



DIR. INV.  
Junio '97

*Juan Carlos Gallardo Z.*

**“ESTUDIO DE LA RELACION Mg/K EN DIFERENTES  
SUELOS DEL ECUADOR”**

**TESIS DE GRADO**

PREVIA LA OBTENCION DEL TITULO DE



**INGENIERO AGRONOMO**

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

---

**QUITO - ECUADOR**

**1982**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

T E S I S

Presentada como requisito parcial, previo a la obtención del título de:

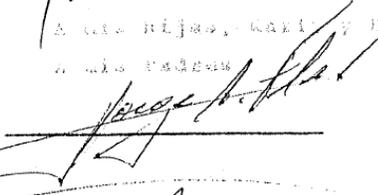
INGENIERO AGRONOMO

Aprobado:

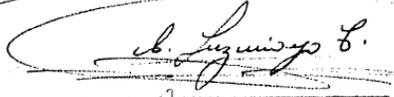
Ing. Nelson Garcés  
Presidente del Tribunal



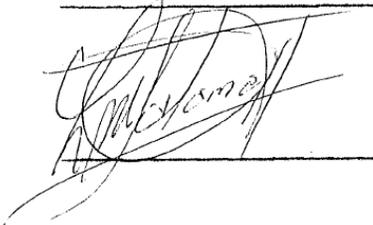
Ing. Jorge Flor I.  
Director de Tesis



Ing. Carlos Luzuriaga  
Profesor Miembro



Ing. Mario Lalama  
Profesor Biometrista



Quito, Enero de 1982

## AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi más profundo agradecimiento, en las personas del Ing. Germán Diener y de su distinguida esposa Señora Doña Aída de Diener, por su desinteresada colaboración para que este trabajo llegue a su feliz culminación.

Al Ing. Gabriel Suarez, por toda su colaboración en la iniciación de este proyecto.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, en general, y particularmente al Departamento de Suelos y Fertilizantes, en la persona del Ing. José Espinosa, por haberme permitido usar personalmente las instalaciones, equipos y reactivos necesarios para efectuar el presente trabajo.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, por acogerme en su seno como una madre buena y bondadosa, para hacer de su hijo un hombre útil a la familia, a la sociedad y a la Patria.

A todos cuantos, en una o en otra forma, hicieron posible llegar a cumplir una meta, como es terminar una carrera profesional.

CONTENIDO

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PAGINA No.</u>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	7
Matriz Experimental de Tratamientos	15
IV. RESULTADOS	19
Conclusiones Estadísticas	63
V. DISCUSIÓN	68
Interpretación práctica	69
VI. CONCLUSIONES	70
VII. RECOMENDACIONES	71
VIII. RESUMEN	72
IX. SUMMARY	73
X. BIBLIOGRAFÍA	74
XI. APÉNDICE	76
Datos de campo	
Método empleado para los análisis de Regresión y Correlación	
Fotografías	

## I. INTRODUCCIÓN

Los suelos de ciertas zonas del Ecuador, como los de la región Amazónica, tienen un bajo contenido de Potasio (K) mientras el contenido de Magnesio (Mg) va de bajo hasta alto. En estas condiciones la relación Mg/K se altera al realizar labores de fertilización. Pero la mayoría de las zonas del Ecuador tienen suelos con un alto contenido de K y/o Mg, sin embargo, ciertos cultivos presentan síntomas de deficiencia ya sea del uno o del otro elemento a pesar de existir suficiente disponibilidad de ellos en el suelo, tales son los casos de la palma africana en la costa, y del aguacate en la sierra. Por lo tanto, es necesario estudiar tanto en los suelos de bajo intercambio catiónico como en los altos, la influencia de esta relación en el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos.

Para las relaciones estudiadas en los ensayos de Romero, 1980, se consideró únicamente las cantidades de los elementos aplicados y no el contenido inicial de éstos en el suelo. En consecuencia, no se obtuvo las relaciones ni la información esperada; por tal razón se hace necesario realizar un trabajo preliminar en invernadero, tomando en cuenta la relación inicial que tiene el suelo, para luego realizar los respectivos ajustes en el campo.

Acerca de las relaciones Mg/K se conoce únicamente que ésta funciona bien dentro del rango comprendido entre 1.6 y 14 (Hunter 1975); en los suelos ecuatorianos se desconoce cuál es el rango de estas relaciones, la relación óptima agrícola dentro de este rango y a qué nivel de K funciona mejor.

Por tal motivo el presente estudio tiene como objetivo los siguientes:

1. Determinar en el ámbito de invernadero el rango óptimo agrícola de las relaciones Mg/K en algunos suelos ecuatorianos, utilizando sorgo (*Sorghum vulgare* Pers) como planta indicadora.

2. Determinar la mejor dosis de aplicación de Mg y/o K para formar la relación óptima dentro de cada nivel de K.
3. Evaluar la eficiencia y precisión de la Matriz Experimental utilizada para ubicar los tratamientos.

Una vez analizados los resultados obtenidos en el invernadero, se comprobó que esta matriz había funcionado en todos los suelos estudiados.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

La distribución de Potasio (K) total a escala mundial, sigue un esquema geomorfológico relacionado a la presencia y a la meteorización de feldespatos y micas en los materiales parentales. Además, indica que las rocas pobres en feldespatos y micas que dan origen a los suelos arenosos son pobres en K; y, los suelos arcillosos de rocas ricas en feldespatos y micas son ricos en este elemento. Indica también, que la illita muestra una selectividad específica en la adsorción y fijación de K, resultando en un alto contenido de este elemento. (FASSBANDER, 1975)

Se encontró en un suelo latosólico negro-rojizo<sup>1</sup> de Brasil, valores de K intercambiables que variaron de 0.13 a 0.28 meq de K/100 gr de suelo; y, en los suelos latosólicos del Ecuador<sup>2</sup>, valores mucho más altos, que variaron de 0.44 a 0.89 meq de K/100gr de suelo. Los valores altos de K intercambiables en los suelos del Ecuador se deben a que son derivados de arena y ceniza volcánica, encontrándose aún ciertas cantidades de minerales primarios, tales como feldespatos potásicos, biotita y muscovita; y minerales secundarios. (HARDY, 1960)

(SCHUETTE, 1968) citado en Fertilité en 1968, indica que existen dos tipos de interacción entre los elementos nutritivos: la acción inhibitoria sobre la absorción y las funciones fisiológicas de las plantas de otros elementos distintos (antagonismo); y la acción positiva que facilita la absorción y las funciones fisiológicas de otros elementos distintos (sinergismo).

---

<sup>1</sup> En la séptima aproximación corresponden a oxisoles

<sup>2</sup> Clasificación de Frei. Suelos de la costa en la séptima aproximación corresponden a inceptisoles

Como un ejemplo de antagonismo indica el mismo autor, que una dosis elevada de calcio (Ca) puede provocar deficiencias de hierro (Fe), manganeso (Mn) o Boro (B) en las plantas; y, una dosis elevada de K puede dar lugar a una deficiencia de magnesio (Mg), ejemplo de antagonismo. Por otra parte, el fósforo (P) y el Mg se ayudan mutuamente, en lo que constituye un ejemplo de sinergismo.

(BOWER & PIERRE, 1963) demostraron que una relación elevada  $(Ca + Mg) / K$  en la solución del suelo constituye un factor importante para la deficiencia potásica.

(LEON, 1968) estudió en invernadero la influencia de varias relaciones Ca/Mg/K, en un suelo clasificado como humbrandept<sup>3</sup>, con alfalfa como planta indicadora. Cuando la relación Ca/Mg fue de 2:1 la aplicación de 100 Kg/ha de K<sub>2</sub>O tuvo un efecto depresivo sobre la producción; lo contrario sucedió cuando se aplicaron 200 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Esto indica que no solamente es importante la relación Ca/Mg, sino la relación Mg/K.

(FORESTIER, 1968), citado por Bravo (1978), comprobó en dos ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Bukokó en la República de África Central, que la abundancia de K asimilable en el suelo lleva una carencia magnésica, incluso si el contenido de Mg es bueno.

(DEVLIN, 1970), señala que el Mg desempeña dos funciones esenciales en la planta, que corresponde a los procesos de fotosíntesis y metabolismo glucídico. Además, señala que el papel específico del K en las plantas es desconocido hasta ahora, no obstante, una deficiencia puede afectar procesos fisiológicos como la respiración, fotosíntesis y contenido de agua en las hojas.

Investigaciones realizadas por (SU, 1969), en Formosa, demostraron que cuando el nivel del Mg intercambiable desciende a 35ppm o menos, aparecen claros síntomas de clorosis en las hojas de piña y en estos casos la aplicación de Mg es muy rentable. La aplicación del Mg permita la recuperación del color verde de las hojas de piña o en mayor rendimiento de frutos y en el aumento del porcentaje de los frutos con pulpa sana.

---

<sup>3</sup> Séptima aproximación

(LAUGHLIN, 1966), en el valle de Matanesska, Alaska, comparó la respuesta de dos fuentes de K (KCl y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en papas; se aplicaron diferentes dosis de K y Sulfato de Magnesio, tanto al suelo como al follaje. Se observó que las aplicaciones de sulfato de magnesio deprimieron el contenido de K tanto en las hojas como en los tubérculos, pero incrementaron el contenido de Mg en las hojas.

(HUNTER, 1975), indica que si la relación Mg/K está por debajo de 1.6 o por encima de 14 se debe agregar suficiente cantidad de K o Mg hasta llevar la relación dentro de estos límites.

(ROMERO, 1980), en un ensayo llevado en invernadero utilizando sorgo como planta indicadora, observó que a medida que aumentaba la relación Mg/K disminuía el rendimiento de materia seca de esta planta. Igualmente comprobó el antagonismo de K hacia el Mg, puesto que al incrementar la fertilización potásica disminuía la asimilación del Mg; sin embargo, en el campo, este antagonismo no fue evidente.

(MERCİK, 1977), en su trabajo sobre el efecto de dosis altas de K en el suelo, concluye que el Mg reduce el efecto negativo de dosis altas de K. Fertilizaciones con K incrementaron el contenido de K en la planta mientras disminuían otros elementos, particularmente Mg. Comprobó que la planta aprovechaba solamente del 11 al 14% de K y que por lixiviación y percolación se perdía un 54 a 81%.

(NADIR, 1972), reporta como conclusión de una fertilización con fertilizantes potásicos en árboles de clementina utilizando suelos arenosos, que, la adición de K disminuye la absorción de Mg por las raíces. La relación K-Ca en las hojas se incrementó para todas las dosis de K empleadas, igualmente sucede con la relación K-Mg para dosis medias y altas, notándose además deficiencias de Mg en las hojas viejas.

(BEDI, 1977), en un ensayo de invernadero con maíz y aplicando diferentes cantidades de K y Mg a 20 suelos que se diferenciaban en la proporción de K intercambiable frente al total de los iones K, Ca y Mg; informan que, cuando “la relación del catión intercambiable era  $K / (K+Ca+Mg)$  en equivalentes”, era menor a 0.025, la fertilización con K incremento significativamente el rendimiento de materia seca. En suelos con una relación entre 0.026 y 0.025, solamente respondieron al K hasta dosis medias de 11 mg

de K/kg de suelo. A dosis mayores hubo que incrementar Mg para obtener mejores rendimientos. En suelos con relaciones superiores a 0.05, la fertilización con K redujo el rendimiento.

Optimizar la relación Ca, Mg y K parece más importante que sus cantidades absolutas. La aplicación de Mg en suelos altos de K, al mejorar esta relación catiónica se incrementan los rendimientos.

(McINTOSH, CROOKS, & SIMPSON, 1973), anotan que el incremento de K en el suelo disminuye el Mg presente en la solución del suelo, pero aumenta el Mg en la fibra de la planta.

(RADI, MUBASHER, & KHEIKAL, 1973), llevaron a cabo un cultivo hidropónico de 35 a 45 días, con K y Mg en soluciones nutritivas; informan que una alteración en la concentración de uno de estos cationes da lugar a una variación de dirección opuesta de la concentración de los otros.

(HANSEN, 1975), evaluó la aplicación de 1 200 a 2 400 kg/ha de fertilizante por ocho años, en manzana "Cox Orange Pippin", en un suelo alto de K. La concentración de K en las hojas aumento levemente con aplicaciones de K y se redujo con aplicaciones de Mg. La concentración de Mg aumentó en las hojas cuando se aplicó Mg.

De todo lo anterior se concluye que en cuanto se refiere a estos elementos, en su aplicación como fertilizante, la relación que deben guardar entre sí es tan importante como la cantidad aplicada, o tal vez mayor.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Características del lugar experimental

El presente ensayo se llevó a cabo en un cubículo del invernadero de la Estación Experimental “Santa Catalina” del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), situada en el km 18 de la vía panamericana sur, con una altitud de 3050 msnm.

#### 1. Unidad Experimental

Se utilizó macetas plásticas de 500 ml de capacidad, en ellas se sembraron 15 semillas de sorgo, uniformizando inmediatamente después de germinadas las semillas, a 10 plantas por maceta.

#### 2. Recolección de suelo y Estudio de Fijación

La relación Mg/K original fue el factor determinante para declarar aptos a los suelos, se trató en lo posible que esta relación sea lo más baja dentro de cada contenido de K, bajo, medio y alto. Para esto, se analizó varias muestras de igual número de suelos de los que se seleccionó seis que tenían las características indicadas anteriormente.

A éstos se los numeró en forma ascendente, designándoles con el N° 1 al de menor contenido de K y así sucesivamente hasta llegar al N° 6. En adelante serán denominados solamente por sus números; así Suelo N° 1, etc.

Estos suelos fueron analizados para determinar el contenido de N, P, K, Mg, Ca, Zn, S, Cu, Fe, Mn; así como su contenido de materia orgánica, textura y pH.

El Estudio de Fijación tiene como fin mantener en el óptimo todos los elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, a excepción del Mg y K que variaron de tal forma para determinar los tratamientos, así como el Calcio (Ca), para mantener la relación Ca/Mg que tenía originalmente cada suelo.

Para este estudio de fijación se siguió el procedimiento explicado en el manual de Hunter para invernaderos (8), que es el utilizado por el Departamento de Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

### 3. Origen de los Suelos Experimentales

Los suelos fueron tomados de diferentes zonas del país y presentan disímiles características físico – químicas, las cuales se detallan en las páginas siguientes.

### 4. Factores en estudio

Se evaluaron cinco niveles “estándar” de K: 0.15; 0.25; 0.35; 0.45; 0.55 meq/100 g de suelo; y, siete relaciones Mg/K: 2; 5; 8; 11; 14; 17; 20 y sus interacciones.

Cabe indicar que el Suelo N°1 tuvo los cinco niveles estándar de K y el resto de suelos perdían un nivel sucesivamente y es así que al llegar al suelo N°5 queda un solo nivel disponible. El suelo N° 6 carece de nivel estándar de K por encontrarse sobre el último nivel estudiado.

### 5. Diseño Experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar, en un arreglo factorial de  $N_i \times R_j$  con tres repeticiones, siendo:

$N_i$  = Niveles estándar de K

$$i = 1 \dots 5$$

$R_j$  = Relaciones Mg/K

$$j = 2 - 5 \dots 17 - 20$$

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 1 No. LABORATORIO: 14586

LOCALIZACION: Napo - Sacha 7

TEXTURA: Franco - arcillo arenoso

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
4,2 Ac	2,76%	0,78 A	0,42 M	0,1 B	1,86	4,2	38 M	4 B	16 M		4,9 A	+ 125 A	9,4 M	2,0 B	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								10	24		1,65		13,79	2,92	
								21	28		3,34		18,69	7,31	
								33	33		4,84		23,97	10,20	
								61	47,5		8,03		32,26	17,74	
								+	+		14,21		37,53	+	
								+	+		25,84		+	+	

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								95	26	2	2	A	2	2	2
--	--	--	--	--	--	--	--	----	----	---	---	---	---	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

								5,00	4,75	4,33	5,00	5,00	A	0,33	4,00	5,00
--	--	--	--	--	--	--	--	------	------	------	------	------	---	------	------	------

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 2 No. LABORATORIO 14587

LOCALIZACION: INIAP. Estación Experimental "Napo"

TEXTURA: Arenoso Franco

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
4,6 Ac	3,90%	1,41 A	0,50 M	0,10 B	2,82	5,00	38 M	5 B	17 M		4,9 A	+ 125 A	8,6 M	2,3 B	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								10	23		2,03	A	10,03	2,92	
								22	27		4,09		15,11	6,06	
								31	29		5,59		20,58	9,82	
								55	38		8,96		29,81	16,98	
								104	+		15,53		+	+	
								+	+		28,27		+	+	

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								100	44	2	1,5	A	5	8	2
--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	---	-----	---	---	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

							5,00	5,00	7,33	5,00	3,75	A	0,83	4,00	5,00
--	--	--	--	--	--	--	------	------	------	------	------	---	------	------	------

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 3 No. LABORATORIO 14588

LOCALIZACION: Noroccidente de Pichincha "La Armenia"

TEXTURA: Arenoso Franco

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
5,4 Ac	3,78%	1,72 A	0,31 B	0,20 M	5,55	1,55	42 M	3 B	13 M		5,6 A	116,3 A	1,5 B	1,3 B	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								8	11,5		3,9	A	2,11	1,66	
								16	18		5,4		4,94	5,3	
								23	22		7,28		7,95	9,45	
								38	36		10,46		15,49	16,73	
								76,5	+		16,84		34,52	+	
								+	+		29,02		+	+	

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								160	50	2	A	A	20	8	2
--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	---	---	---	----	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

							5,00	8,00	8,33	5,00	A	A	3,33	4,00	5,00
--	--	--	--	--	--	--	------	------	------	------	---	---	------	------	------

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 4 No. LABORATORIO 14589

LOCALIZACION: INIAP Estación Experimental "Santa Catalina"

TEXTURA: Franco Arenoso

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
5,1 Ac	4,54%	4,38 A	0,57 M	0,35 M	7,68	1,63	42 M	18 M	17 M		10,9 A	+125 A	5,6 M	4,0 M	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								26	20		8,4	A	4,75	3,67	
								34	25,5		10,28		7,01	7,31	
								44	30		11,59		9,46	10,70	
								64	40		14,21		14,36	17,23	
								103	+		20,21		32,26	+	
								+	+		30,52		+	+	

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								68	32	2	A	A	21	6	2
--	--	--	--	--	--	--	--	----	----	---	---	---	----	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

							5,00	3,40	5,33	5,00	A	A	3,50	3,00	5,00
--	--	--	--	--	--	--	------	------	------	------	---	---	------	------	------

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 5 No. LABORATORIO 14590

LOCALIZACION: Noroccidente de Pichincha

TEXTURA: Arena Franca

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
5,3 Ac	7,08%	3,59 A	0,57 M	0,40 M	6,30	1,43	67 A	5 B	13 M		6,4 A	+125 A	4,5 B	2,5 B	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								15	13		3,15	A	3,62		
								24	17		4,65		6,07		
								34	24		5,97		7,01		
								55	41		9,34		13,23		
								106	+		15,71		31,88		
								+	+		28,27		+		

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								95	42	2	A	A	21	7	2
--	--	--	--	--	--	--	--	----	----	---	---	---	----	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

							5,00	4,75	7,00	5,00	A	A	3,50	3,50	5,00
--	--	--	--	--	--	--	------	------	------	------	---	---	------	------	------

**ESTUDIO DE NUTRIENTES DE SUELO**

No. de SUELO 6 No. LABORATORIO 14591

LOCALIZACION: Napo - Payamino

TEXTURA: Franco - Arcillo Arenoso

**ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO ORIGINAL**

pH	M.O	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
5,8 L.A.	4,54%	11,10 A	2,44 A	1,28 A	4,55	1,91	34 M	10 B	13 M		10,9 A	82,5 A	+30 A	8,0 A	

**ESTUDIO DE ANALISIS DE SORCION**

								16	17		11,78	A	17,94	11,96	
								20	20		12,15		13,04	12,34	
								24	24		12,15		21,52	13,21	
								33	33		15,34		21,14	17,23	
								55	40		20,77		19,07	+	
								110	+		32,02		24,34	+	

**CANTIDAD DEL ELEMENTO NECESITADO DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE SORCION Y OTROS CRITERIOS UTILIZADOS**

								185	60	2	A	A	A	A	2
--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	---	---	---	---	---	---

**ml DE SOLUCION NUTRITIVA PARA SER AÑADIDO A 500 ml DE SUELO PARA ESTUDIO EN INVERNADERO**

							5,00	9,25	10,00	5,00	A	A	A	A	5,00
--	--	--	--	--	--	--	------	------	-------	------	---	---	---	---	------

## 6. Tratamientos en estudio

Para poder definir los tratamientos de cada suelo, se desarrolló una “Matriz Experimental” en el Departamento de Biometría de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP, en la cual, para fijar los niveles estándar de K se procedió a dividir a cada uno de los contenidos, bajo, medio y alto, en cuatro cuartos, tomando en cada caso, el primero y tercer cuarto como nivel estándar de K, a excepción del primer cuarto del contenido bajo por tener 0.05 meq de K/100 g de suelo, que no da oportunidad de encontrar un suelo con estas características para los fines de este trabajo.

