo cual puede ser un indicativo de la magnitud del problema.

Se calcula que en el área agrícola de América Latina, la pérdida de Azufre por lixiviación es de 702,000 t de S/año y las ligadas con erosión se acercan a 466.000 t de S/año, lo que resulta en pérdidas totales que superan el millón de t de S/año (19).

Según Monómero Colombo-Venezolano (21), los suelos Colombianos en especial los de la Zona Atlántica, son bajos en el contenido de Azufre debido a que el material parental es pobre en dicho elemento, además la acción del intemperismo y las pérdidas por lixiviación contribuyen notablemente a agudizar el problema.

1.7 ABSORCION DEL AZUFRE POR LAS PLANTAS.

Las plantas absorben el Azufre como ión sulfato, el cual es en parte reducida para llegar a ser un componente de los aminoácidos, cistina y metionina. El Azufre también sirve como regulador para acelerar el desarrollo de las raíces, exigen la activación de 24 átomos de oxígeno (21).

El Azufre es importante en la formación de la clorofila, aunque no llega a ser parte del pigmento y que las plantas que crecen deficiente en Azufre, tienen un color verde claro, el cual puede corregirse aplicando Azufre (3).

Las plantas que son deficientes en Azufre, tienden a acumular Nitrógeno en forma de Nitrato, lo que puede ser debido a la falta de aminoácidos con Azufre, que son esenciales en la síntesis de proteínas (25).

1.8 TRANSFORMACION MICROBIAL DEL AZUFRE DEL SUELO.

Los microorganismos son capaces de metabolizar el Azufre elemental y sus distintos compuestos orgánicos e inorgánicos. Según Alexander (1), los distintos procesos bioquímicos pueden agruparse en:

- a- Inmovilización de los compuestos simples.
- b- Mineralización de compuestos Azufrados.
- c- Oxidación de compuestos inorgánicos.
- d- Reducción de sulfatos a sulfuros.

Las bacterias que oxidan compuestos inorgánicos de Azufre son generalmente quimioautótrofos obligados o facultativos, cuyo género más importante es *Thiobacillus*, con la especie *i Thiooxidans*, lo cual oxida el Azufre elemental, estas bacterias tienen una amplia gama de adaptación y aparentemente se adaptan a varios pH que se encuentran en el suelo. La mayor parte del S-SO₄ mineralizado a partir de los compuestos orgánicos proviene de los aminoácidos, cistina, cisteína y metionina.

1.9 FUNCIONES DEL AZUFRE.

La fuente más importante de Azufre es el sulfato (SO_4^{2-}), que es tomado por las raíces a tasas relativamente bajas y transportado por el xilema. El sulfato puede ser reducido en la planta para incorporar el Azufre a aminoácidos, proteínas y coenzimas o puede ser utilizado directamente para conformar sulfolípidos en las membranas (21).

El primer paso en la asimilación del Azufre es la activación del ion sulfato con ATP. En esta reacción la enzima ATP sulfurilasa cataliza la sustitución de dos grupos de fosfato del ATP por el grupo sulfuril lo que conduce a la formación de adenosina fosfosulfato (APS) y pirofosfato. Una segunda activación con ATP para formar fosfoadenosina fosfosulfato (PAPS), se requiere para la síntesis de sulfato ésteres.

Para la reducción del sulfato, el grupo sulfuril del APS se transfiere al tiol (-SH) de un transportador, probablemente glutatión. En la siguiente reacción que es mediada por ferredoxina, el grupo -SH se transfiere a acetilserina la cual se divide en acetato y el aminoácido cisteína. Este aminoácido es el primer producto estable de la reducción de sulfato y actúa como precursor para la síntesis de todos los compuestos orgánicos que llevan Azufre y de otros, tales como, el etileno.

Las enzimas del ciclo de reducción del sulfato se localizan en los cloroplastos pero también se encuentran en los plastidios de las raíces en concentraciones muy bajas. En las plantas C₄ los principales sitios de asimilación del sulfato son los cloroplastos ubicados en la vaina parenquimatosa. En general, hay mayor reducción del sulfato en las hojas que en las raíces, en las hojas la reacción es estimulada fuertemente por la luz. Posiblemente por la necesidad de ferredoxina reducida para el proceso o por los altos niveles de serina que se acumulan durante la fotorespiración.

El Azufre es un constituyente estructural de varios compuestos (R-C-S-C-R) o puede actuar como un grupo funcional (R-SH), directamente en reacciones metabólicas. El Azufre es un constituyente de aminoácidos (cisteína y metionina), coenzimas, grupos prostéticos (ferredoxina, biotina y tiamina pirofosfato) y compuestos volátiles (isotiocianatos y sulfoxidos), responsable por el olor característico de algunas especies de plantas como la cebolla y el ajo.

1.10 INVESTIGACIONES SOBRE AZUFRE EN COLOMBIA

Los niveles críticos de Azufre que se manejan en Colombia son los referidos por Monómeros Colombo-Venezolanos (21), que son generales para todos los cultivos:

Muy bajo	→	< 5	ppm.
Bajo	→	5 -10	ppm.
Moderado	→	10 -15	ppm.
Alto	→	> 15	ppm.

Zapata y Munevar (31), encontraron que la aplicación del Azufre a suelos de la serie Bacata (distrandept típica) causó aumento notable en la tasa de mineralización del Nitrógeno y Carbono Orgánico, lo cual se refleja en un mayor rendimiento de materia seca.

En trabajos en invernadero con dos suelos de los Llanos Orientales que contenían 7.3 y 10.2 ppm de Azufre extraído con cloruro de litio (LiCl), se encontraron efectos altamente significativos en la producción de materia seca del pasto Raygrass y en la absorción de Azufre por las plantas, con la aplicación de diferentes dosis del elemento procedente del Sulfato de Amonio y Sulfato de Calcio. El nivel crítico propuesto para el método de extracción con LiCl fue de 5 ppm (30).

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 DESCRIPCION DEL AREA

2.1.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se realizó en el *Centro de Investigación Caribia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA*, localizado en el corregimiento de Sevilla, Municipio Zona Bananera, Departamento del Magdalena (Colombia) a 65 km hacia el Sur de Santa Marta, el cual se encuentra enmarcado geográficamente dentro de las coordenadas planas; 74° 08' 00" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y 10° 11' 00" de Latitud Norte.

2.1.2 Aspecto Climático

Las condiciones climáticas que presenta esta zona corresponde según el sistema de Holdridge a la formación de Bosque Seco Tropical (BST), región natural Caribe, subregion Zona Bananera, con una altura de 20 m.s.n.m, con precipitación promedio anual de 1371.7 mm, temperatura media anual de 28°C y humedad relativa del 82%, brillo solar de 2000 horas sol/año, evaporación de 1500 mm anual. Es una zona influenciada por los vientos alisios. Los meses de verano intenso o seco, van desde Diciembre a Marzo; los de Mayor lluvia de Abril a Junio y de Agosto a Noviembre.