Estos niveles “estándar” de K fueron ubicados en el eje de las “Y”, dejando para el de las “X” los meq de Mg, ubicados de tal forma que al pasar una diagonal por el origen de un sistema de coordenadas y por la intersección de K y Mg se formen las relaciones Mg/K.

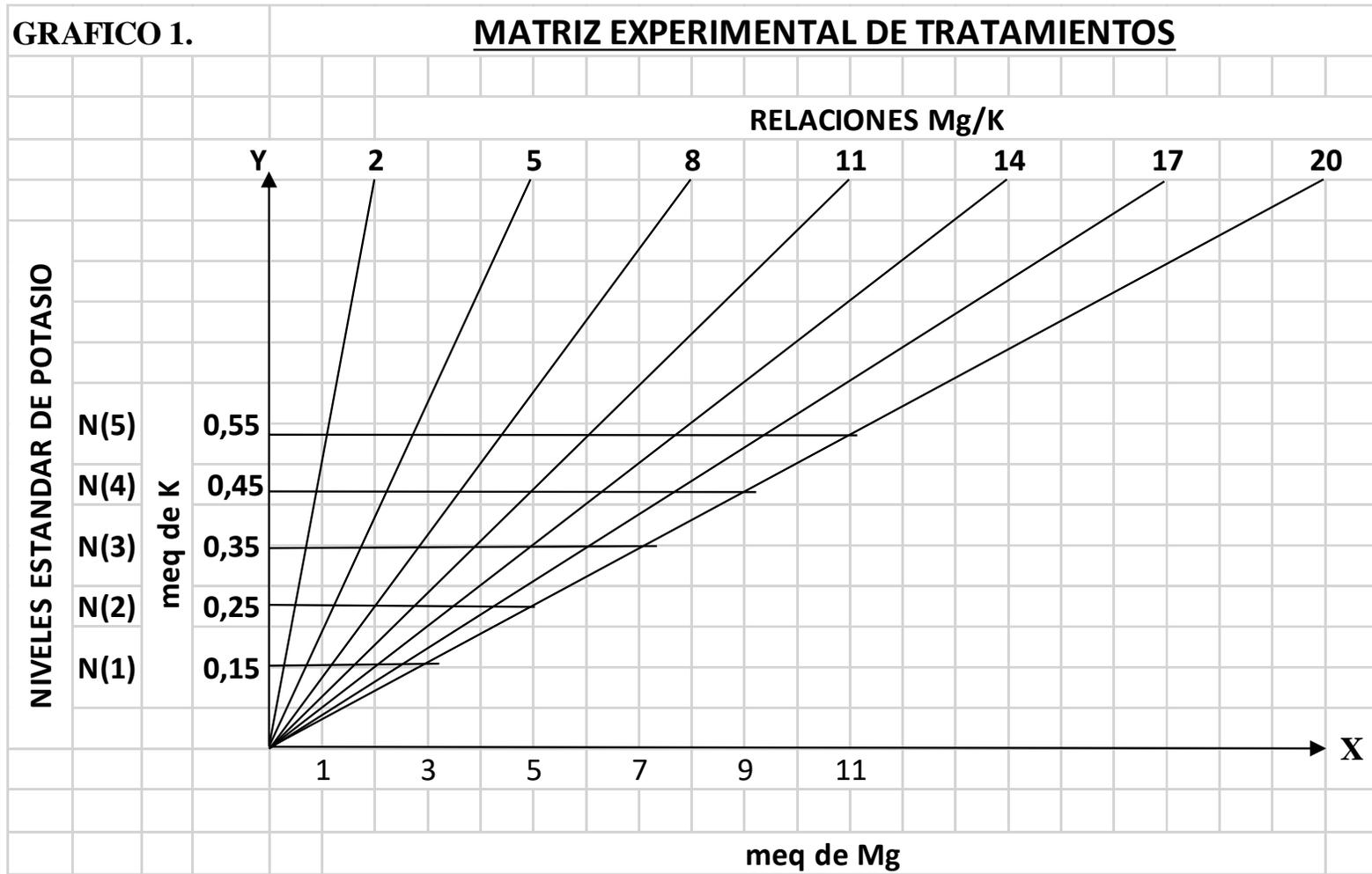
Esta matriz, formada así, es igualmente espaciada desde cualquier ángulo que se lo mire, vertical, horizontal y en diagonal; consiguiendo así Ortogonalidad para el análisis estadístico en cualquier dirección,

Los tratamientos definidos para cada suelo y la ubicación dentro de la matriz se detallan en “Método de Análisis Estadísticos”.

### a) Definición de tratamientos

Al contenido original de un suelo, se le agregó Mg para formar todas las siete relaciones en estudio. A este mismo contenido se le aumentó K hasta llegar a cada uno de los niveles estándar de K posibles y dentro de éstos, aumentar Mg y obtener todas las relaciones Mg/K.

A todos estos tratamientos se les agregó Ca en la cantidad necesaria para mantener la relación Ca/Mg original y mantener la característica de cada suelo.



## 7. Conducción del Ensayo

Los 500 ml de suelo que corresponden a cada maceta fueron puestos primeramente en fundas plásticas, en estos se añadieron las soluciones nutritivas necesarias de acuerdo al estudio de fijación. El K, Mg y Ca, respectivos para cada tratamiento, fueron añadidos en esta etapa.

Una vez secas las soluciones añadidas al suelo, fueron removidas en las fundas para mezclarlos uniformemente y pasarlos en forma definitiva a las macetas.

El agua de riego, desmineralizada, únicamente con el N, fue suministrada por capilaridad utilizando filtros de cigarrillo que fueron introducidos dos centímetros en el suelo y cuatro en el agua de riego.

A los 45 días después de la siembra, se midió en cm la altura de plantas de cada maceta para calcular su promedio y se procedió a cortarlas a un centímetro del suelo, para secarlas luego en una estufa de ventilación forzada a 105 °C con el objeto de determinar el rendimiento de materia seca.

## 8. Método de Análisis Estadístico

El rendimiento de materia seca y la altura promedio visual de la planta indicadora, son las dos variables que se evaluaron estadísticamente.

### a) Análisis general del suelo No. 1

En el suelo N.º 1 se realizó el Análisis de Variancia, Polinomios Ortogonales, lineal y parabólico, para Niveles de K y Relaciones Mg/K. Previa significación se aplicó la Prueba de Tukey al 5% y las regresiones lineal y parabólica. Para determinar la dependencia entre factores y variables; y, entre variables se calculó el coeficiente de correlación simple lineal y parabólico.

b) Análisis para Niveles en el suelo No. 1

A los tratamientos en este suelo, se los desdobló como factorial incompleto. Se realizó Pruebas de Tukey al 5% y Polinomios Ortogonales, para cada nivel estándar de K con sus respectivas Relaciones Mg/K y se realizaron la regresión simple, lineal y parabólica.

c) Análisis para Relaciones Mg/K en el suelo No. 1

Se desdoblaron los tratamientos como factorial incompleto, donde se aplicaron la Prueba de Tukey al 5% y Polinomios Ortogonales para cada Relación con sus respectivos niveles estándar de K.

#### IV. RESULTADOS

Antes de los cuadros y gráficos estadísticos de este suelo, se presenta su ubicación dentro de la Matriz Experimental (GRAFICO 2), indicando en ella los niveles de K y las relaciones Mg/K estudiadas.

Al finalizar los análisis estadísticos se presenta un sumario, en donde se reporta el primer rango se igualdad en todos los sentidos ortogonales de la matriz.

Lo expuesto es válido a todo cuanto a la variable rendimiento de materia seca se refiere. Las evaluaciones de altura, a los 10 días, a los 18 días y la toma al momento de la cosecha, fueron analizados bajo el mismo esquema, sin embargo, cuando adicionalmente se relacionó estas variables en un análisis de regresión y correlación, se observó que están altamente correlacionadas. Cuadro 1h.

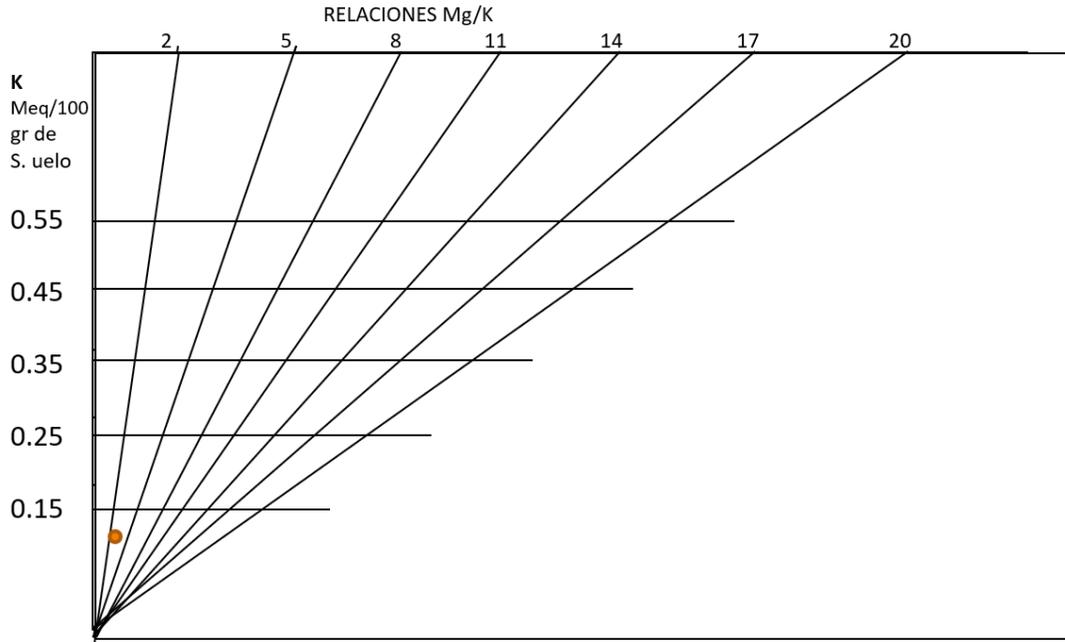
Estos coeficientes de correlación tan elevados entre rendimiento y altura, además entre alturas, implican que la interpretación del análisis estadístico de la variable rendimiento en materia seca es idéntico para la variable altura.

Además de evidenciar que el sorgo fue la planta indicadora adecuada para esta investigación, exime de repetir la interpretación y discusión de la variable altura.

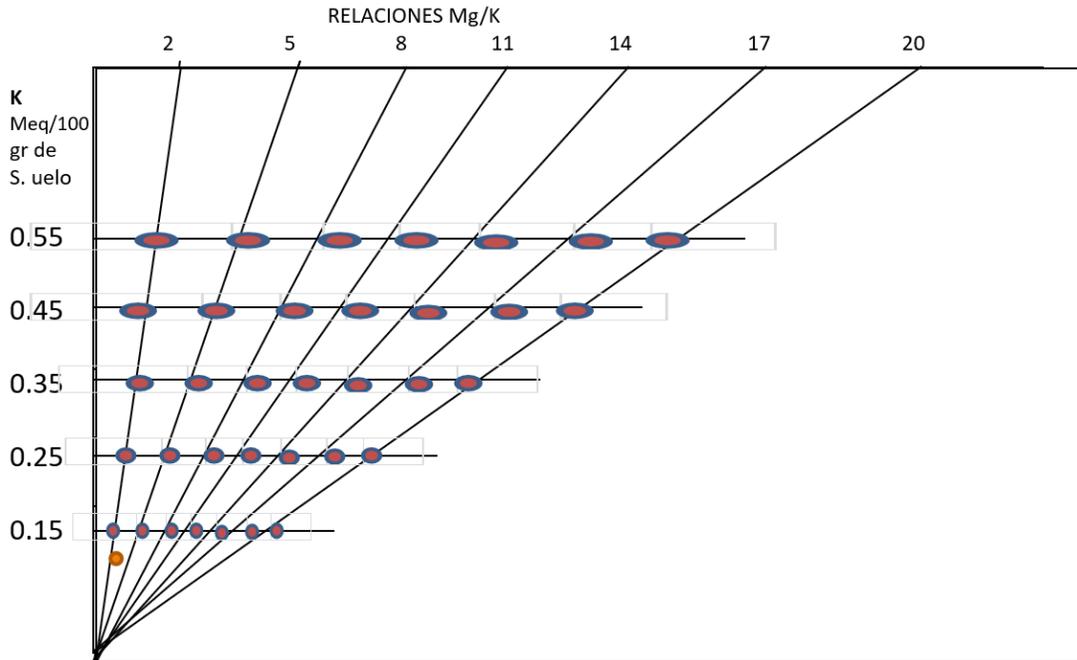
Por esta razón solamente se presenta los gráficos de los resultados de los análisis de alturas, en orden correspondiente a de los rendimientos, pero sin comentarios.

Cabe anotar que la primera altura, tomada a los 10 días, fue asimilada a un Diseño de Bloques Completos Randomizados para el análisis de varianza, debido a que sus tratamientos no estaban aun randomizados dentro del invernadero.

**GRAFICO 2. UBICACIÓN DEL SUELO 1 EN LA MATRIZ DE TRATAMIENTOS**



**GRAFICO 2A. UBICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DEL SUELO 1 EN LA MATRIZ**



CUADROS Y GRÁFICOS ESTADÍSTICOS DEL SUELO N° 1

Cuadro 1. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA, EXPRESADA EN GRAMOS.

---

<u>Fuentes de Variación</u>	<u>Grados de Libertad</u>		<u>Cuadrados Medios</u>
Total	104		
Tratamientos	(34)		9.5543 **
Niveles N	4		10.5083 **
l		1	24.5146 **
p		1	8.8851 **
Relaciones R	6		34.2426 **
l		1	139.1271 **
p		1	59.0850 **
N x R	24		3.2233 **
Error	70		0.6113

---

CV = 23.16%

$\bar{y} = 3.38$

\*\* = Significativo al 1%

\* = Significativo al 5%

NS = No significativo

l = Polinomio Lineal

p = Polinomio Parabólico

Cuadro 1a. PRUEBA DE TUKEY AL 5% DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PARA LAS MEDIAS DEL FACTOR NIVELES, EXPRESADO EN GRAMOS.

<u>NIVEL DE K</u>	<u>MEDIAS</u>	<u>RANGOS DE IGUALDAD</u>
5	3,9171	a
3	3,7410	a
2	3,6019	a
4	3,4748	a
1	2,1452	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

---

Cuadro 1b. PRUEBA DE TUKEY AL 5% DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PARA LAS MEDIAS DEL FACTOR RELACIONES, EXPRESADO EN GRAMOS.

<u>RELACIÓN Mg/K</u>	<u>MEDIAS</u>	<u>RANGOS DE IGUALDAD</u>
17	4,4773	a
11	4,2807	a
20	4,2120	a
14	4,1220	a
8	3,8260	a
5	2,3707	b
2	0,3433	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

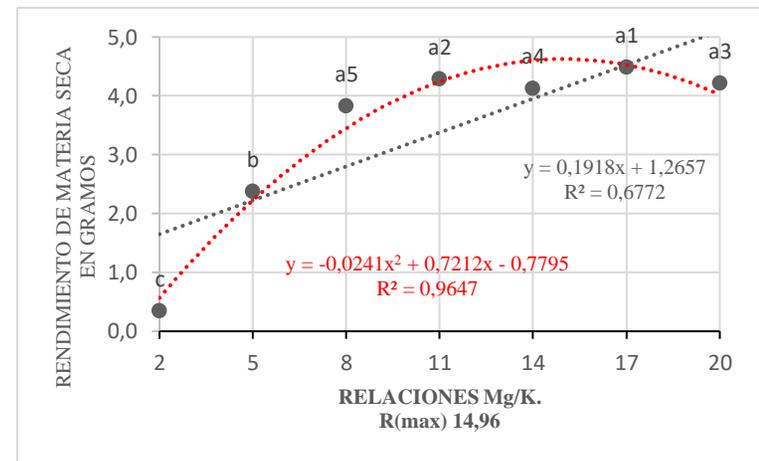
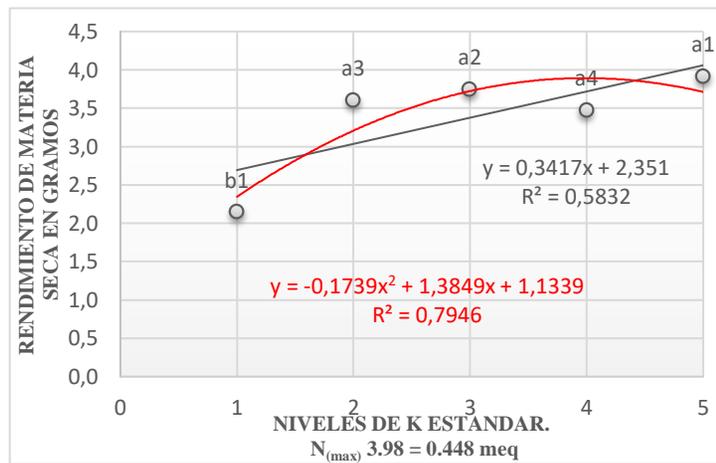
Cuadro 1c. PRUEBA DE TUKEY AL 5% DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PARA LAS MEDIAS DE LA INTERACCIÓN NIVELES x RELACIONES, EXPRESADO EN GRAMOS.