2.1.3 Características de los Suelos.

Los suelos donde se estableció la investigación son de origen aluvial y están clasificados taxonómicamente como Typic Ustropit, los que presentan bajo contenido de materia orgánica, están dentro de la serie Tucurinca, los cuales representan el 46% del área total de *Centro de Investigación Caribia de CORPOICA*. Estos suelos presentan texturas franco-arenosa, se caracterizan por tener buen drenaje, su fertilización es moderada con baja disponibilidad de Nitrógeno, Azufre y Boro, son medio en Potasio y altos en Fósforo; el pH es de 6.2 y 7.3. La relación Calcio-Magnesio es amplia, los valores de la capacidad de intercambio cationico (CIC) y la conductivida eléctrica (C.E) son bajas (ver tabla 1).

El resultado de análisis del suelo ante de la siembra del experimento es el siguiente:

Tabla 1. Características física-química antes de la siembra.

Textura	Arenoso-franco
Ph	6.30
Carbono orgánico	0.07
M.O (%)	2.0
P (ppm)	45
Ca (meq/100g)	4.38
Mg (meq/100g)	0.74
K (meq/100g)	0.38
Na (meq/100g)	0.09
C. I. C (meq/100g)	5.59
C.E. (ds/m)	0.25

2.2 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EVALUADO.

El material vegetal que se sembró fue el clon CM 4919-1 de yuca industrial producido por el *Centro de Investigación de Agricultura Tropical CIAT*, es uno de los genotipos que tienen buen rendimiento para las condiciones propias de la región (Costa Norte), la cual presentó un rendimiento de raíces de 21.3 – 27.0 en t/ha, materia seca 34%, posee un alto contenido de ácido cianhídrico (HCM) y su uso exclusivo es para la industria.

2.2.1 Tratamientos evaluados en el presente ensayo.

La investigación se realizó con 8 tratamientos, incluido un testigo absoluto; utilizando como fuentes de fertilizantes sulfato de amonio (SAM) 21% de N y 24% de S y sulfato de potasio (SOP) 50% de K₂O y 18% de S. Estos tratamientos son (ver tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el presente ensayo.

Tratamiento	Fuente y dosis en kg/ha de S
T ₁	SAM 0
T ₂	SAM 30
T ₃	SAM 60
T ₄	SAM 90
T ₅	SOP 0
T ₆	SOP 30
T ₇	SOP 60
T ₈	SOP 90

2.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACION.

El trabajo de campo se inició en el mes de Marzo de 2001 y culminó en el mes de Enero de 2002, periodo en el cual se llevó un registro de actividades.

2.3.1 Diseño experimental.

El diseño empleado en la presente investigación fue el de bloques al azar, con 8 tratamientos y 4 repeticiones.

2.3.1.1 modelo estadístico.

Modelo matemático del diseño experimental bloque al azar (D B A A) es:

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observaciones individuales.

u = Media poblacional general.

T_i = Efecto del tratamiento (dosis) – i = esimo ($i = 1,2,3,\dots,8$).

B_j = Efecto del bloque j – esimo ($j = 1,2,3,4$).

E_{ij} = Error experimental.

2.3.2 Fuentes y dosis.

Las correspondientes fuentes y dosis utilizadas en el presente trabajo fueron las siguientes: sulfato de amonio (SAM) y sulfato de potasio (SOP) con dosis de 0, 30, 60 , 90 kg / ha respectivamente (ver tabla 2).

2.3.3 Material vegetal usado.

El material utilizado en el siguiente experimento fue el clon CM 4919-1 yuca industrial producida por el CIAT, proporcionado por industrias del Maíz S.A.

2.4 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DEL CULTIVO.

De acuerdo a las condiciones agroclimatológicas de la zona y a las necesidades del cultivo se procedió a la realización de la investigación teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

2.4.1 Preparación del suelo.

La preparación del suelo se realizó en una forma convencional; nivelación del terreno y posteriormente se dió un pase de arado (arado de disco) y dos rastrilladas (rastrillo californiano), se surcó a 30 cm de profundidad, se procedió a realizar el trazado de las parcelas de acuerdo a las características del ensayo. La demarcación de las parcelas se hizo de la manera siguiente; las plantas separadas a una distancia de 1m entre planta y entre surco, por lo tanto sus dimensiones fue de 4 metros de ancho y 5 metros de largo para un área de 20 m². La investigación tuvo un área de 640 m² con 768 plantas en las cuales solamente 192 plantas fueron evaluada, tomando de cada parcela 6 plantas de los 2 surcos centrales.

2.4.2 Riego.

El suministro de agua se hizo por el sistema de riego por gravedad, este se realizó con una frecuencia de 1 o 2 días por semana, aplicándose en la horas de la mañana.

2.4.3 Manejo de Plaga y Enfermedades.

Durante el ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo de la yuca, no se presentaron ninguna clase de plagas y enfermedades.

2.4.4 Control de Maleza

El control de maleza se hizo con una mezcla de:

Karmex + Lazo en dosis de 0.7 + 2l/ha

Cuando el cultivo se encontraba en su etapa adulta se realizó el control de maleza en forma manual, haciéndola en la zona de plateo cada 15 o 25 días, según la severidad de las malezas.

2.4.5 Fertilización.

Se aplicó cuando las plantas tenían 45 días después de la brotación, los fertilizantes se aplicaron en forma de corona cuando el suelo estaba a la capacidad de campo, según las dosis establecidas.

2.4.6 Cosecha.

Las plantas fueron cosechadas a los diez meses, recolectando la producción de las seis plantas centrales de cada parcela por tratamiento, para posteriormente determinar los parámetros establecidos.

2.5 PARAMETROS EVALUADOS EN LA PRESENTE INVESTIGACION.

2.5.1 Rendimientos en Kilogramos/ hectarea.

Se pesaron las raíces de las seis plantas cosechadas por cada tratamiento, en un peso graduado en g y/o Kg para luego promediar el peso de las raíces.

2.5.2 Diámetro de la raíz.

Las raíces fueron medidas, escogiendo tres raíces al azar en tres plantas por cada tratamiento, utilizando una cinta métrica graduada en centímetro.

2.5.3 Longitud de la raíz.

Se procedió a realizar el mismo método que se hizo en el diámetro de la raíz.

2.5.4 Porcentaje de materia seca (%).

De las seis plantas centrales se le tomaron tres kilos de raíces por tratamiento, para observar la diferencia que había entre el peso seco de las raíces y el peso húmedo, mediante un dinamómetro y luego se aplicó la fórmula para calcular el porcentaje de materia seca.

Fórmula para hallar el porcentaje de materia seca:

$$\%MS = 158 \times \left[\frac{\text{Peso en el aire}}{\text{peso del aire} - \text{peso del agua}} \right] - 142$$

2.5.5 Altura de las plantas.

Este parámetro se evaluó haciendo un seguimiento de seis plantas por tratamiento previamente marcados lo cual consistía en tomar la distancia entre la base del tallo hasta el último brote.

2.5.6 Análisis foliar

El análisis foliar se realizó a los seis meses de edad del cultivo, tomando como muestra foliar a las seis plantas de los dos surco centrales de cada parcela, esta se realizó seleccionando la hoja numero 5 de cada tratamiento, contando de arriba hacia abajo las hojas bien formada; los tejidos foliar, se realizo un tratamiento de acuerdo a las técnicas descrita por Lora (1970), mas tarde se colocaron en una estufa a una temperatura de 70°C, durante 48 horas, posteriormente se procedió a molerlo para luego hacerle su respectivo análisis.