<u>NIVEL DE K</u>	<u>RELACIÓN Mg/K</u>	<u>MEDIAS</u>	<u>RANGOS DE IGUALDAD</u>									
5	8	6.2833	A									
2	20	5.7300	A	B								
3	17	5.5767	A	B								
5	11	5.4933	A	B	C							
2	17	5.3600	A	B	C							
5	14	4.7367	A	B	C							
4	11	4.7233	A	B	C	D						
2	11	4.5933	A	B	C	D						
4	14	4.5100	A	B	C	D						
3	20	4.4933	A	B	C	D						
3	11	4.4167	A	B	C	D						
2	8	4.2367	A	B	C	D						
1	17	4.1800	A	B	C	D						
3	14	4.1300	A	B	C	D						
1	20	4.0967	A	B	C	D						
4	8	4.0533	A	B	C	D						
5	17	4.0233	A	B	C	D						
2	14	3.9600	A	B	C	D						
4	20	3.7233		B	C	D	E					
3	5	3.6700		B	C	D	E					
3	8	3.6600		B	C	D	E					
4	5	3.4700		B	C	D	E					
1	14	3.2733		B	C	D	E	F				
4	17	3.2467		B	C	D	E	F				
5	5	3.2233		B	C	D	E	F				
5	20	3.0167			C	D	E	F	G			
1	11	2.1767				D	E	F	G	H		
2	5	1.1967					E	F	G	H		
1	8	0.8967						F	G	H		
5	2	0.6433							G	H		
4	2	0.5967							G	H		
1	5	0.2933								H		
3	2	0.2400								H		
2	2	0.1367								H		
1	2	0.1000								H		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### GRAFICO 3. ANÁLISIS GENERAL

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABÓLICA SIMPLES DE MATERIA SECA CON LOS NIVELES ESTÁNDAR DE K Y LAS RELACIONES Mg/K. RANGO DE TUKEY AL 5%



Cuadro 1d. PRUEBA DE TUKEY AL 5% DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA, PARA LAS MEDIAS DE LAS RELACIONES EN CADA NIVEL ESTÁNDAR DE K

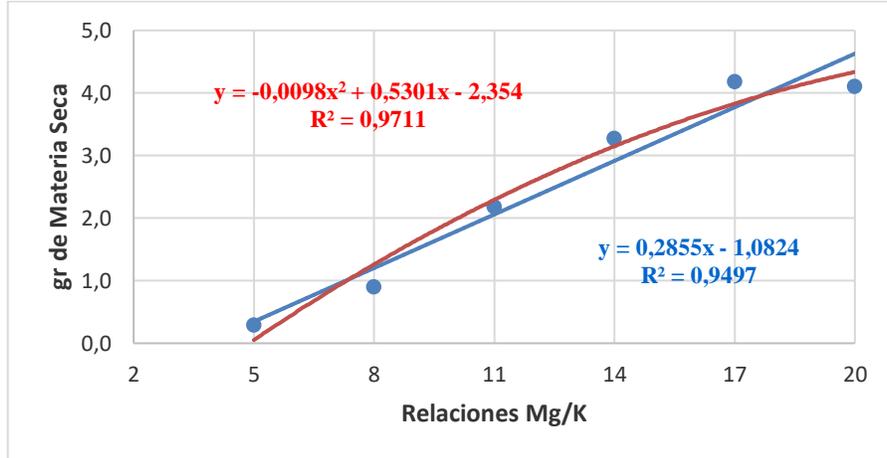
<u>RELACIONES EN CADA NIVEL DE K</u>	<u>Mg/K</u>	<u>MEDIA</u>	<u>RANGOS DE IGUALDAD</u>
R <sub>j</sub> DENTRO DE N1	17	4.18	a
	20	4.10	a
	14	3.27	a b
	11	2.18	b
	8	0.90	c
	5	0.29	c
	2	0.10	c
R <sub>j</sub> DENTRO DE N2	20	5.73	a
	17	5.36	a
	11	4.59	a
	8	4.24	a
	14	3.96	a
	5	1.20	b
	2	0.14	b
R <sub>j</sub> DENTRO DE N3	17	5.58	a
	20	4.49	a
	11	4.42	a
	14	4.13	a
	5	3.67	a
	8	3.66	a
	2	0.24	b
R <sub>j</sub> DENTRO DE N4	11	4.72	a
	14	4.51	a
	8	4.05	a
	20	3.72	a
	5	3.47	a b
	17	3.25	a b
	2	0.60	b
R <sub>j</sub> DENTRO DE N5	8	6.28	a
	11	5.49	a b
	14	4.74	b
	17	4.02	b c
	5	3.22	c
	20	3.02	c
	2	0.64	d

Cuadro 1e. POLINOMIOS ORTOGONALES LINEAL Y PARABÓLICO DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DEL FACTOR RELACIONES. EN CADA NIVEL ESTÁNDAR DE K.

<u>Relaciones dentro de cada nivel de K</u>		<u>Grados de Libertad</u>	<u>Cuadrados Medios</u>
R <sub>j</sub> dentro de N1	l	1	52.52 **
	p	1	0.0019 NS
	Error experimental	14	0.2079
R <sub>j</sub> dentro de N2	l	1	66.06 **
	p	1	6.63 **
	Error experimental	14	0.6886
R <sub>j</sub> dentro de N3	l	1	31.12 **
	p	1	10.78 **
	Error experimental	14	0.7577
R <sub>j</sub> dentro de N4	l	1	9.447 *
	p	1	18.87 **
	Error experimental	14	1.1173
R <sub>j</sub> dentro de N5	l	1	5.513 **
	p	1	48.19 **
	Error experimental	14	0.2852
	Error experimental general	70	0.6113

**GRAFICO 4.**

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y LAS RELACIONES Mg/K EN EL NIVEL 1 ESTÁNDAR DE K 0,15 meq; CONTENIDOS Y SATURACION DE Ca, Mg, K



	RO	R2	R5	R8	R11	R14	R17	R20	R29
Meq Ca	0,78		1,39	2,23	3,06	3,90	4,74	5,57	8,08
Meq Mg	0,42		0,75	1,20	1,65	2,10	2,55	3,00	4,35
Meq K	0,10		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
%Ca	60,00%		60,75%	62,28%	63,00%	63,41%	63,69%	63,88%	64,22%
%Mg	32,31%		32,71%	33,53%	33,92%	34,15%	34,29%	34,40%	34,58%
%K	7,69%		6,54%	4,19%	3,08%	2,44%	2,02%	1,72%	1,19%
(Ca+Mg)/K	12,00		14,29	22,86	31,43	40,00	48,57	57,14	82,86
pH	4,2		4,7	4,5	4,7	4,8	4,8	5,0	5,5



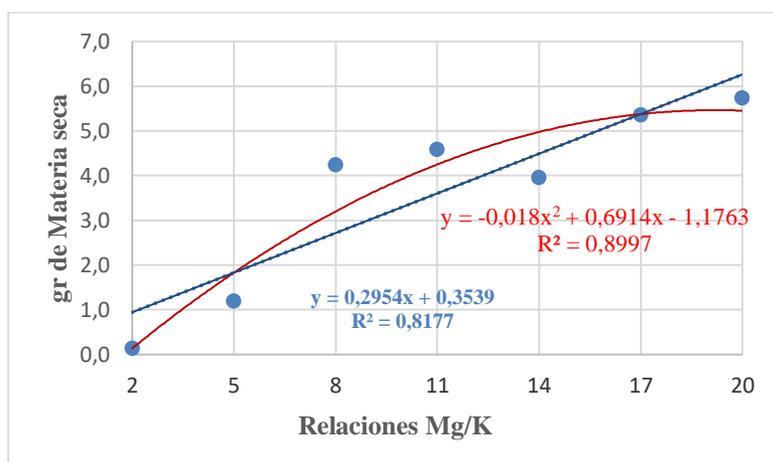
$R_j$  = Relaciones Mg/K

(RO: Relación Mg/K original del suelo)

Meq = meq/100 g de suelo

GRAFICO 5.

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y LAS RELACIONES Mg/K EN EL NIVEL 2 ESTÁNDAR DE K 0,25 meq; CONTENIDOS Y SATURACION DE Ca, Mg, K



	<b>RO</b>	<b>R2</b>	<b>R5</b>	<b>R8</b>	<b>R11</b>	<b>R14</b>	<b>R17</b>	<b>R20</b>	<b>R29</b>
Meq Ca	0,78	0,93	2,32	3,71	5,11	6,50	7,89	9,29	13,46
Meq Mg	0,42	0,50	1,25	2,00	2,75	3,50	4,25	5,00	7,25
Meq K	0,10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
%Ca	60,00%	55,32%	60,75%	62,28%	63,00%	63,41%	63,69%	63,88%	64,22%
%Mg	32,31%	29,79%	32,71%	33,53%	33,92%	34,15%	34,29%	34,40%	34,58%
%K	7,69%	14,89%	6,54%	4,19%	3,08%	2,44%	2,02%	1,72%	1,19%
(Ca+Mg)/K	12,00	5,71	14,29	22,86	31,43	40,00	48,57	57,14	82,86
pH	4,2	4,5	5,0	4,7	4,7	5,4	5,6	5,9	6,2

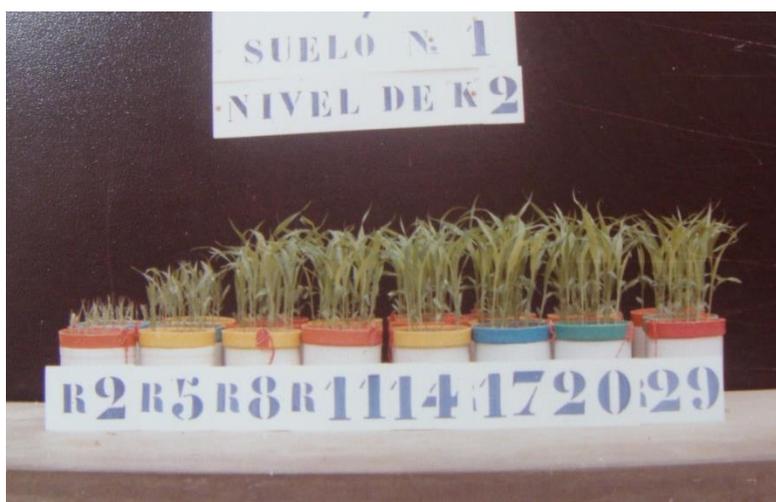
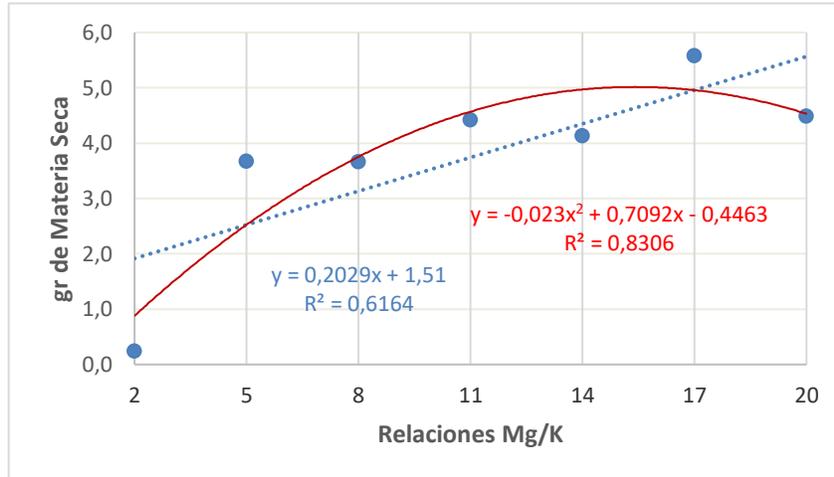


GRAFICO 6.

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y LAS RELACIONES Mg/K EN EL NIVEL 3 ESTÁNDAR DE K 0,35 meq, CONTENIDOS Y SATURACION DE Ca, Mg, K

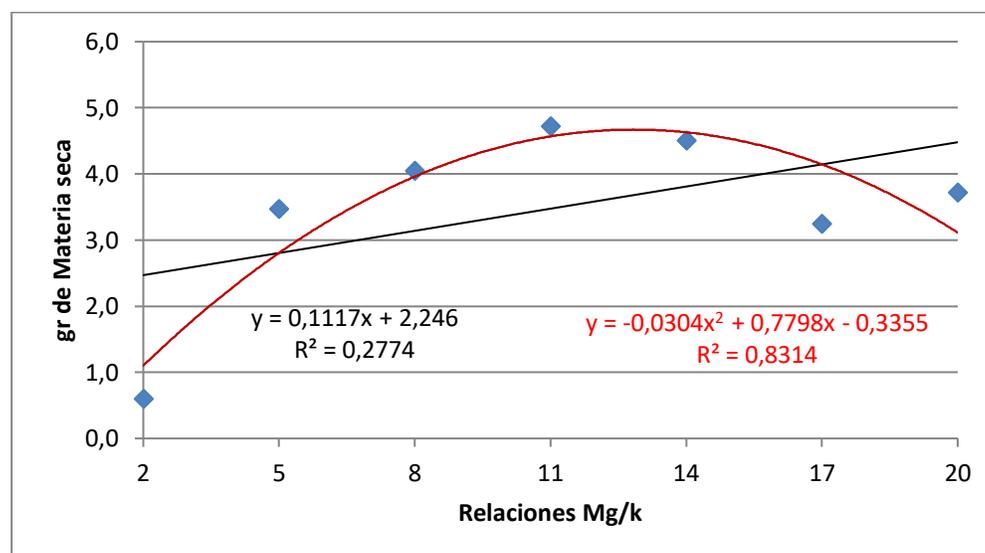


	<b>R0</b>	<b>R2</b>	<b>R5</b>	<b>R8</b>	<b>R11</b>	<b>R14</b>	<b>R17</b>	<b>R20</b>	<b>R29</b>
Meq Ca	0,78	1,30	3,25	5,20	7,15	9,10	11,05	13,00	18,85
Meq Mg	0,42	0,70	1,75	2,80	3,85	4,90	5,95	7,00	10,15
Meq K	0,10	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
%Ca	60,00%	55,32%	60,75%	62,28%	63,00%	63,41%	63,69%	63,88%	64,22%
%Mg	32,31%	29,79%	32,71%	33,53%	33,92%	34,15%	34,29%	34,40%	34,58%
%K	7,69%	14,89%	6,54%	4,19%	3,08%	2,44%	2,02%	1,72%	1,19%
(Ca+Mg)/K	12,00	5,71	14,29	22,86	31,43	40,00	48,57	57,14	82,86
pH	4,2	4,6	4,9	4,8	5,4	5,8	6,0	6,5	7,1



GRAFICO 7.

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y LAS RELACIONES Mg/K EN EL NIVEL 4 ESTÁNDAR DE K 0,45 meq, CONTENIDOS Y SATURACION DE Ca, Mg, K



	<b>RO</b>	<b>R2</b>	<b>R5</b>	<b>R8</b>	<b>R11</b>	<b>R14</b>	<b>R17</b>	<b>R20</b>	<b>R29</b>
Meq Ca	0,78	1,67	4,18	6,69	9,19	11,70	14,21	16,71	24,24
Meq Mg	0,42	0,90	2,25	3,60	4,95	6,30	7,65	9,00	13,05
Meq K	0,10	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
%Ca	60,00%	55,32%	60,75%	62,28%	63,00%	63,41%	63,69%	63,88%	64,22%
%Mg	32,31%	29,79%	32,71%	33,53%	33,92%	34,15%	34,29%	34,40%	34,58%
%K	7,69%	14,89%	6,54%	4,19%	3,08%	2,44%	2,02%	1,72%	1,19%
(Ca+Mg)/K	12,00	5,71	14,29	22,86	31,43	40,00	48,57	57,14	82,86
pH	4,2	4,3	6,2	5,2	5,8	5,9	5,8	6,7	7,4

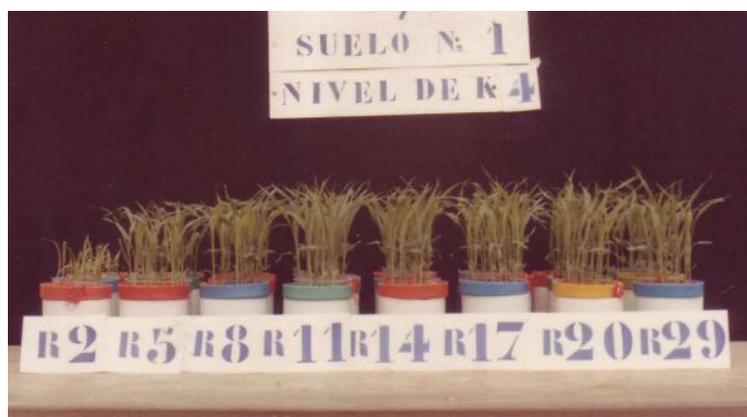
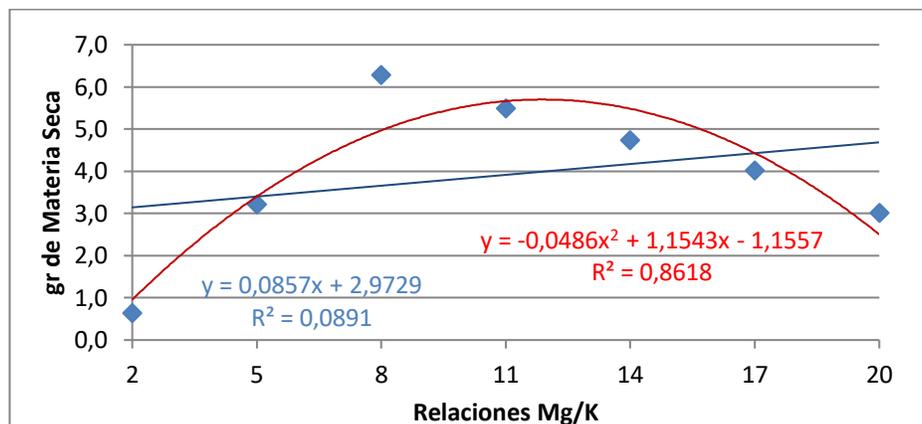


GRAFICO 8.