2.6 METODOS ESTADÍSTICOS.

Los métodos estadísticos para evaluar los diferentes parámetros fueron:

- ° Análisis de varianza.
- ° Prueba de Tukey.
- ° Correlaciones y Regresiones.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 VARIABLES DE PRODUCCION

Los resultados obtenidos en la presente investigación sobre fuentes y dosis de Azufre (S) en el cultivo de yuca se presenta a continuación:

3.1.1 Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento total de raíces.

Al realizar el análisis de varianza para el rendimiento total de raíces, se encontró que se presentó diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$). Encontrándose un coeficiente de variación del 4.72, lo cual indica que está entre el límite de confiabilidad que es del 95.28%.

Para determinar el mejor promedio de rendimiento de los tratamientos, se realizó la prueba comparativa promedio de Tukey (tabla 3), en la cual se observa que el tratamiento (T₄), que corresponde a la dosis de 90 Kg/ha de Sulfato de Amonio, presentó mayor producción del cual el cual dio rendimiento de 44.34 t/ha. Comparado con el testigo que fue de un rendimiento de 10.59 t/ha.

En la prueba comparativa promedio de Tukey, también se pudo observar que en la fuente de sulfato de Potasio el mayor rendimiento fue el del tratamiento (T₇), con una producción de 38.570 t/ha, que corresponde a la dosis de 60 Kg/ha.

Melin (21), encontró que los aumentos de los rendimientos, se deban a una mejor utilización de los fertilizantes nitrogenado por efecto del azufre. Sin embargo en los rendimientos y calidad del producto no solo interviene el azufre, no hay que olvidarse de los demás nutrientes que se encuentra relacionado con este elemento, en el caso del potasio cuando esta disponible en cantidad y forma adecuada proporciona un aumento en el rendimiento.

Tabla 3. Promedio de rendimiento total de raíces en Kg/ha, para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), Clon CM 4919-1.

Tratamiento	Kg de S/ha	Promedio
T ₁	0	10.593 f
T ₂	30	17.455 e
T ₃	60	26.652 c
T ₄	90	44.343 a
T ₅	0	10.622 f
T ₆	30	20.387d
T ₇	60	38.520 e
T ₈	90	17.840 ed

Valores con una letra en común no son diferentes estadísticamente. En caso contrario presenta diferencia significativa al 5%, según la prueba de Tukey.

3.1.2 Diámetro de la raíz en centímetro (cm).

Al efectuar el análisis de varianza se encontró que entre los tratamientos hubo diferencia significativa ($P < 0.05$). Esta variable presento un coeficiente de variación del 1.30%, el cual indica que tiene 98.7 % de confiabilidad.

Al analizar el comportamiento de los tratamientos evaluados, de acuerdo a la prueba comparativa de Tukey, se encontró que la fuente del Sulfato de Amonio, presento un efecto positivo, siendo el tratamiento (T_4), el de mejor comportamiento, el cual corresponde a la dosis de 90 Kg/ha, con un promedio de 9.02 cm de diámetro de la raíz.

De igual manera se pudo demostrar que el testigo (T_1), fue el que menor se comporto, el cual corresponde a la dosis de 0 Kg/ha de Sulfato de Amonio, con un promedio de 6.25 cm de diámetro de la raíz.

Con respecto a la fuente de Sulfato de Potasio, el T_6 , dosis de 30 Kg/ha de sulfato de potasio, con promedio de 8.57 cm, presento un comportamiento favorable, se observo además que esto no supero las necesidades obtenida, ya que el T_4 con dosis de 90 Kg/ha de sulfato de amonio, su promedio fue de 9.02 cm de diámetro de la raíz (tabla4).

La influencia que tiene los elementos azufre, nitrógeno y potasio en diámetro de la raíz es la alta movilidad y la disponibilidad en el suelo durante los primeros estados de desarrollo del cultivo, para promover un buen desarrollo del sistema radicular, ya que a su vez el azufre sirve como regulador para acelerar el desarrollo de la raíz.

Tabla 4. Promedio del diámetro de la raíz en cm para cada uno de los tratamientos de fertilización aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1

Tratamiento	Kg de S/ha	Promedio
T ₁	0	6.2525 e
T ₂	30	7.2845 d
T ₃	60	8.4250 b
T ₄	90	9.0250 a
T ₅	0	6.2800 e
T ₆	30	8.5725 e
T ₇	60	7.7500 c
T ₈	90	7.1800 d

Valores con una letra en común no son diferentes estadísticamente, en caso contrario presenta diferencia significativa al 5%. Según la prueba de Tukey.

3.1.3 Longitud de la raíz en centímetro (cm).

Al realizar el análisis de varianza, se este presento que hubo diferencia significativa entre los tratamientos para cada uno de las fuentes (P<0.05). El

coeficiente de variación para esta variable fue de 6.40, el cual indica que hay un 93.6 % de confiabilidad.

De acuerdo al prueba comparativa promedio de Tukey, se encontró que el tratamiento que mejor se comporto fue el T₄, correspondiente a la dosis de 90 Kg/ha de Sulfato de Amonio, con promedio de 43.34 cm. Por otro lado el testigo (T₅), fue el que menor longitud dió, que corresponde a la dosis de 0 Kg/ha, con un promedio de 28.76 cm.

De igual manera se demostró que la fuente de Sulfato de Potasio mostró que el tratamiento (T₇), tuvo una longitud dela raíz de 41.67 cm y con una dosis de 60 Kg/ha de Sulfato de Potasio.

Con respecto a la literatura citada no se encontró antecedentes que pudieran comprobar a cerca de la normatividad requerida en este ensayo, en cuanto a la longitud de la raíz. Pero se predispone que para obtener una buena longitud de la raíz, es necesario mantener un buen programa de fertilización y un buen manejo de las labores culturales, lo que puede traducirse con un buen desarrollo de las raíces.

Las fuentes utilizada en la investigación presentaron resultados buenos, lo que confirma que por tener contenido bajo de azufre en suelo que al suplir esta carencia, se obtuvieron un mejor respuesta a la aplicación, junto con el efecto de

los elementos nitrógeno y potasio de esta forma se obtuvo un buen desarrollo del sistema radicular.

Tabla 5. Promedio de la longitud de la raíz en Cm, para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), Cm 4919-1.

Tratamiento	Kg de S/ha	Promedio
T ₁	0	29.065 c
T ₂	30	33.207 cb
T ₃	60	35.175 b
T ₄	90	43.305 a
T ₅	0	28.760 c
T ₆	30	33.895 b
T ₇	60	41.675 a
T ₈	90	30.350 cb

Valores con una letra en común no son diferentes estadísticamente. En caso contrario presenta diferencia significativa al 5%. Según la prueba de Tukey.

3.1.4 Porcentaje de Materia Seca.

Al realizar el análisis de varianza se encontró que hubo diferencia significativa entre los tratamientos para cada una de las fuentes ($P < 0.05$). El coeficiente de variación para esta variable fue de 2.13 %, lo cual indica que hay un 97.8 % de confiabilidad.