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y LAS RELACIONES Mg/K EN EL NIVEL 5 ESTÁNDAR DE K 0,55 meq, CONTENIDOS Y SATURACION DE Ca, Mg, K



	<b>R0</b>	<b>R2</b>	<b>R5</b>	<b>R8</b>	<b>R11</b>	<b>R14</b>	<b>R17</b>	<b>R20</b>	<b>R29</b>
Meq Ca	0,78	2,04	5,11	8,17	11,24	14,30	17,36	20,43	29,62
Meq Mg	0,42	1,10	2,75	4,40	6,05	7,70	9,35	11,00	15,95
Meq K	0,10	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
%Ca	60,00%	55,32%	60,75%	62,28%	63,00%	63,41%	63,69%	63,88%	64,22%
%Mg	32,31%	29,79%	32,71%	33,53%	33,92%	34,15%	34,29%	34,40%	34,58%
%K	7,69%	14,89%	6,54%	4,19%	3,08%	2,44%	2,02%	1,72%	1,19%
(Ca+Mg)/K	12,00	5,71	14,29	22,86	31,43	40,00	48,57	57,14	82,86
pH	4,2	4,9	4,8	5,2	5,7	6,3	6,8	6,8	7,6



Cuadro 1f. PRUEBA DE TUKEY AL 5% DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PARA LAS MEDIAS DE NIVELES DE K DENTRO DE LAS RELACIONES Mg/K

	K <sub>i</sub> \R <sub>j</sub>	Medias	RANGOS DE SIGNIFICACION	
NIVEL DE K\R2	5	0,64	A	
	4	0,60	A	
	3	0,24		B
	2	0,14		B
	1	0,10		B
NIVEL DE K\R5	3	3,67	A	
	4	3,47	A	
	5	3,22	A	
	2	1,20		B
	1	0,29		B
NIVEL DE K\R8	5	6,28	A	
	2	4,24	A	
	4	4,05	A	B
	3	3,66	A	B
	1	0,90		B
NIVEL DE K\R11	5	5,49	A	
	4	4,72	A	
	2	4,59	A	
	3	4,42	A	
	1	2,18		B
NIVEL DE K\R14	5	4,74	A	
	4	4,51	A	
	3	4,13	A	
	2	3,96	A	
	1	3,27	A	
NIVEL DE K\17	3	5,58	A	
	2	5,36	A	B
	1	4,18	A	B
	5	4,02	A	B
	4	3,25		B
NIVEL DE K\R20	2	5,73	A	
	3	4,49	A	B
	1	4,10	A	B
	4	3,72	A	B
	5	3,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Cuadro 1g. POLINOMIOS ORTOGONALES LINEAL Y PARABOLICO DE LA VARIABLE RNDIMIENTO DE MATERIA SECA DEL FACTOR NIVELES DENTRO DE RALACIONES Mg/K

$K_i \setminus R_j$	POLINOMIO	G.L.	CUADRADO MEDIO	
NIVEL DE K\R2	l	1	0,7177	**
	p	1	0,0160	NS
Error experimental		10	0,0046	
NIVEL DE K\R5	l	1	19,8453	**
	p	1	5,3002	**
Error experimental		10	0,4468	
NIVEL DE K\R8	l	1	33,6440	**
	p	1	0,3348	NS
Error experimental		10	1,4855	
NIVEL DE K\R11	l	1	13,7228	**
	p	1	1,6920	NS
Error experimental		10	0,6757	
NIVEL DE K\R14	l	1	3,6262	**
	p	1	0,1080	NS
Error experimental		10	0,4575	
NIVEL DE K\R17	l	1	1,7660	NS
	p	1	2,4096	NS
Error experimental		10	0,6478	
NIVEL DE K\R20	l	1	5,2083	**
	p	1	3,8040	*
Error experimental		10	0,5613	
Error experimental general		70	0,6113	

GRAFICO 9. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 2 Mg/K

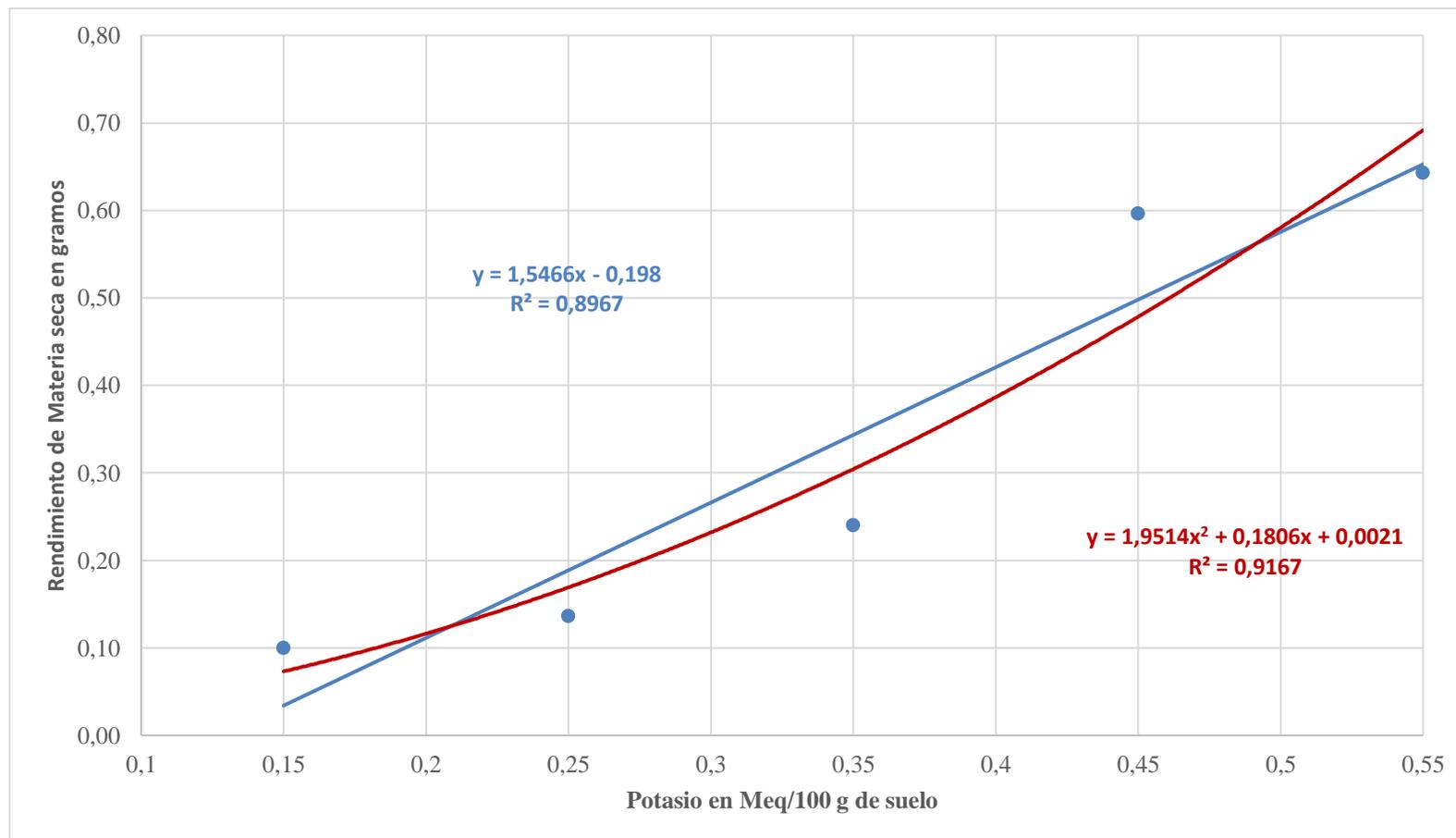


GRAFICO 10. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 5 Mg/K

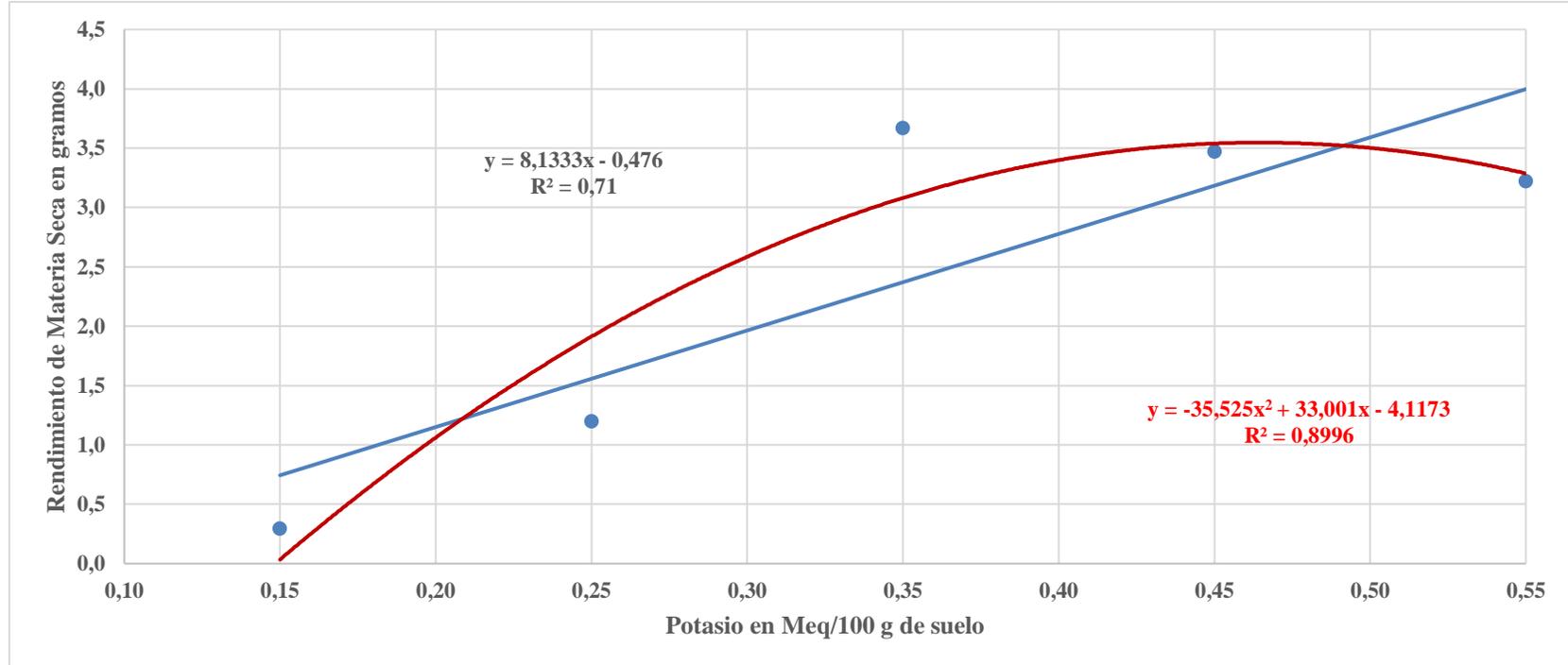


GRAFICO 11. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 8 Mg/K

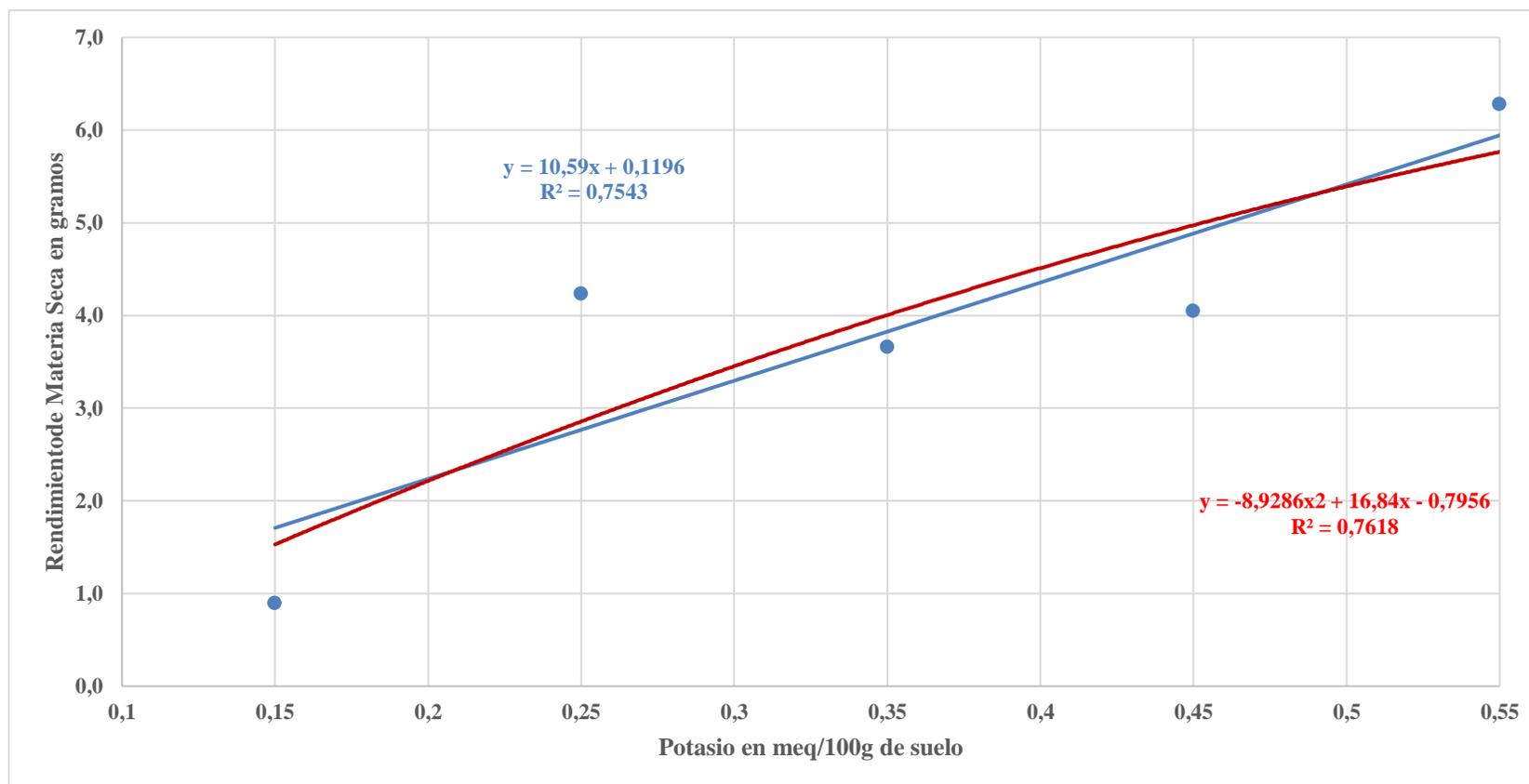


GRAFICO 12. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 11 Mg/K

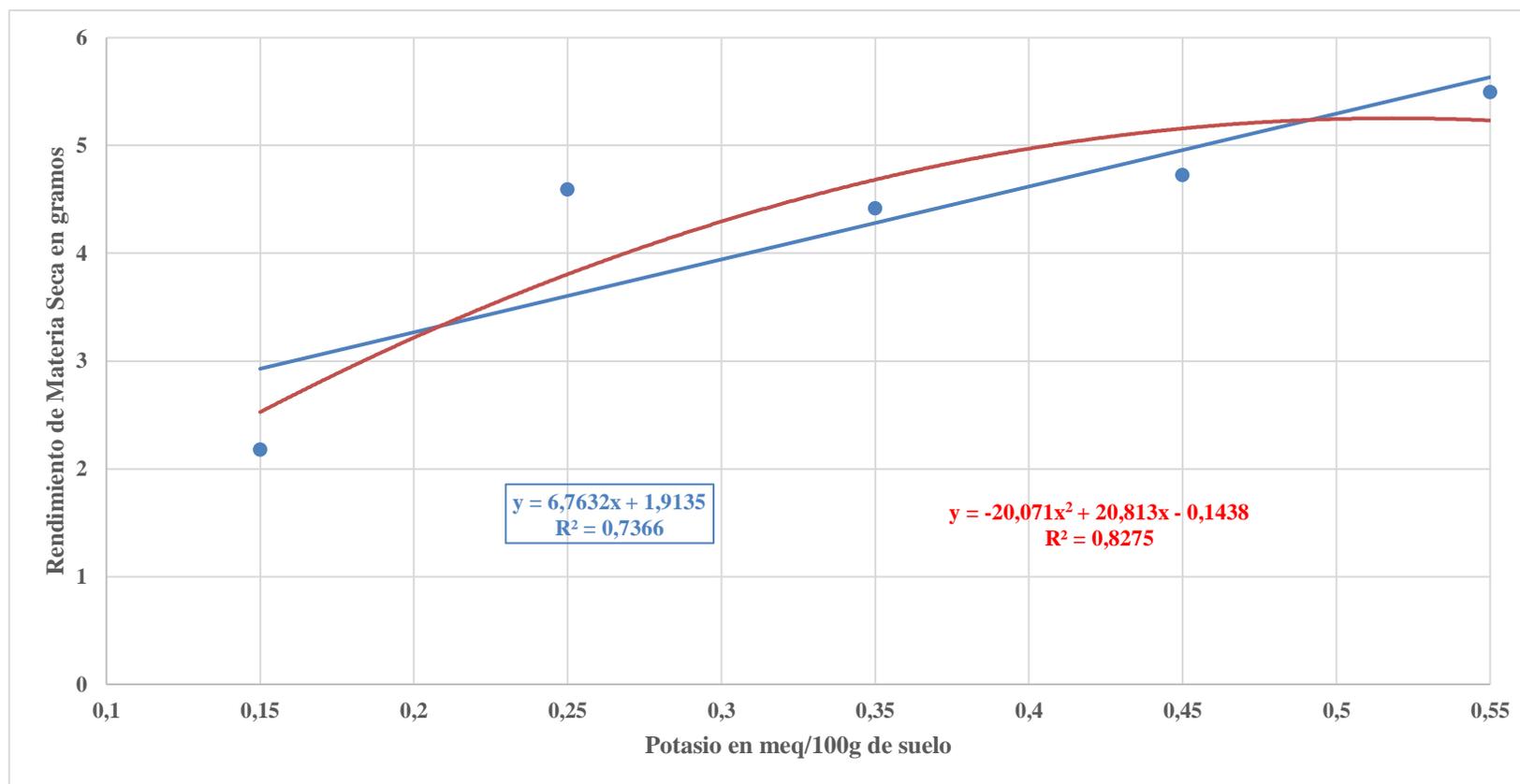


GRAFICO 13. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 14 Mg/K

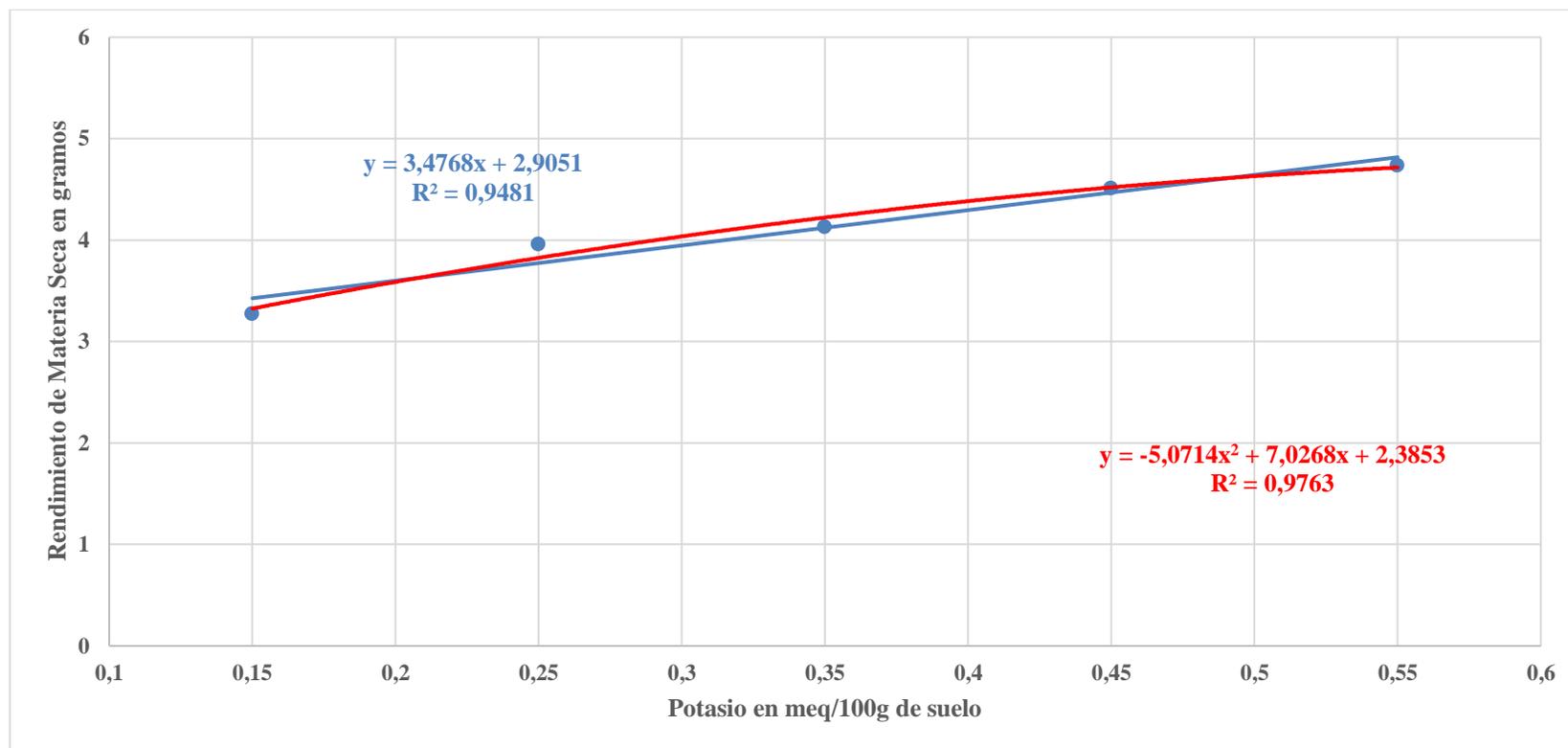


GRAFICO 14. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 17 Mg/K

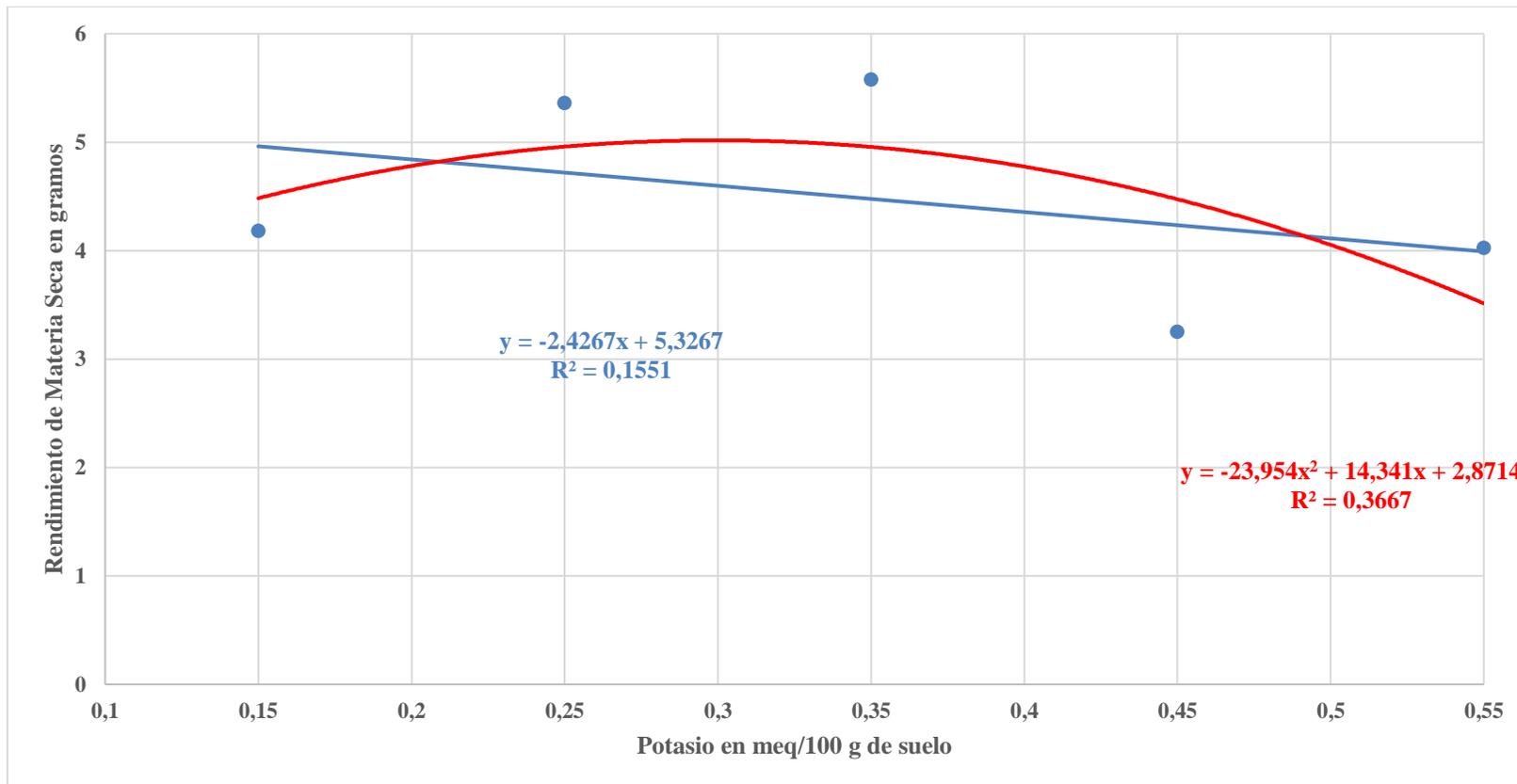
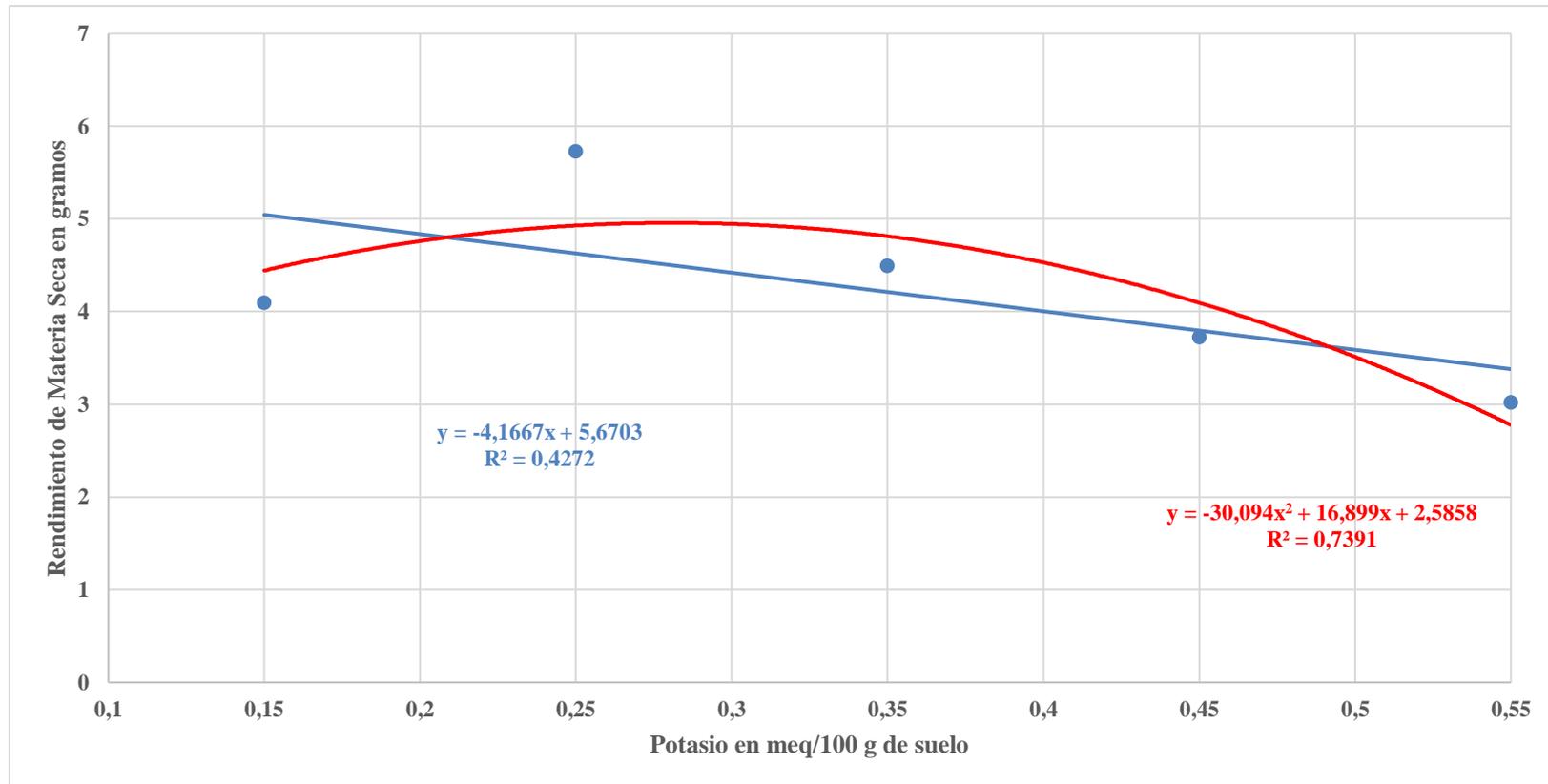


GRAFICO 15. REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA ENTRE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS Y LOS NIVELES DE POTASIO DENTRO DE LA RELACION 20 Mg/K



## GRAFICO 16.

UBICACION EN LA MATRIZ DE TRATAMIENTOS DEL RANGO a1 DE TUKEY PARA NIVELES DE K, RELACIONES Mg/K Y DENTRO DE CADA RELACION

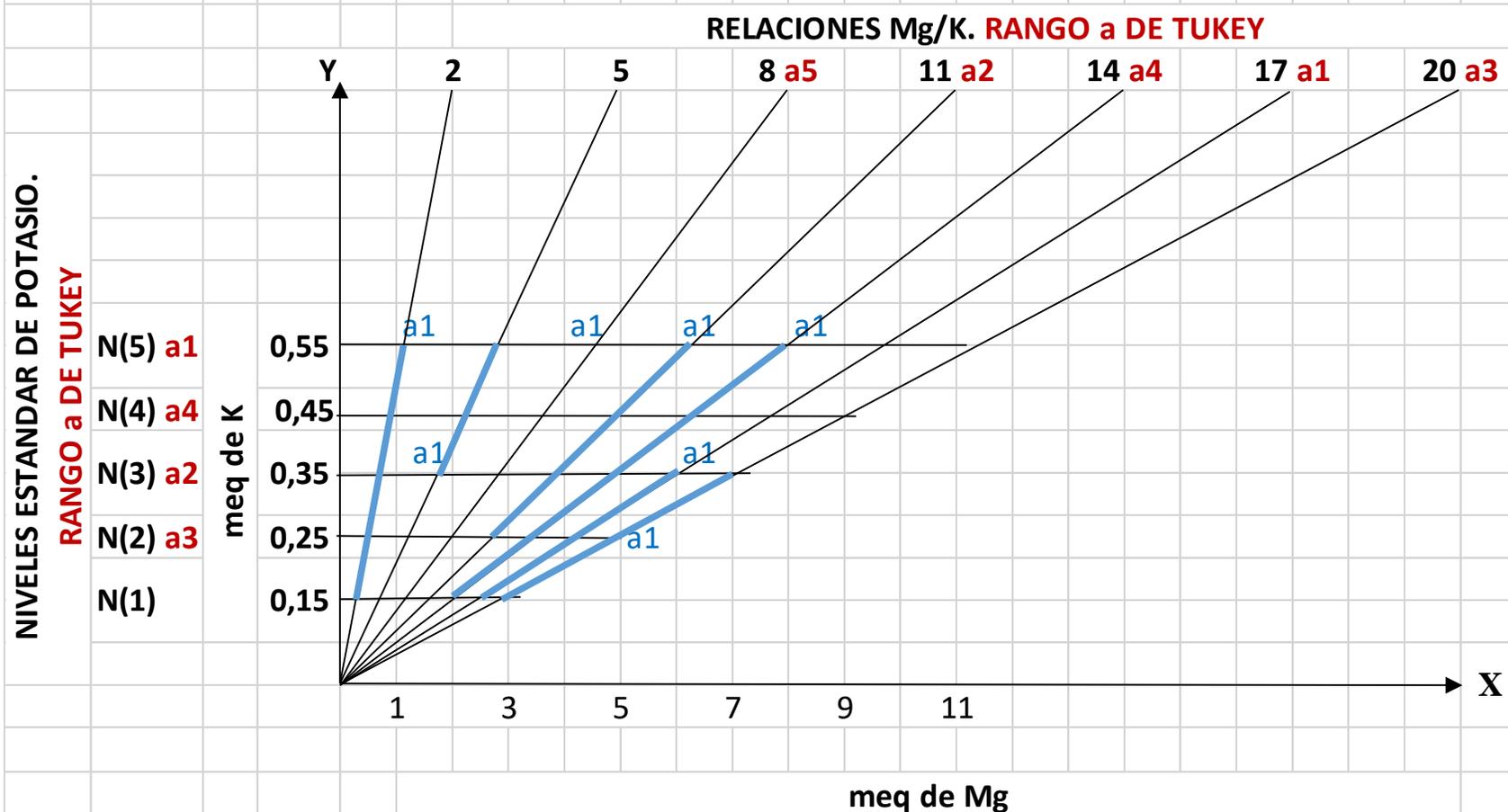
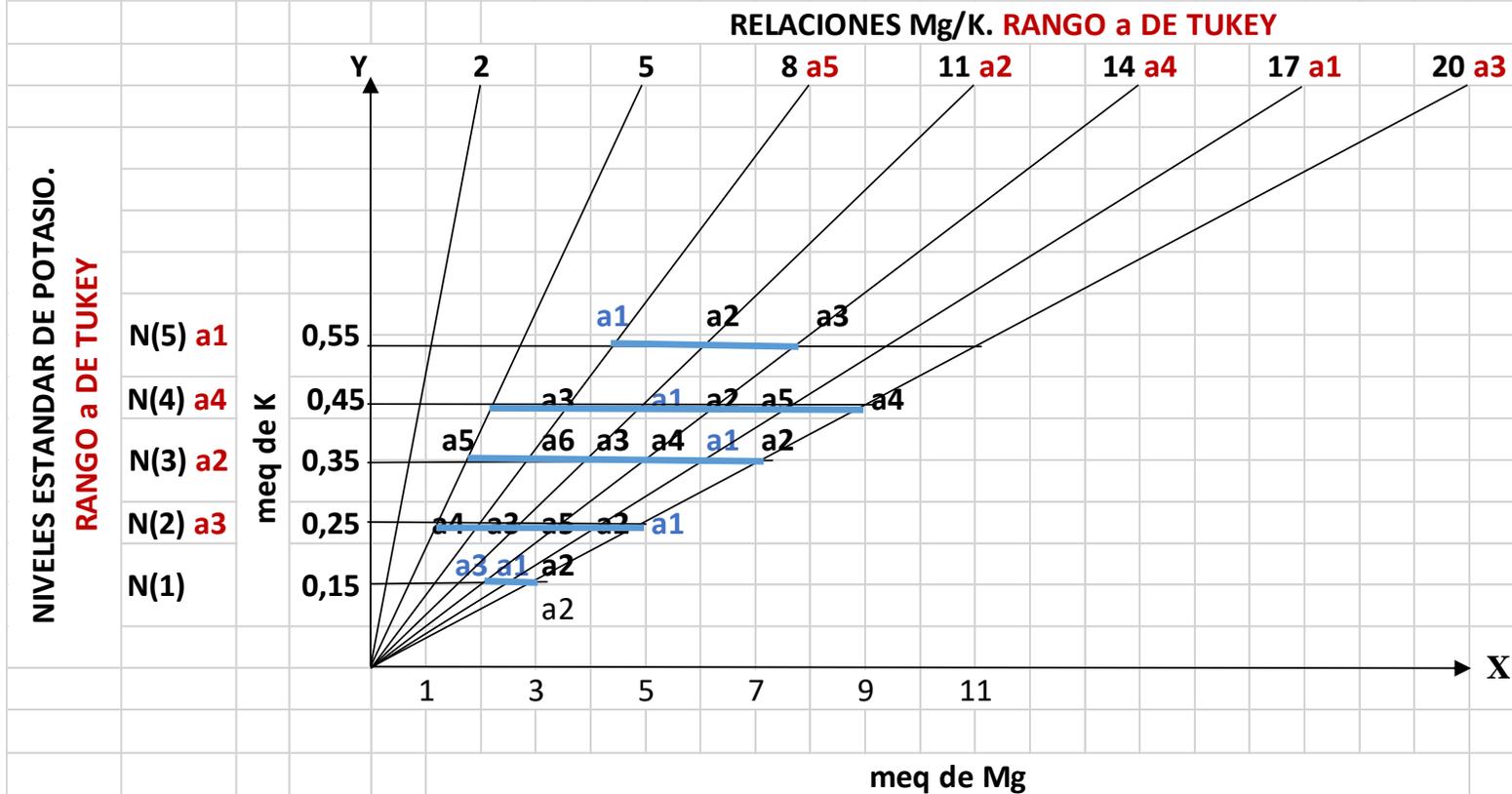
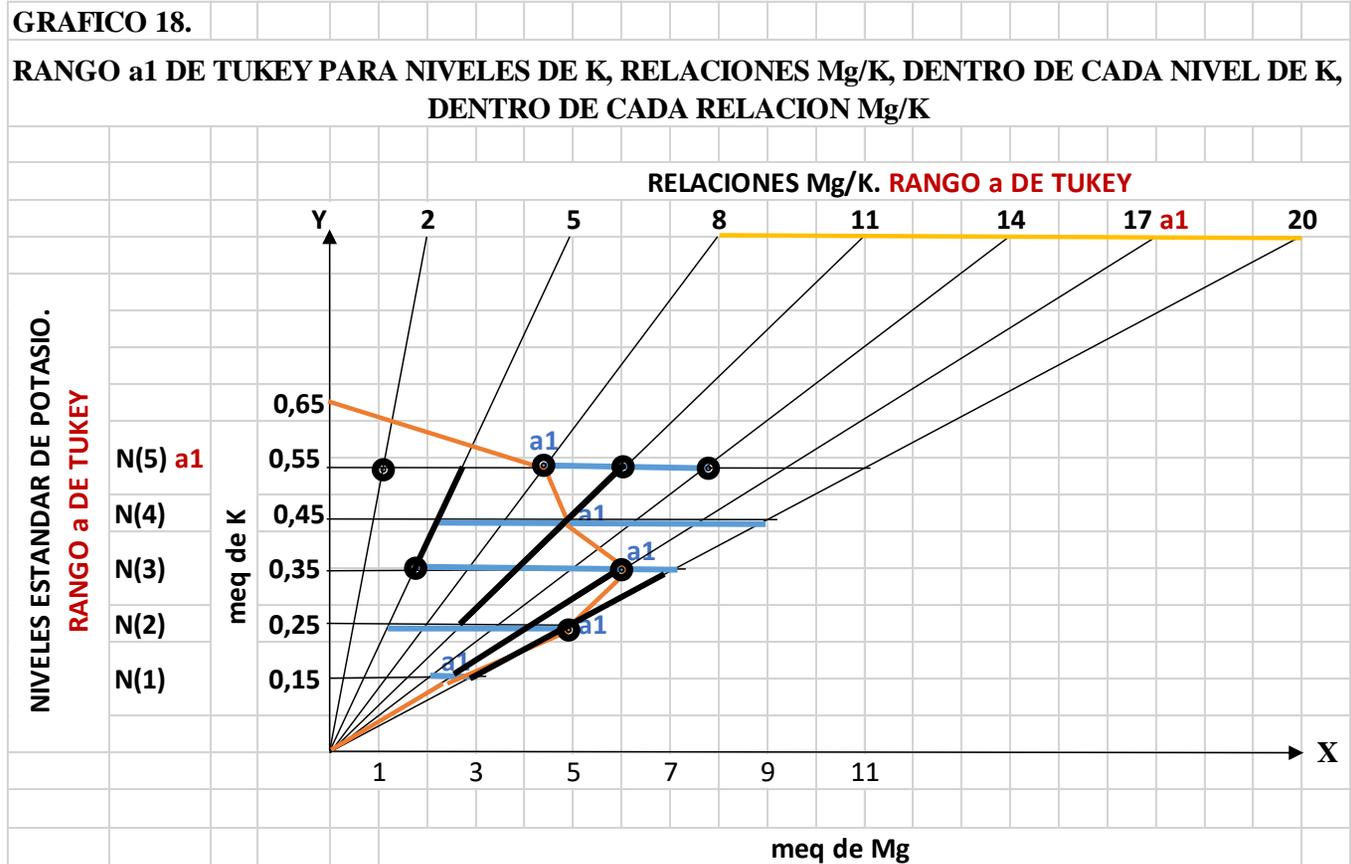