Los resultados obtenidos con respecto al porcentaje de materia seca de las diferentes fuentes y distintas dosis de fertilizantes se puede observar en la tabla 6.

Al realizar la prueba comparativa de Tukey, indica que los mejores comportamientos se presentaron en los tratamientos T₄, T₆ y T₇, con dosis de 90 Kg/ha de sulfato de amonio, 30 y 60 Kg/ha de sulfato de potasio, presentando promedio de 36.7, 34.9 y 36.2 % respectivamente.

De igual forma nos indicó que los menores porcentaje de materia seca de los testigos de las diferentes fuentes, T₁ con dosis de 0 Kg/ha de sulfato de amonio, con promedio de 31.4% y el T₅ dosis de 0 Kg/ha de sulfato de potasio, con promedio de 31.2%. Estadísticamente no presenta diferencia significativa porque tiene letra en común.

En el primer encuentro técnico nacional de producción y transformación de yuca, realizado en Tolú Sucre (Colombia), en el año de 1997. Se expresó que el contenido de materia seca de las raíces fluctúa entre 35- 38%, lo que equivale a la relación de 2.6 tonelada de raíces fresca para obtener 1 tonelada de harina de yuca.

En la investigación los tratamientos que están dentro de este rango son el T₄ y el T₇, con una dosis de 90 Kg/ha de Sulfato de Amonio y 60 Kg/ha de Sulfato de Potasio.

En estudio realizados por Iglesia, Lenis y Calles (17), en el segundo semestre del año de 1995, en el corregimiento de media luna (Magdalena), con el Clon 4919-1 encontraron un resultado de 37.9% de materia seca. En la investigación propuesta los tratamientos dieron un porcentaje de materia seca similar, dando el mejor porcentaje el T₄, con promedio de 36.7%, siendo el de menor porcentaje el T₅, con promedio de 31.2%, que corresponde al testigo, lo que indica que la fertilización proporciona un aumento del porcentaje de materia seca en raíces de la yuca.

Zapata y munerva (31), encontraron que la aplicación de azufre a suelo de la serie Bacata causa aumento en la tasa de mineralización del nitrógeno y carbono orgánico, el cual se refleja en un mayor rendimiento de materia seca, debido que hubo una respuesta positiva con dosis de 90 Kg/ha de sulfato de amonio en el porcentaje de la materia seca.

Tabla 6. Promedio para el porcentaje de materia seca para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*),clon CM 4919-1.

Tratamiento	Kg de S/ha	Promedio
T ₁	0	31.450 e
T ₂	30	31.925 e
T ₃	60	33.855 dc
T ₄	90	36.750 a
T ₅	0	31.200 e
T ₆	30	34.900 bc
T ₇	60	36.200 ba
T ₈	90	32.210 de

Valores con una letra en común no son diferentes estadísticamente. En caso contrario presenta diferencia significativa al 5%. Según la prueba de Tukey.

3.1.5 Altura de la planta en metro (m).

Al realizar el análisis de varianza se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

Al hacer la prueba comparativa de Tukey, para determinar cual de los tratamientos fue el mejor, se pudo demostrar que la mayor altura se obtuvo en el T₇, que corresponde a la dosis de 60 Kg/ha, con promedio de 1.8 m. Por otro lado el tratamiento que dio la menor altura fue el T₅, con su respectiva dosis de 0 Kg/ha, con promedio de 1.2 m. Pero estadísticamente no hay diferencia significativa.

De igual manera se pudo demostrar que la fuente de Sulfato de Amonio, dio una altura comparativa, mostrando en la investigación la segunda mejor altura el tratamiento (T₂), con un promedio de 1.7 m. Con respecto a lo anterior se puede deducir que la altura de la planta no esta intrínsecamente relacionada con el rendimiento.

Con relación a la literatura citada en esta investigación no se encontró antecedente que pudieran comprobar acerca de la normatividad requerida, en cuanto a la altura de la planta, pero se predispone que para obtener una mayor altura es necesario mantener un buen manejo de fertilización y un buen manejo de las labores culturales, que conlleva a una mejor altura. Sin embargo esto está sujeto a las características genotípicas de cada genotipo.

El azufre y potasio junto con el nitrógeno es requerido por las plantas, para un buen crecimiento, cuando el nitrógeno y el potasio se encuentra balanceado el suelo lo esta tomando en una forma adecuada, lo cual contribuye a que haya una mejor altura en las plantas, pero cuando esto dos elementos no se encuentra balanceado el uno bloque la fijación de otro, esto puede influir en haya un lento crecimiento y desarrollo de la planta.

Tabla 7. Promedio de altura de la planta en metro, para cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados en el cultivo de la yuca tipo industrial (Manihot esculenta Crantz),clon CM 4919-1.

Tratamiento	Kg de s/ha	Promedio
T ₁	0	1.255 bc
T ₂	30	1.708 a
T ₃	60	1.698ba
T ₄	90	1.623 bac
T ₅	0	1.232 c
T ₆	30	1.607 bac
T ₇	60	1.840 a
T ₈	90	1.590 bac

Valores con una letra en coman no son diferente estadísticamente. En caso contrario presenta diferencia significativa al 5%. Según la prueba de Tukey.

3.2 ANALISIS DE CORRELACION Y REGRESION.

3.2.1 CORRELACION SIMPLE.

Se realizaron los análisis de correlación y regresión con el objeto de comparar los resultados obtenidos, utilizando cada uno de las fuentes por tratamiento. Se hicieron las siguientes correlación:

- ◇ Rendimiento total (Kg/ha) vs Análisis foliar.
- ◇ Rendimiento total (Kg/ha) vs Diámetro de la raíz (cm).
- ◇ Rendimiento total (Kg/ha) vs Longitud de la raíz (cm).
- ◇ Rendimiento total (Kg/ha) vs Porcentaje de materia seca.

3.2.1.1 Rendimiento vs análisis foliar.

Al efectuar el respectivo análisis de correlación entre las dos variables rendimiento total (Kg/ha) y el análisis foliar, se encontró que hubo una correlación inversa y negativa. Utilizando como fuentes sulfato de amonio y sulfato de potasio, arrojó un coeficiente de correlación $r = 0.112$, indicando que hay una poca relación entre las dos variables y que se puede deducir que el contenido de azufre en las hojas no influye en el rendimiento del cultivo, debido a que se pudo observar que los mejores tratamientos en rendimiento presentaron bajo resultado en el análisis foliar (Anexo F).

3.2.1.2 Rendimiento total (Kg/ha) vs Diámetro de la raíz (cm).

Al analizar los resultados de la correlación se pudo observar, presentaron una alta relación entre las variables rendimiento total (Kg/ha) y Diámetro de la raíz (cm), con un coeficiente de correlación $r = 0.779$, que en términos generales quiere decir que al aumentar el diámetro de las raíces se nota un aumento del rendimiento en el cultivo (Anexo G).

3.2.1.3 Rendimiento total (Kg/ha) vs Longitud de la raíz (cm).

La prueba de correlación del rendimiento total (Kg/ha) con la longitud de la raíz (cm), utilizando fuente de azufre, arrojó un coeficiente de correlación $r = 0.985$, lo

cual indica que hubo una correlación altamente significativa y positiva entre las variables. Estos resultados muestran que al obtener raíces largas, el incremento en el rendimiento es mayor (Anexo H).

3.2.1.4 Rendimiento total (Kg/ha) vs Porcentaje de materia seca.

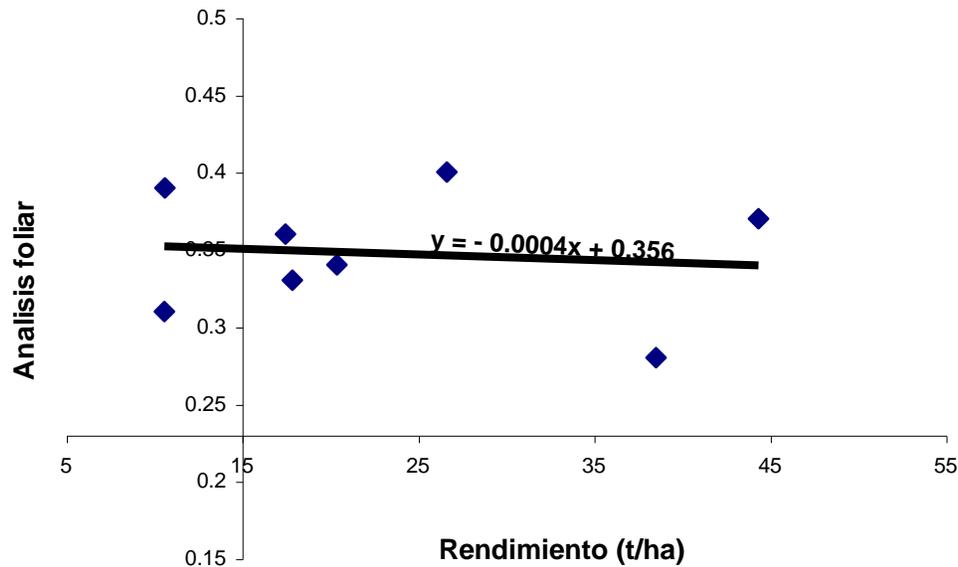
Al analizar los resultados de la correlación entre el rendimiento y el porcentaje de materia seca se encontró que el coeficiente de correlación $r = 0.936$. Este valor demuestra que existe una alta significancia y positiva, ya que está próximo al valor de 1. Esto quiere decir que el aumento de la materia seca en las raíces de la yuca, predispone al incremento del rendimiento en la época de la cosecha, para comprobar esto se hizo el análisis de regresión (Anexo I).

3.2.2 REGRESIO LINEAL.

3.2.2.1 Rendimiento total vs análisis foliar.

El análisis de varianza de la regresión lineal muestra que el valor de $Pr > F$ fue de 0.79 (ver Anexo G), la cual la regresión está dada por la ecuación $y = 0.004 + 0.356x$ (ver figura 1), esto nos confirma que hubo una relación negativa entre las variables rendimiento Kg/ha y análisis foliar.

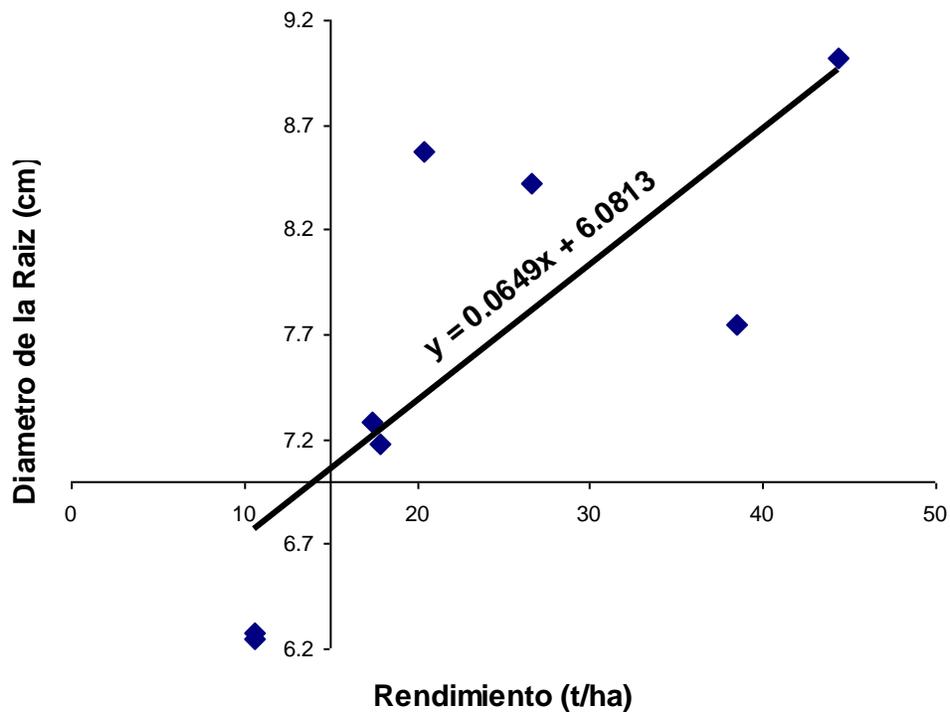
Figura 1. Regresión lineal entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Análisis foliar, en el cultivo de la yuca clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta* Crantz).



3.2.2.2 Rendimiento total vs Diámetro de la raíz (cm).

El análisis de varianza de la regresión mostró que el valor de $Pr > F$ fu de 0.022, la regresión esta dada por la ecuación $y = 0.064 + 6.081x$, confirmando que hubo una relación directa y positiva entre las dos variables rendimiento total y diámetro de la raíz (cm). Esto verifica que a mayor grosor de la raíz se incrementa el rendimiento.

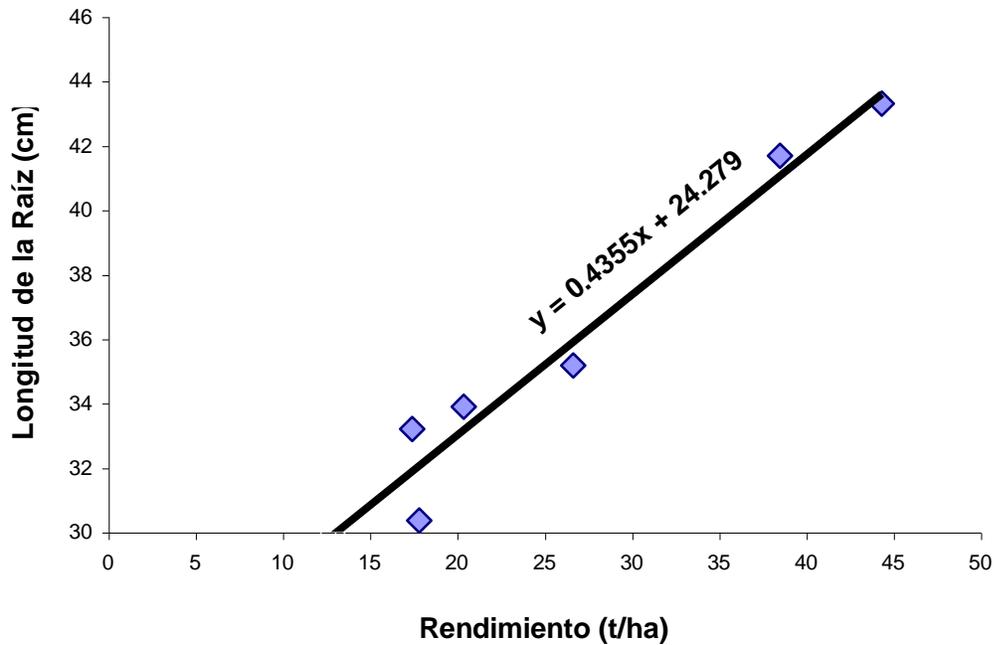
Figura 2. Regresión lineal entre las variables rendimiento total (Kg/ha) vs Diámetro de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).