GRAFICO 17.

UBICACION EN LA MATRIZ DE TRATAMIENTOS DEL RANGO  $a_1$  DE TUKEY PARA NIVELES DE K, RELACIONES Mg/K Y DENTRO DE CADA NIVEL DE K





⊙ =El mejor en el primer rango dentro de cada Nivel de K

$$y = -107,14x^2 + 48x + 13,068$$

$$R^2 = 0,9153$$

Cuadro 1h CORRELACIONES ENTRE MEDIAS DE VARIABLES: GENERAL Y DENTRO DE CADA NIVEL ESTANDAR DE K

		H1		H2		H3	
GENERAL							
	Rendimiento	0,8798	**	0,9032	**	0,9602	**
	H1			0,9616	**	0,9289	**
	H2					0,9575	**
NIVELES							
N1							
	Rendimiento	0,9515	**	0,9803	**	0,9595	**
	H1			0,9753	**	0,9826	**
	H2					0,9899	**
N2							
	Rendimiento	0,8944	**	0,9538	**	0,9650	**
	H1			0,9748	**	0,9688	**
	H2					0,9986	**
N3							
	Rendimiento	0,8921	**	0,9083	**	0,9726	**
	H1			0,9759	**	0,9539	**
	H2					0,9598	**
N4							
	Rendimiento	0,8290	**	0,9528	**	0,9599	**
	H1			0,9592	**	0,8617	**
	H2					0,9541	**
N5							
	Rendimiento	0,8419	**	0,7863	**	0,9589	**
	H1			0,9880	**	0,9061	**
	H2					0,8188	**

---

H1 = Altura de planta a los 10 días de la siembra

H2 = Altura de planta a los 18 días de la siembra

H3 = Altura de planta al momento de la cosecha

GRAFICO No. 19A

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LOS NIVELES ESTANDARES DE POTASIO

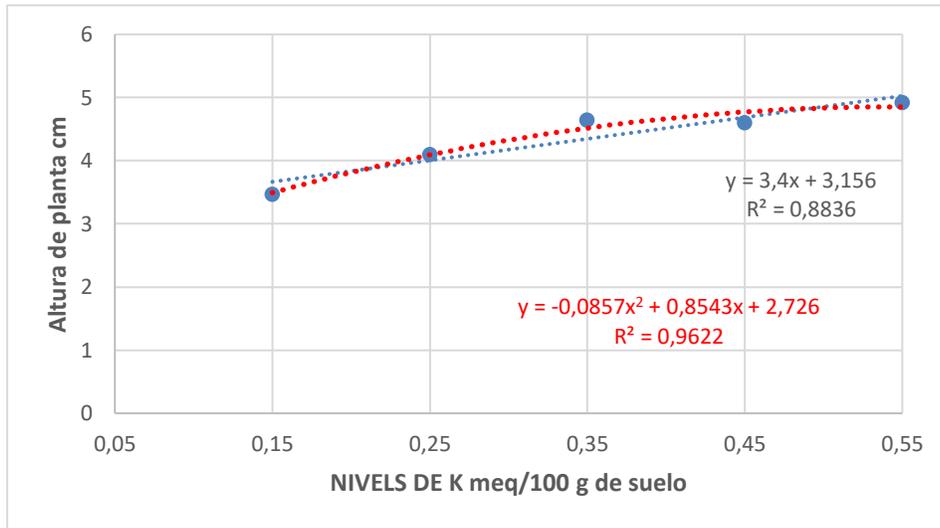


GRAFICO No. 19B

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K

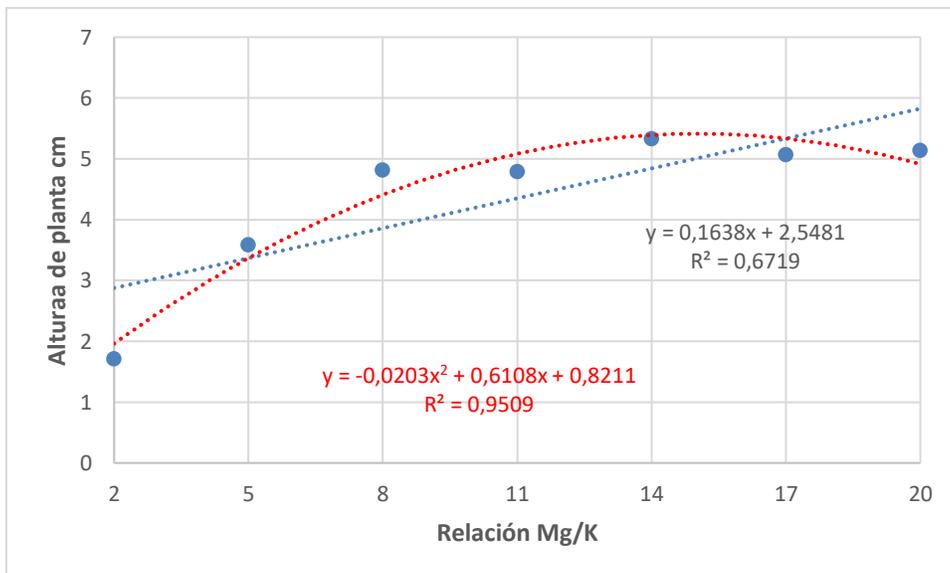


GRAFICO No. 20

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 1 DE K (0.15 meq/100g de suelo)

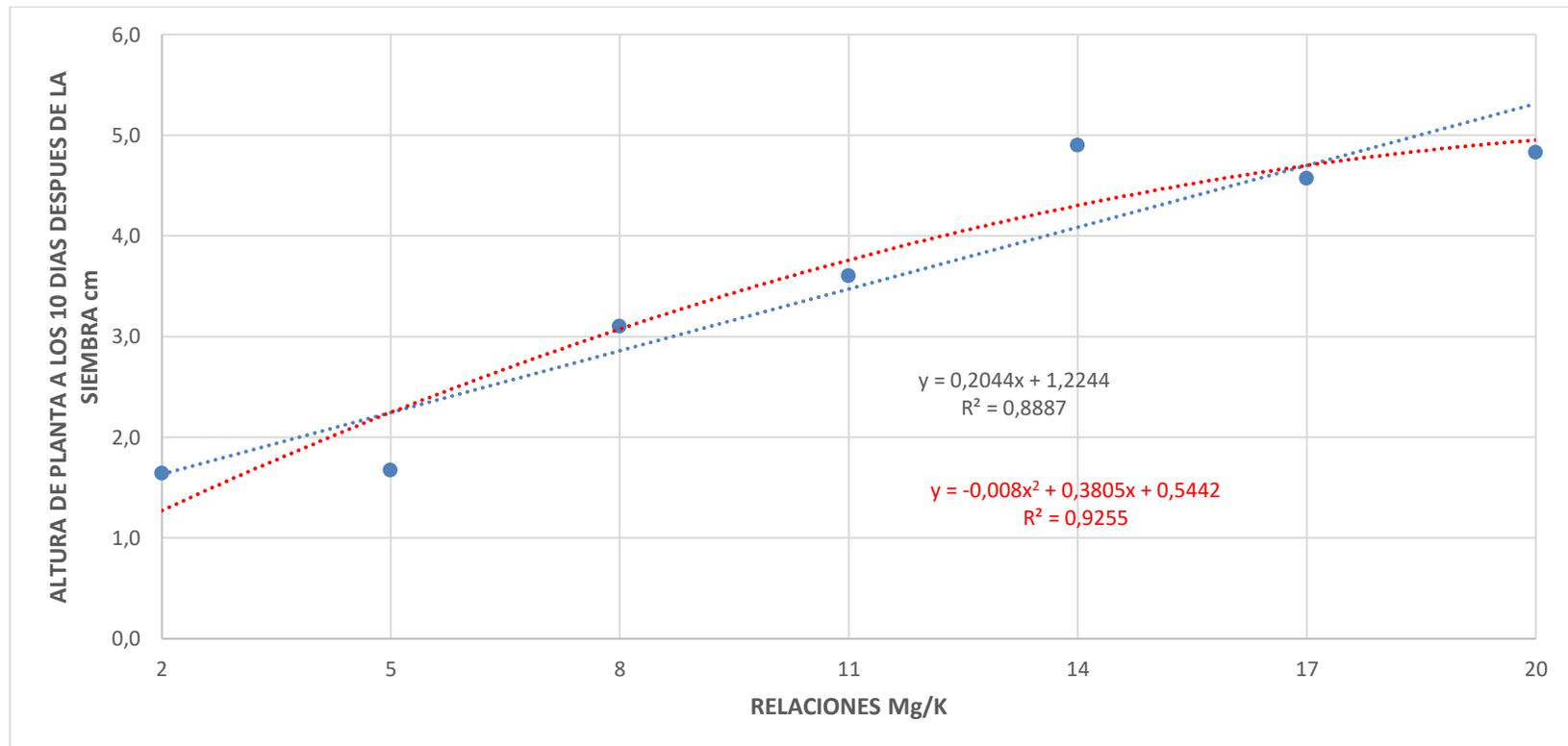


GRAFICO No. 21

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 2 DE K (0.25 meq/100g de suelo)

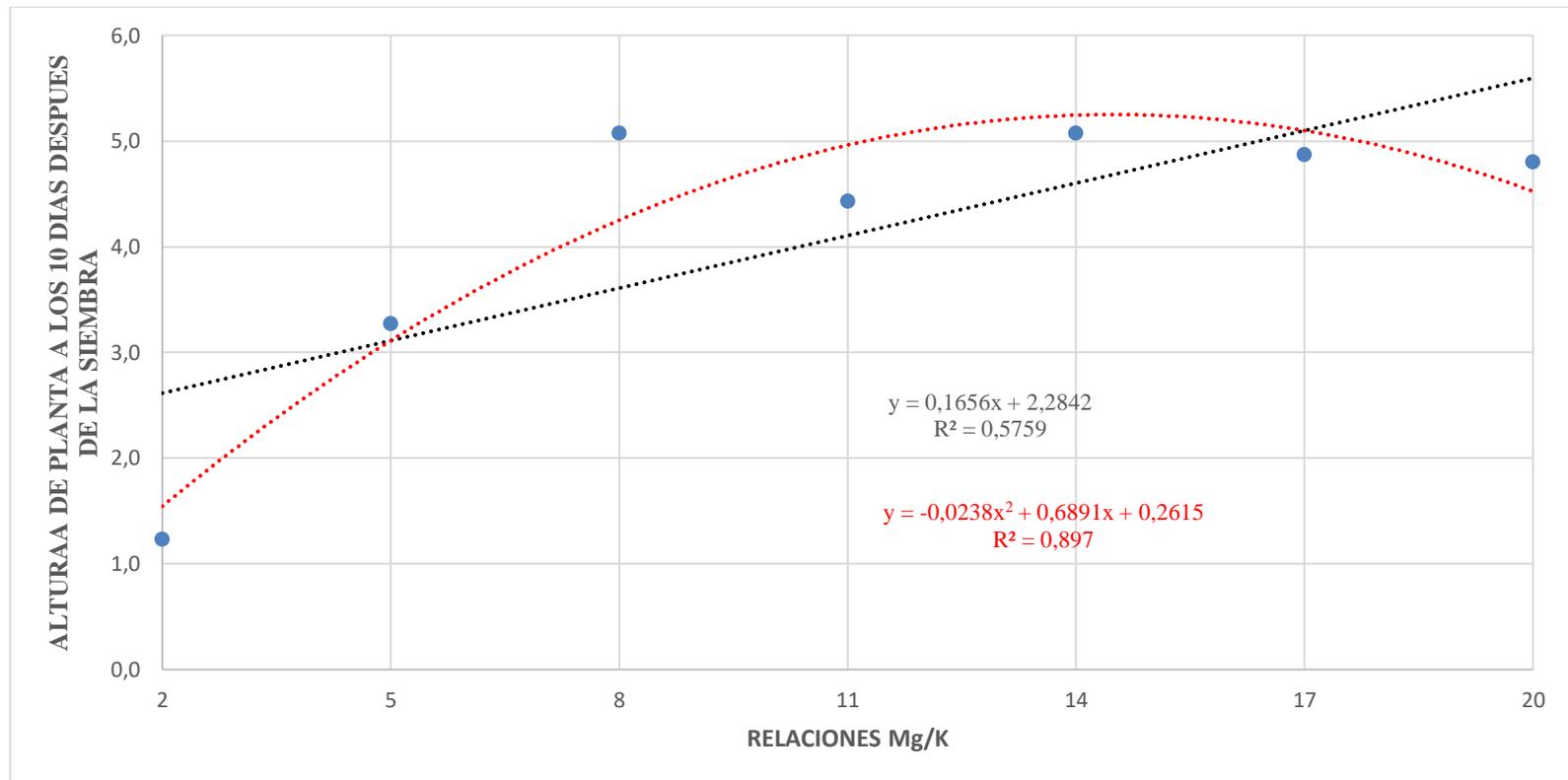


GRAFICO No. 22

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 3 DE K (0.35 meq/100g de suelo)