3.2.2.3 Rendimiento total vs Longitud de la raíz (cm).

El análisis de varianza de la regresión lineal mostró que el Valor de $Pr > F$ fue de 0.000 , la regresión esta dada por la ecuación $y= 0.435 + 24.279x$ (ver figura H).lo cual nos confirma que hubo una relación directa y positiva entre las variables rendimiento total y Longitud de la raíz (cm). De acuerdo a estos resultados se puede determinar que a mayor longitud de la raíz aumenta en forma directa el rendimiento.

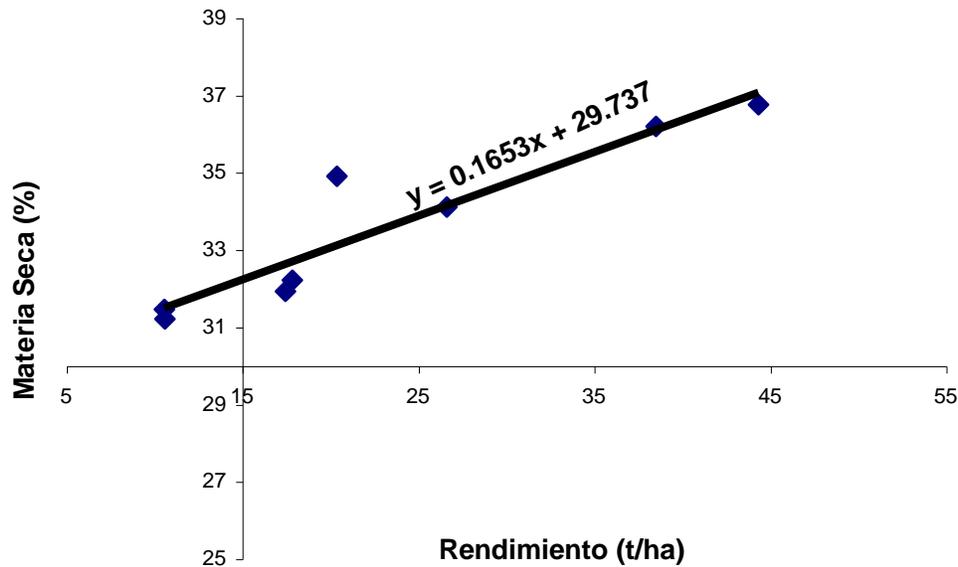
Figura 3. Regresión lineal entre las variables entre Rendimiento total (Kg/ha) vs longitud de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).



3.2.2.4 Rendimiento total vs Materia seca.

El análisis de variación de la regresión lineal mostró que el valor de $Pr > f$ fue de 0.0006 (ver Anexo I). La regresión esta dada por la ecuación $y = 0.165 + 29.737x$ (ver figura 4), esto nos confirma que hubo una relación directa y positiva entre las variables rendimiento total y Materia seca.

Figura 4. Regresión lineal entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Porcentaje de materia seca, en el cultivo de la yuca clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).



3.3 ANALISIS DEL TEJIDO FOLIAR A LOS SEIS MESE DEL CULTIVO.

Los resultados obtenidos con respecto al análisis foliar en diferentes fuentes y dosis en estudios, se pueden observar en la tabla 8.

Al tomarse la muestra foliar a los seis meses de edad de las plantas se observó diferencia entre los contenidos de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, y Azufre. Acumulados en las hojas para cada tratamiento.

Al comparar los diferentes macronutrientes existentes para el cultivo de la yuca según Monómero Colombo – Venezolano (22). Se deduce lo siguiente:

El contenido de Nitrógeno en las hojas de los tratamientos esta en un nivel alto (>15 ppm).

EL contenido de Fósforo en las hojas de los tratamientos esta en un nivel muy bajo (< 5 ppm).

El contenido de Potasio en las hojas de los tratamientos esta en un nivel moderado (10 – 15 ppm) a diferencia del tratamiento T₇ que se encuentra en el nivel bajo (5 – 10 ppm)

.

El contenido de Calcio en las hojas de los tratamientos esta en un nivel bajo (5 – 10 ppm).

El contenido de Magnesio en las hojas de los tratamientos esta en un nivel muy bajo (< 5 ppm).

El contenido de Azufre en las hojas de los tratamientos esta en un nivel muy bajo (< 5 ppm).

Tabla 8. Análisis del tejido foliar a los seis meses de edad del cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*),clon CM 4919-1 para cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	Kg de S/ha	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)
T ₁	0	44.8	3.1	11.3	6.2	2.9	3.1
T ₂	30	43.7	3.1	12.3	7.5	3.5	3.6
T ₃	60	43.1	3.1	12.3	9.3	3.9	4.0
T ₄	90	42.6	2.9	10.2	8.2	3.1	3.7
T ₅	0	45.9	2.9	11.1	6.3	3.1	3.9
T ₆	30	43.7	2.9	10.8	8.1	3.3	3.4
T ₇	60	45.4	2.6	9.6	6.1	2.8	2.8
T ₈	90	44.2	3.8	12.3	7.7	3.1	3.3

CONCLUSION

1. En el presente ensayo la fuente que presento mejores resultados fue Sulfato de Amonio.
2. El azufre tiene una influencia positiva en el desarrollo del cultivo de la yuca, aumentando la producción, el diámetro de la raíz, longitud de la raíz, porcentaje de materia seca y altura de la planta, cuando se usan las dosis adecuadas.
3. La fuente que presento mejor comportamiento agronómico fue Sulfato de amonio, en dosis de 90 Kg/ha. Por presentar los valores promedio mas alto en rendimiento con 44.3 t/ha, diámetro de la raíz con 9.02 cm, longitud de la raíz con 43.3 cm y porcentaje de materia seca con 36.7.
4. En lo que a la altura corresponde, se presento respuesta a la fertilización con azufre, en la diferente lectura, a lo largo del ciclo de crecimiento, desarrollo y producción. Lo que conlleva a establecer que el azufre interviene en forma directa en la altura de la planta.
5. Independientemente de cultivar en la zona bananera del magdalena, las diferentes variedades existen del cultivo de la yuca, el clon CM 4919-, se correlación de manera directa, proporcional y altamente significativa con las fuentes y dosis de azufre (sulfato de amonio y sulfato de potasio), que se utilizaron en esta investigación.

6. Finalmente se puede concluir que aplicando una adecuada fertilización ,utilizando las fuentes y dosis de azufre correctamente, esta contribuye a un mejor desarrollo fisiológico, fase vegetativa y producción del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, M. introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1961.

Pagina 472.

BAQUERO, Cesar. Disponibilidad de boro en suelos del Centro de Investigación Caribia: Características de la 5 series de suelos estudiados. Palmira. 1992, Pagina 23,27. Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencia Agropecuarias.

BEAR, F. E. Química del suelo. Madrid. Ediciones Interciencia. 1963. Pagina 435.

BLAIR, J. S. Su importancia como nutriente en la agricultura tropical. En: Surphur in depropies international. S.I.: Fertilizer development center, Monómero Colombo – Venezolano. 1986. Pagina 43.

CANCHANO, E. Uso y manejo de suelos. Santa Marta. Colombia. 1.

CIAT. Yuca investigación, producción y utilización. Documento de trabajo. No 50. Pagina 657.

CIAT. Reseña de los logros principales durante el periodo de 1833 – 1977. Cali Colombia. 1984. Pagina 95.

DOMIGUEZ, C. Referencia de los cursos de capacitación sobre yuca dictado por el centro internacional de agricultura tropical. CIAT. 1971. Pagina 654.

DIAZ, R. HOWELER, R. Descripción de los suelos utilizados para el cultivo de la yuca. Palmira. Colombia. CIAT. 1981. Pagina 9.

FASSBENDER, H. W. Química de suelos. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 1969. Pagina 266.

FINK, A. Fertilizantes y fertilización. España. Reverte S.A. 1985. Pagina 35-63

GALIANO, F. Análisis de plantas: Metodología. Fundamento para la interpretación de análisis químico. En revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santa fe de Bogota. 1995. Pagina 287-304.

GONZALEZ, G. I. Azufre disponible en suelos de la Costa Atlántica. Pagina 44-50. En: Suelo ecuatoriales. Bogota D.C. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen 18, No 1. 1985. Pagina 228.

GUERRERO, R. Características de los fertilizantes que contiene azufre. En Seminario Nacional El azufre en la agricultura. Palmira. 1988. Pagina 82.

GUERRERO, R. y BURBANO, O. H. Niveles crítico de disponibilidad para las plantas en suelo de los Llanos Orientales y la Sabana de Bogota. En Monómero Colombo – Venezolano: Su importancia como nutriente en la Agricultura tropical S.I: S.n. 1976. Pagina 43.

IGLESIA, LENIS Y CALLE. Primer encuentro técnico nacional de producción y transformación de yuca. Estructuración de un programa de mejoramiento y Multiplicación de semilla de yuca en la Costa Atlántica colombiana. Colombia. 1997. Pagina 60 -65.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Estado actual de la fertilización de los suelos colombiano y estimativos. Bogota, Ministerio de Agricultura. 1980.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Estación experimental Tulio Ospina. Curso sobre producción de yuca. Medellín. Colombia. 1975. Pagina 2-4 y 176-178.

MALAVOLTA, E. Balance del Azufre en la Agricultura Americana. Suelos Ecuatoriales. Volumen 20. Nº 1. 1990. Pagina 56-68.

MELIN, P. y ABERT, B. Observation sur un type de maturation normal (pulpe janue) de la banane avant récolte. Fruit 28 (12). 1993. Pagina 831.

21. MONOMERO. Fertilización de cultivos en clima cálido. 1984. Pagina 122.

MONTALDO, A. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. ICA. San José, Costa Rica. 1983.

PEDRAZA, L. A. Disponibilidad del azufre para las plantas en los suelos de los Llanos Orientales de Colombia, suplemento revista ICA. IX: 77. 1974. Pagina 120.

PREVOT, P y OLLAGINIER, M. Método de utilización del diagnostico foliar: fertilite. S.L. 1957. Pagina 2-12.

RAUDALES, P. y CUELLAR, R. Fijación de fósforo en suelos de la zona bananera. Santa Marta, 1974. Pagina 41. Tesis (ingeniero). Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

REYES CASTAÑEDA, P. Diseño de experimentos aplicados Ed. Trillas. México. 1980. segunda edición. Pagina 344.

SHARDER, Kart. Nutrición de los suelos, fertilizantes. Química agrícola. Tomo I. México. 1960. Pagina 372.

THOMPSON, L. M. El suelo y su fertilización. Traducción de Ricardo Clara. Barcelona. 1965. Pagina 409.

WITEHEAD, D. C. Soil and plant nutrition aspects of the sulfur cycle, 1964. Soil and fertilizer 27. Pagina 2-8.

VALENCIA, A. G. Respuesta al calcio, magnesio y azufre en cultivo de clima medio. Suelos ecuatoriales. 1979. Pagina 186-195.

ZAPATA, A. y MUNEVAR, F. Efecto del azufre en la mineralización del Carbono y Nitrógeno de un andisol de cundinamarca. 1985. En: IX Congreso Latinoamericano y III Congreso Colombiano de Ciencia del suelo. Resumen. Cali. Pagina 26 – 30.

A N E X O S

Anexo A. Análisis de varianza para la variable de rendimiento total en Kg/ha para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Tratamiento	7	4321.32915	617.33274	508.91	0.0001
Bloque	3	3.24211	1.080703	0.89	0.4621
Error	21	25.474166	1.213056		
Total	31	4350.04542			

CV = 4.726

Promedio de rendimiento en Kg/ha, para cada uno de los tratamientos en el cultivo de la yuca industrial Clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).

Tratamientos	I	II	III	IV	Σx	X
SAM 0	9.66	10.25	10.71	11.75	42.37	10.59
SAM 30	18.58	17.25	18.17	15.82	70.36	17.59
SAM 60	26.50	28.58	25.41	26.12	106.61	26.65
SAM 90	42.58	44.83	45.16	44.80	177.37	44.34
SOP 0	10.12	11.26	9.28	11.83	42.49	10.62
SOP 30	20.72	19.83	20.65	20.35	81.55	20.38
SOP 60	38.75	39.62	37.43	38.28	154.08	38.52
SOP 90	16.35	18.75	19.12	17.14	71.36	17.84
Σx	183.26	190.37	185.93	186.39	746.19	
X	22.90	23.79	23.24	23.26		23.29

Anexo B. Análisis de varianza para la variable diámetro de la raíz en centímetro (cm) Para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia

Fv	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Tratamiento	7	30.046497	4.292357	437.32	0.0001
Bloque	3	0.107709	0.035903	3.66	0.0289
Error	21	0.206115	0.009815		
Total	31	30.363218			

CV = 1.304

Promedio del diámetro de la raíz en centímetro (Cm), para cada uno de los tratamientos en el cultivo de la yuca industrial Clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).