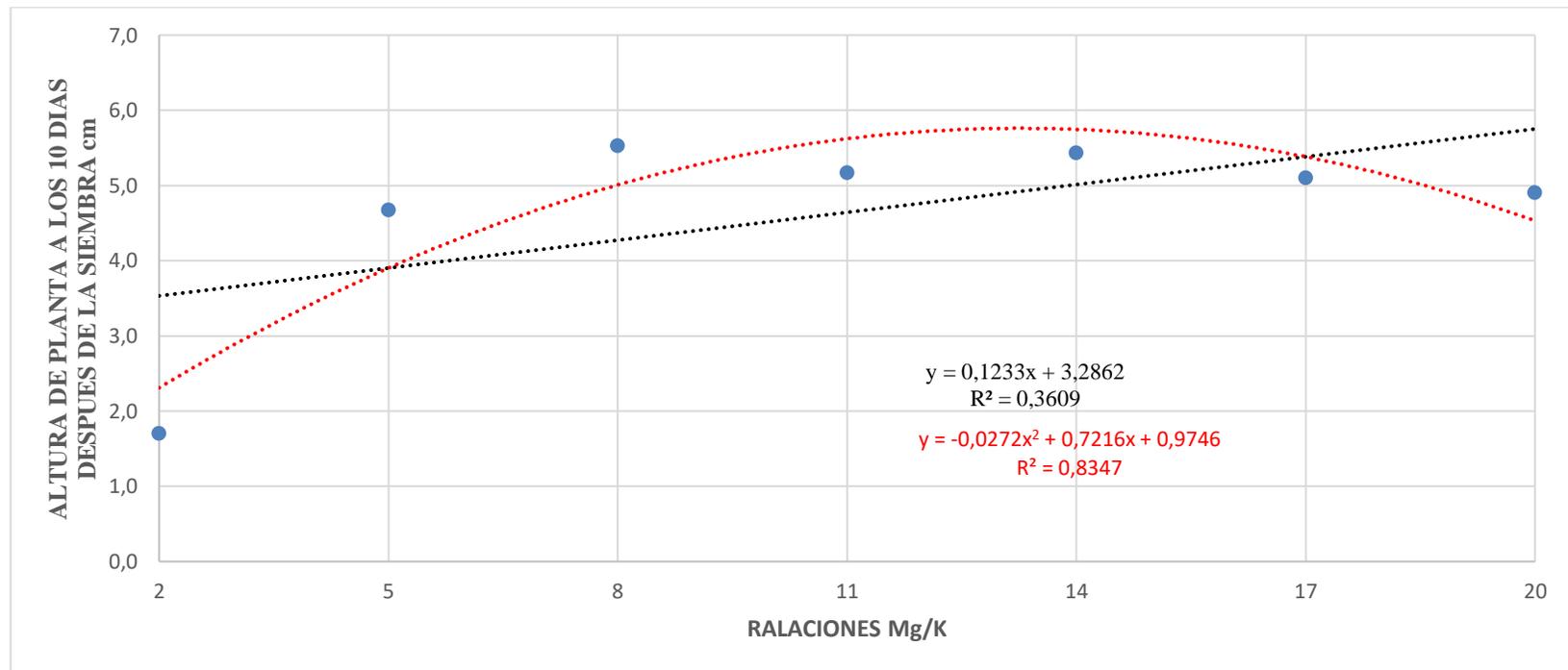


GRAFICO No. 23

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 4 DE K (0.45 meq/100g de suelo)

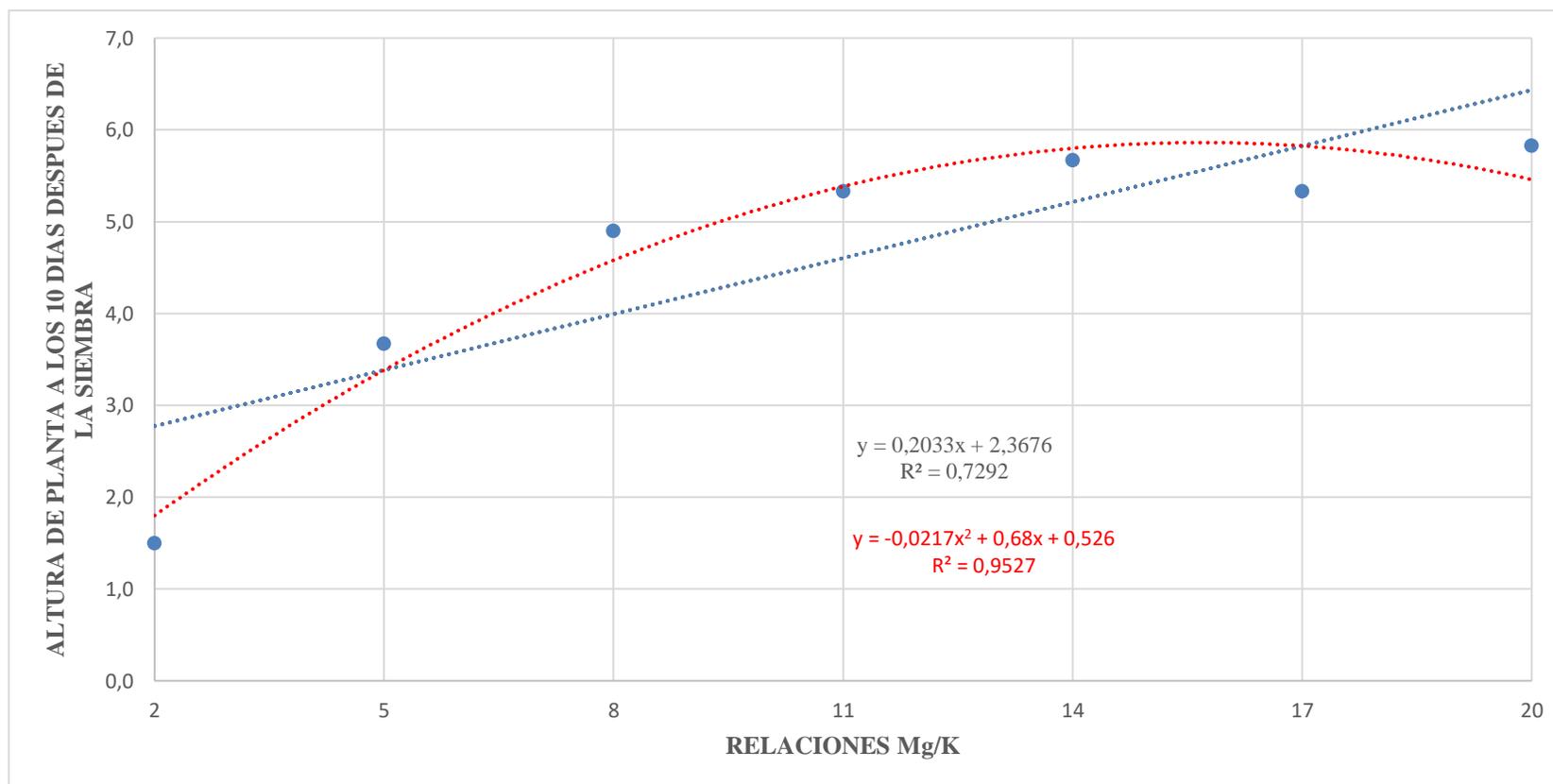
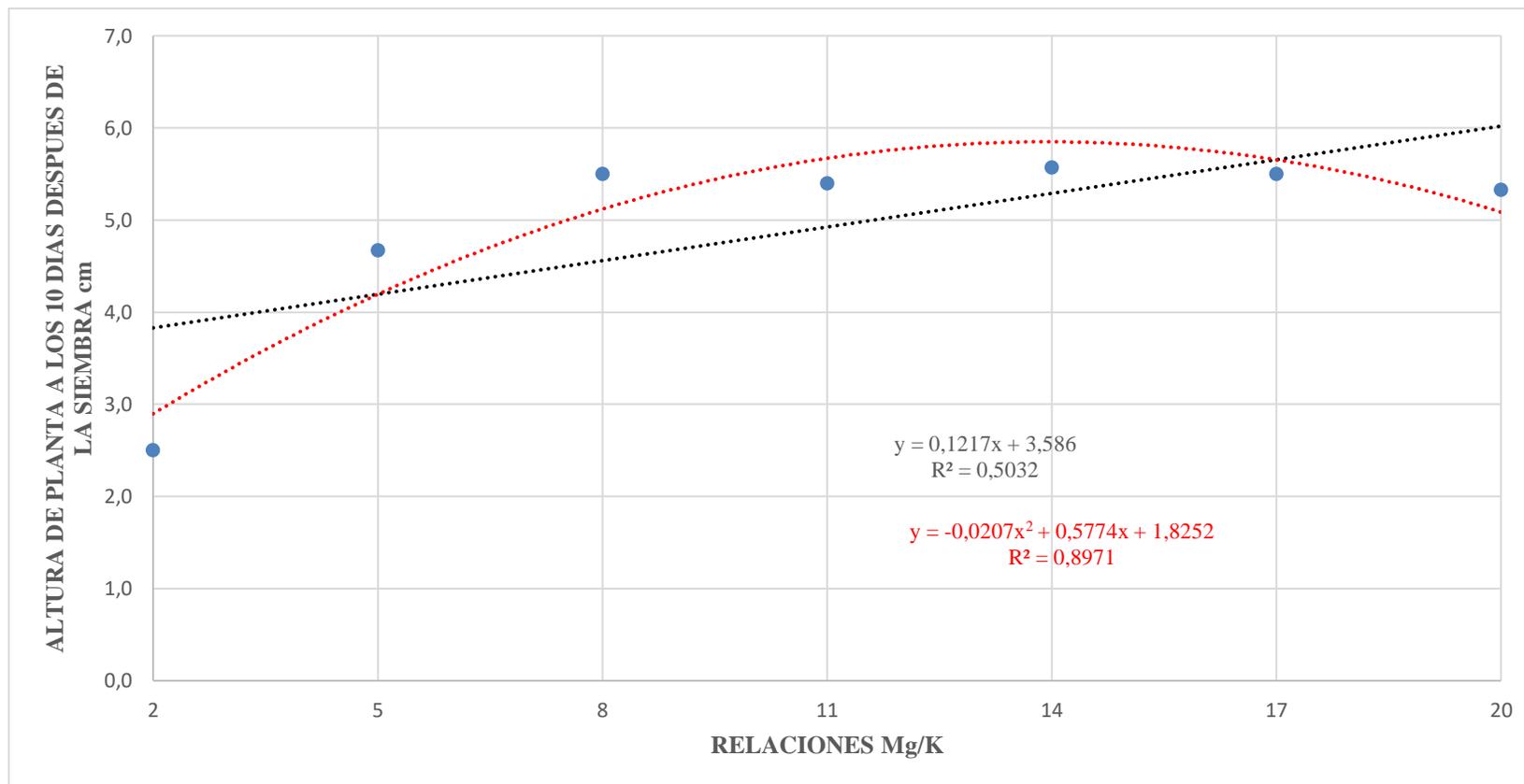


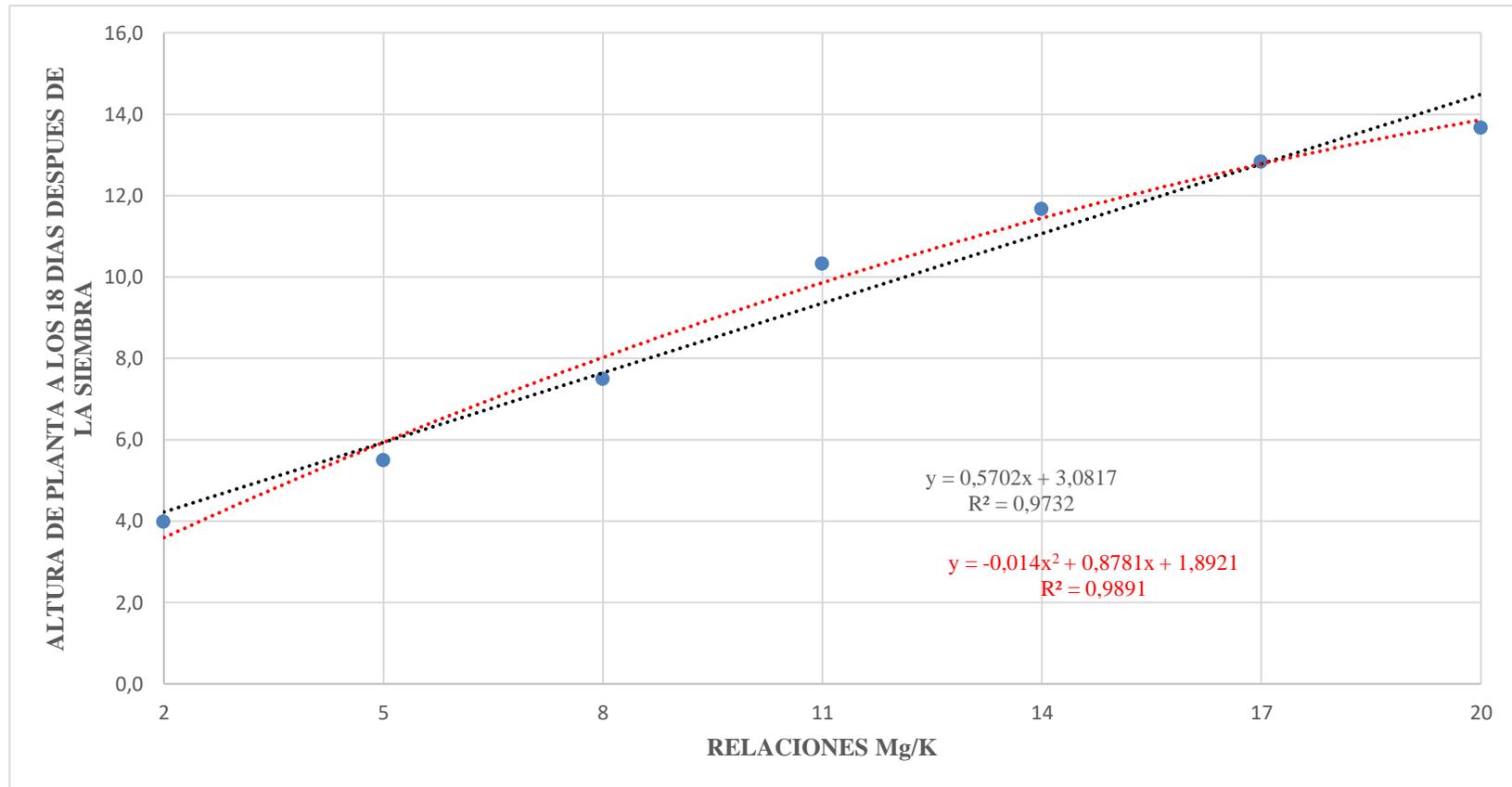
GRAFICO No. 24

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 5 DE K (0.55 meq/100g de suelo)



## GRAFICO No. 25

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 1 DE K (0.15 meq/100g de suelo)



## GRAFICO No. 26

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 2 DE K (0.25 meq/100g de suelo)

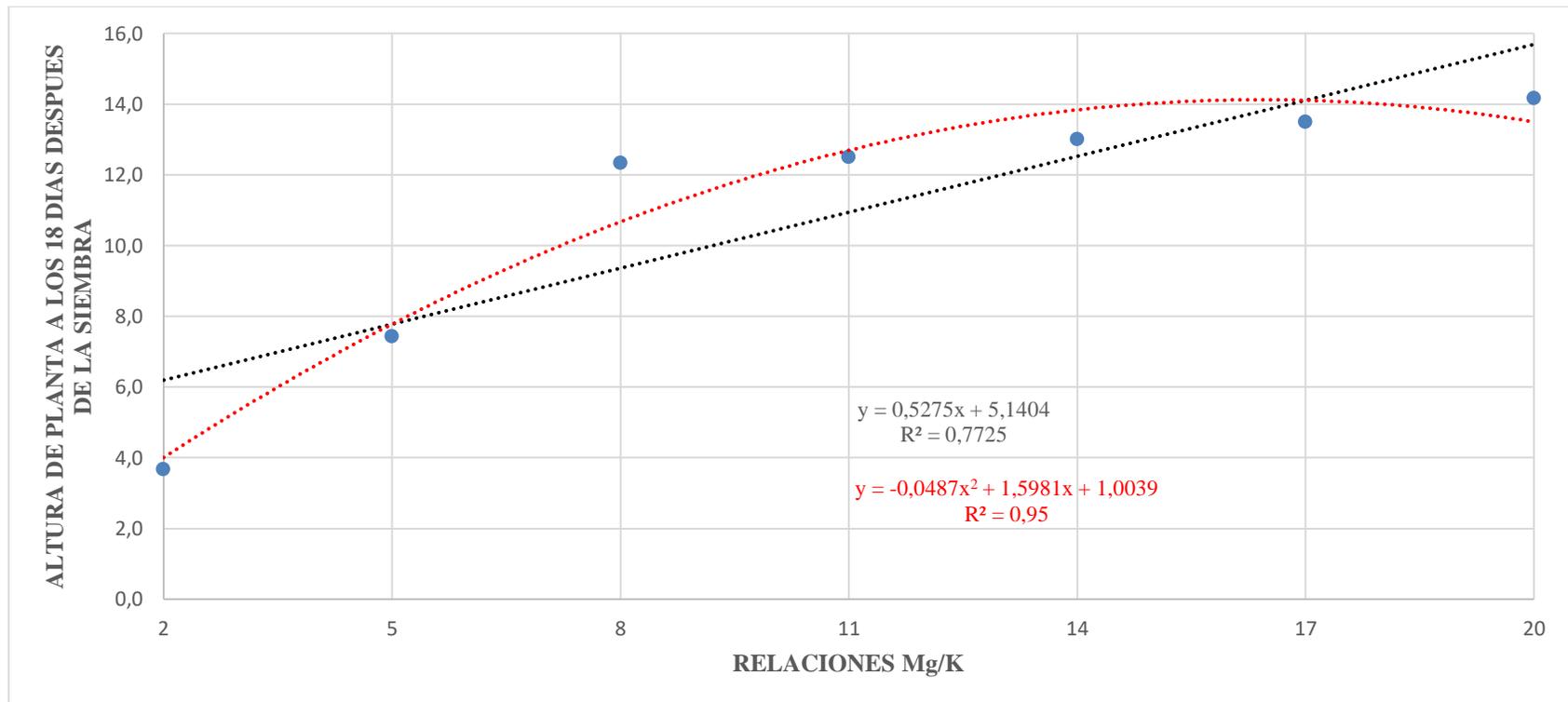


GRAFICO No. 27

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 3 DE K (0.35 meq/100g de suelo)