Tratamiento	I	II	III	IV	Σx	X
SAM0	6.20	6.19	6.32	6.30	25.01	6.25
SAM 30	7.30	7.25	7.25	7.35	29.15	7.28
SAM 60	8.25	8.45	8.55	8.45	33.70	8.42
SAM 90	9.00	9.08	9.00	9.02	35.10	9.02
SOP 0	6.21	6.25	6.31	6.35	25.12	6.28
SOP 30	8.27	8.51	8.73	8.78	34.29	8.57
SOP 60	7.55	7.85	7.85	7.75	31.00	7.75
SOP 90	7.25	7.15	7.17	7.15	28.72	7.18
Σx	60.03	60.73	61.18	61.15	243.09	
X	7.50	7.59	7.64	7.64		7.59

Anexo C. Análisis de varianza para la variable longitud de la raíz en centímetro (cm) Para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Tratamiento	7	844.67970	120.66853	24.83	0.0001
Bloque	3	65.69803	21.89934	4.51	0.0137
Error	21	102.054140	4.859721		
Total	31	1012.431871			

CV = 6.402

Promedio de longitud de la raíz en centímetro (Cm), para cada uno de los tratamientos en el cultivo de la yuca industrial Clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).

Tratamiento	I	II	III	IV	Σx	X
SAM 0	29.15	26.31	30.18	30.62	116.26	29.06
SAM 30	33.18	34.15	33.25	32.25	132.83	33.20
SAM 60	34.25	35.12	37.12	34.19	140.70	35.17
SAM 90	36.17	44.15	47.62	45.28	173.22	43.30
SOP 0	29.12	25.17	30.15	30.60	115.04	28.76
SOP 30	32.15	33.14	36.19	34.10	135.58	33.89
SOP 60	36.12	43.25	45.15	42.18	166.70	41.67
SOP 90	29.30	30.15	30.95	31.00	121.40	30.35
Σx	259.44	271.44	290.63	280.22	1101.73	
X	32.43	33.93	36.32	35.02		34.42

Anexo D. Análisis de varianza para la variable del porcentaje de materia seca para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Tratamiento	7	134.28859	19.18408	37.35	0.0001
Bloque	3	4.53711	1.51237	2.94	0.0565
Error	21	10.785587	0.513599		
Total	31	149.611287			

CV = 2.13

Promedio del porcentaje de la materia seca, para cada uno de los tratamientos en el cultivo de la yuca industrial Clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).

Tratamiento	I	II	III	IV	Σx	X
SAM 0	31.50	31.50	31.60	31.20	125.80	31.45
SAM 30	33.25	31.12	32.18	31.15	127.70	31.92
SAM 60	35.50	31.50	34.17	34.25	135.42	33.85
SAM 60	37.25	37.15	36.25	36.35	147.00	36.75
SOP 0	31.20	31.15	31.30	31.15	124.80	31.20
SOP 30	36.10	34.15	35.20	34.15	139.60	34.90
SOP 60	36.19	36.25	36.20	36.18	144.82	36.20
SOP 90	32.25	32.45	31.89	32.85	128.84	32.21
Σx	273.24	265.27	268.79	266.68	2189.98	
X	34.15	33.15	33.59	33.33		33.56

Anexo E. Análisis de varianza para la variable altura de la planta en metro (m) para cada una de las fuentes y respectivos tratamientos, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta crantz*), clon CM 4919-1 en ensayo realizado en el centro de investigación Caribia

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Tratamiento	7	1.3029	0.1861	5.19	0.0015
Bloque	3	0.0785	0.0261	0.73	0.5455
Error	21	0.7531	0.0356		
Total	31	2.1346			

CV = 12.069

Promedio de altura de la planta en metro (m), para cada uno de los tratamientos en el cultivo de la yuca industrial Clon CM 4919-1 (*Manihot esculenta Crantz*).

Tratamiento	I	II	III	IV	Σx	X
SAM 0	1.07	1.50	1.29	1.16	5.02	1.25
SAM 30	1.58	1.96	1.55	1.74	6.83	1.70
SAM 60	1.56	1.57	1.84	1.82	6.79	1.69
SAM 90	1.69	1.55	1.64	1.61	6.49	1.62
SOP 0	1.02	0.97	1.36	1.58	4.93	1.23
SOP 30	1.45	1.70	1.82	1.46	6.43	1.60
SOP 60	2.06	1.79	1.91	1.60	7.36	1.84
SOP 90	1.50	1.47	1.57	1.82	6.36	1.59
Σx	11.93	12.51	12.98	12.79	50.21	
X	1.49	1.56	1.62	1.59		1.56

Anexo F. Análisis de varianza de correlación simple entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Análisis foliar en el cultivo de la yuca tipo industrial . (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1.

Análisis de regresión lineal $y = a + bx$

Parámetro	Estimativo	Error estándar	T calculada	Valor de P
intercepto	0.35604	0.034534	10.3098	0.000
	- 0.000366541	0.00132638	- 0.276346	0.7916

Análisis de varianza

Fv	GL	Sc	CM	FC	Pr>F
Modelo	1	0.0001451	0.0001451	0.08	0.7916
Residual	6	0.0114048	0.0019008		
Total	7	0.01155			

Coeficiente de correlación: - 0.112107

R calculada: 1.25679

Error estándar: 0.04359

Anexo G. Análisis de varianza de correlación simple entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) Vs Diámetro de la raíz (cm) en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1.

Análisis de regresión lineal $y = a + bx$

Parámetro	estimativo	Error estándar	R calculada	Pr>F
Intercepto	6.08213	0.554537	10.968	0.0000
	0.064890	0.021298	3.0467	0.0226

Análisis de varianza

Fv	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Modelo	1	4.5448	4.5448	9.28	0.0226
Residual	6	2.94073	0.49012		
Total	7	7.49022			

Coeficiente de correlación: 0.779353

R calculada: 60.739

Error estándar: 0.700087

Anexo H. Análisis de varianza de correlación simple entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Longitud de la raíz (cm), en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*),clon CM 4919-1.

Análisis de regresión lineal $y = a + bx$

Parámetro	Estimativo	Error estándar	T calculad	Pr>F
Intercepto	24.2792	0.80485	30.166	0.0000
	0.43546	0.030912	14.0869	0.0000

Análisis de varianza

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Modelo	1	204.884	204.884	198.44	0.0000
Residual	6	6.19479	1.03247		
Total	7	211.079			

Coeficiente de correlaciona: 0.9852

R calculada: 97.0652

Error estándar: 1.0161

Anexo I.. Análisis de varianza de correlación simple entre las variables Rendimiento total (Kg/ha) vs Porcentaje de materia seca, en el cultivo de la yuca tipo industrial (*Manihot esculenta Crantz*), clon CM 4919-1.

Análisis de regresión lineal $y = a + bx$

Parámetro	Estimativo	Error estándar	T calculada	Pr>F
Intercepto	29.7374	0.65735	45.2382	0.0000
	0.16530	0.025247	6.54723	0.0006

Análisis de varianza

FV	GL	Sc	CM	Fc	Pr>F
Modelo	1	29.5226	29.5229	42.87	0.0006
Residual	6	4.13229	0.68871		
Total	7	33.6549			

Coeficiente de correlaciona: 0.93659

R calculada: 87.7216

Error estándar: 0.82988