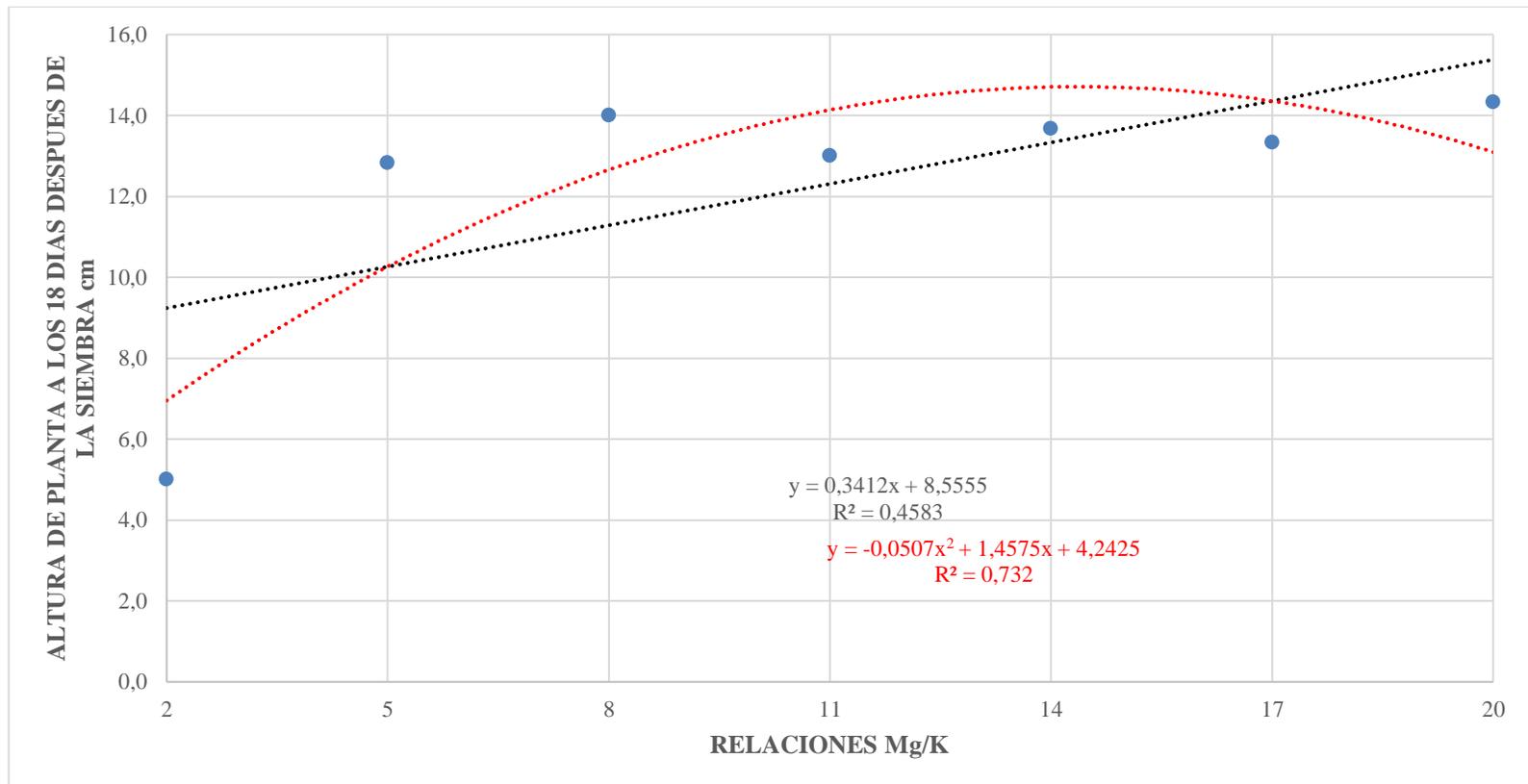


GRAFICO No. 28

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 4 DE K (0.45 meq/100g de suelo)

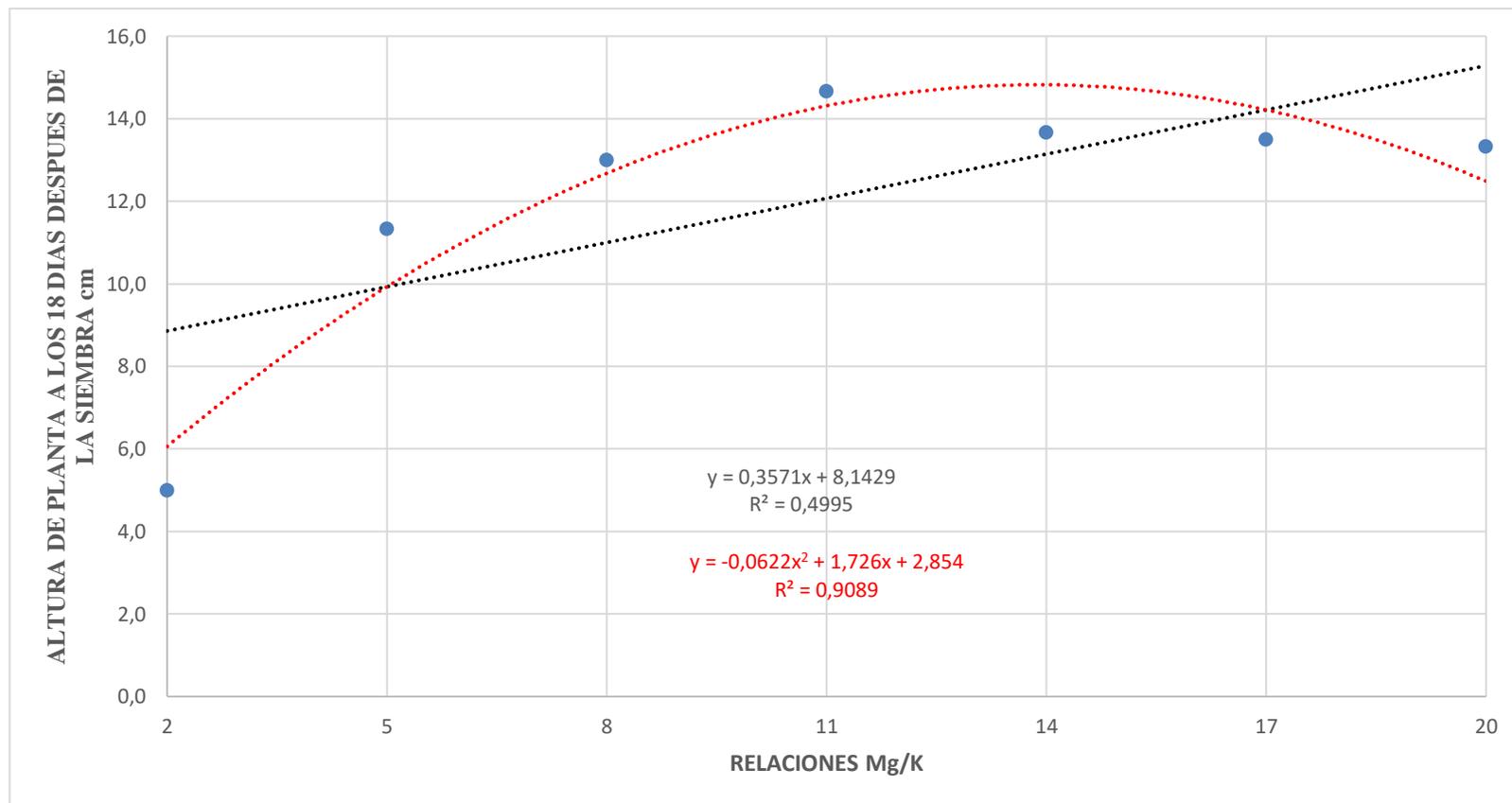


GRAFICO No. 29

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 5 DE K (0.55 meq/100g de suelo)

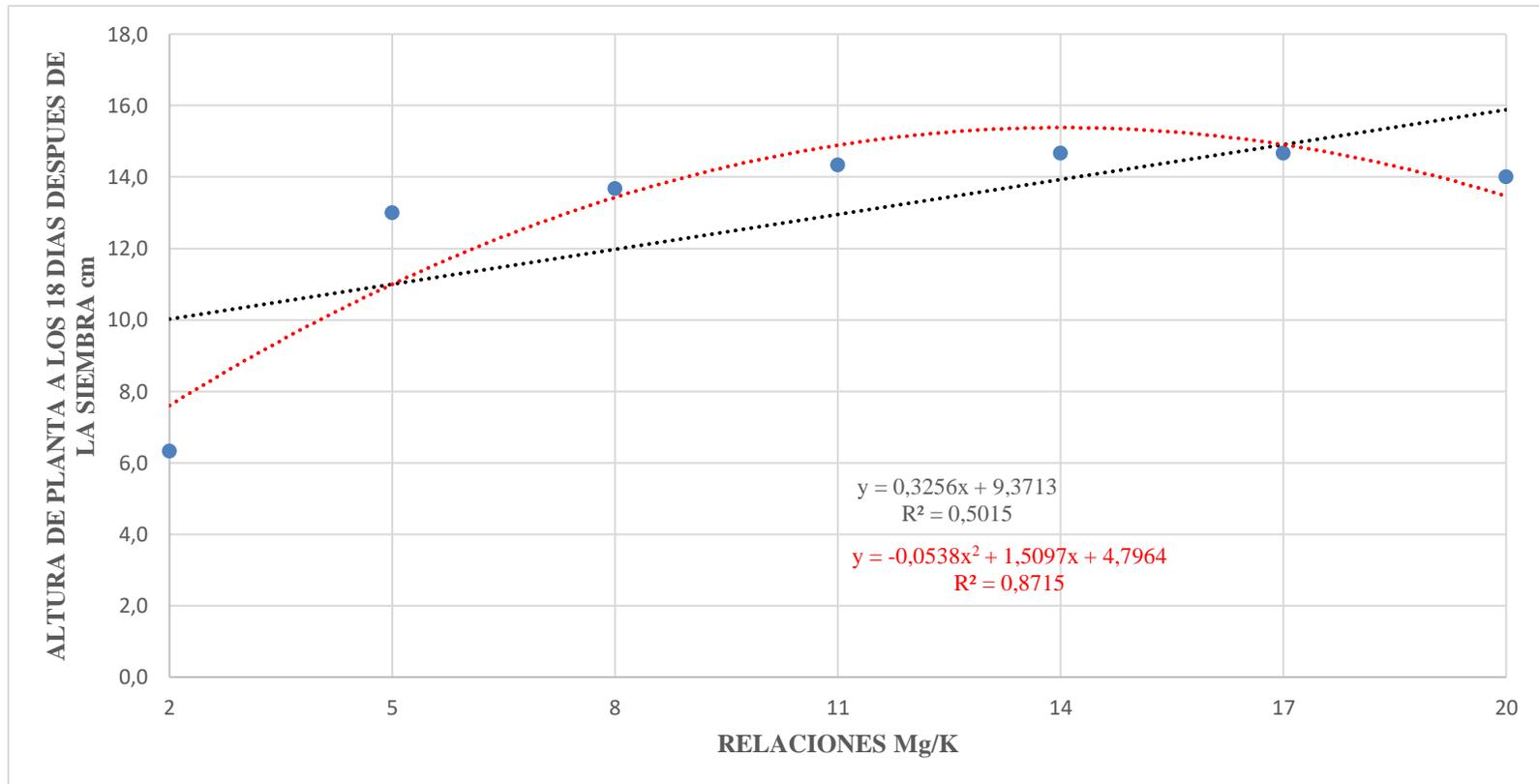


GRAFICO 30

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE LA ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LOS NIVELES ESTANDARES DE POTASIO

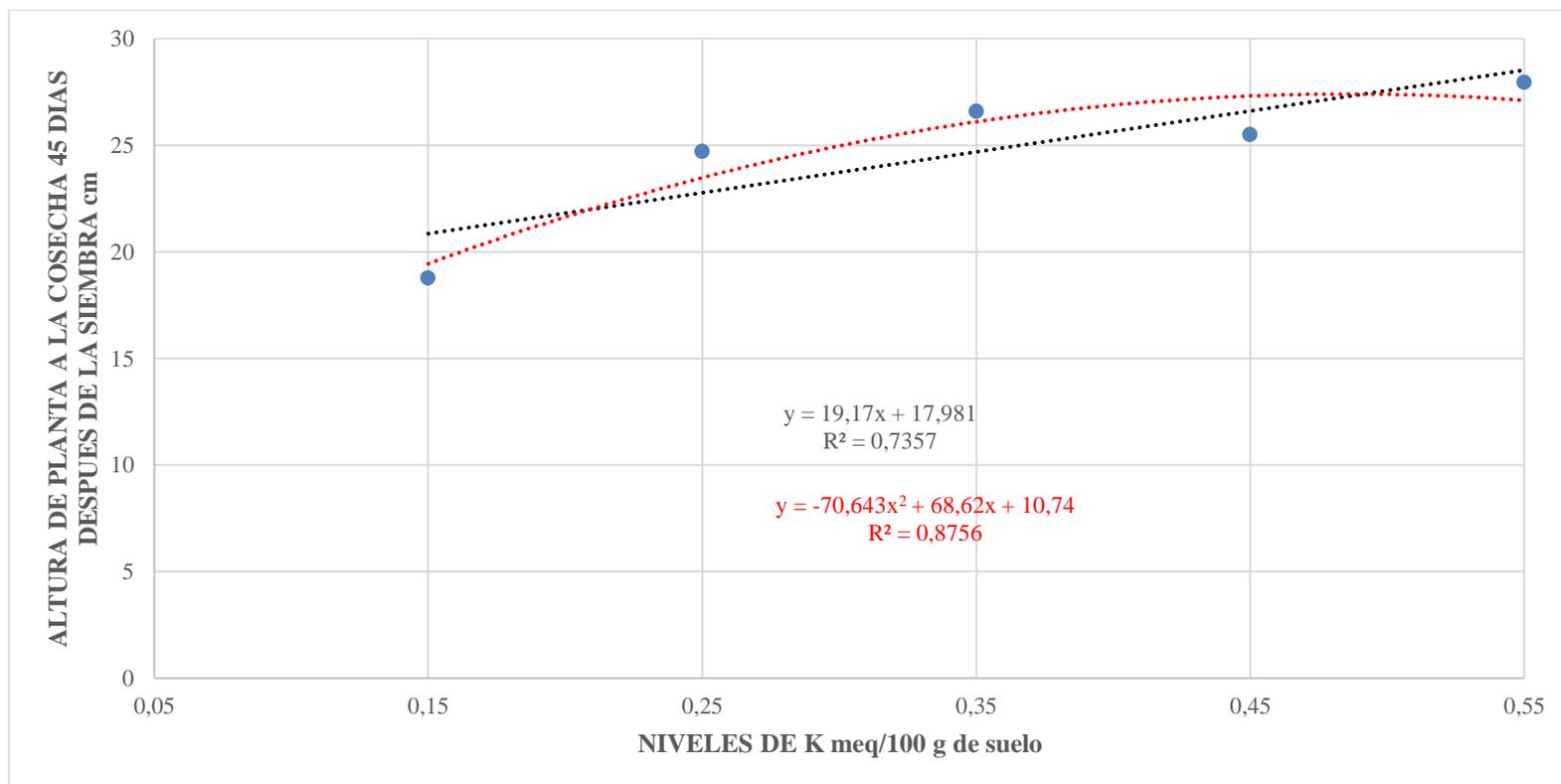


GRAFICO No. 31

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K (meq/100 g de suelo)

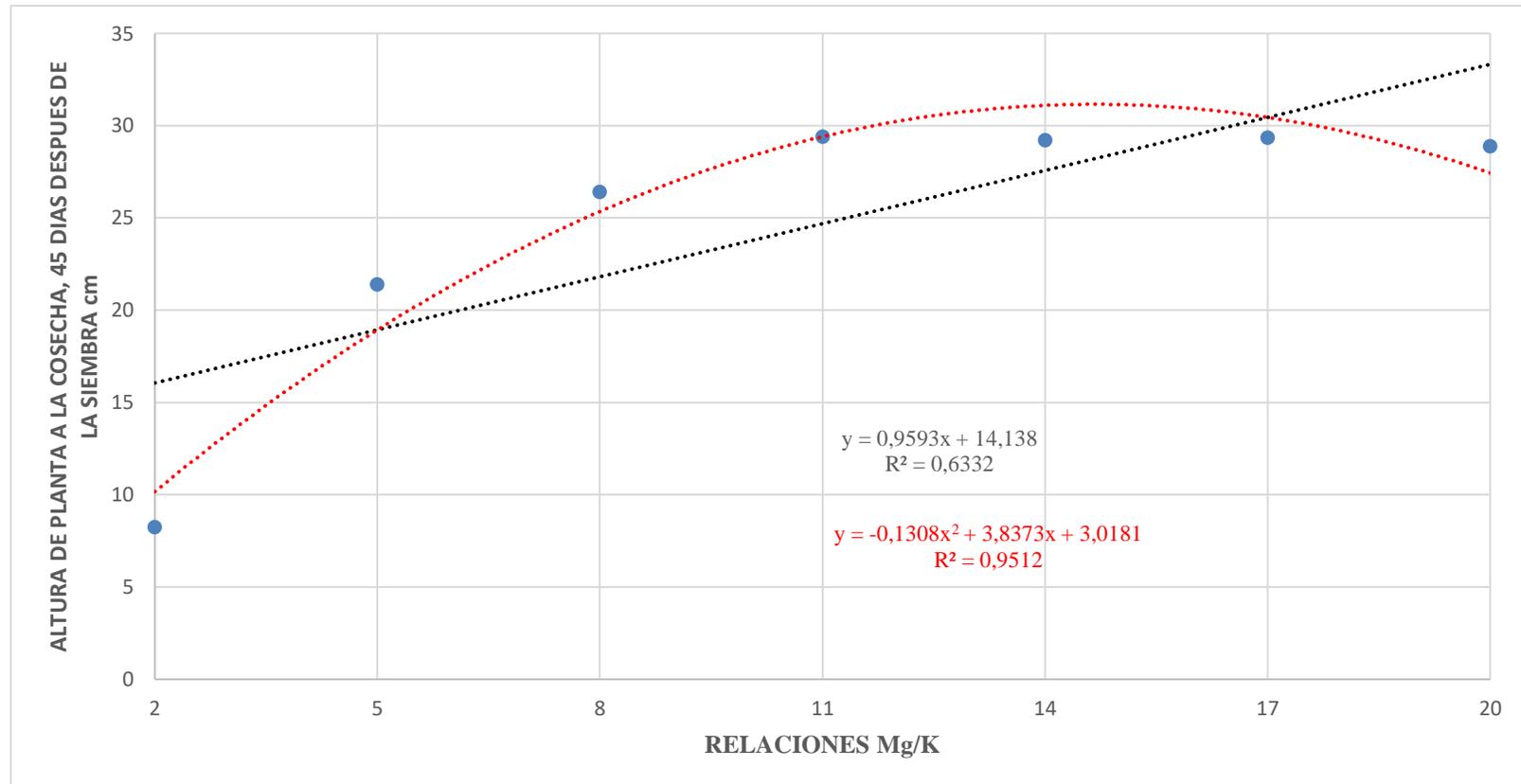
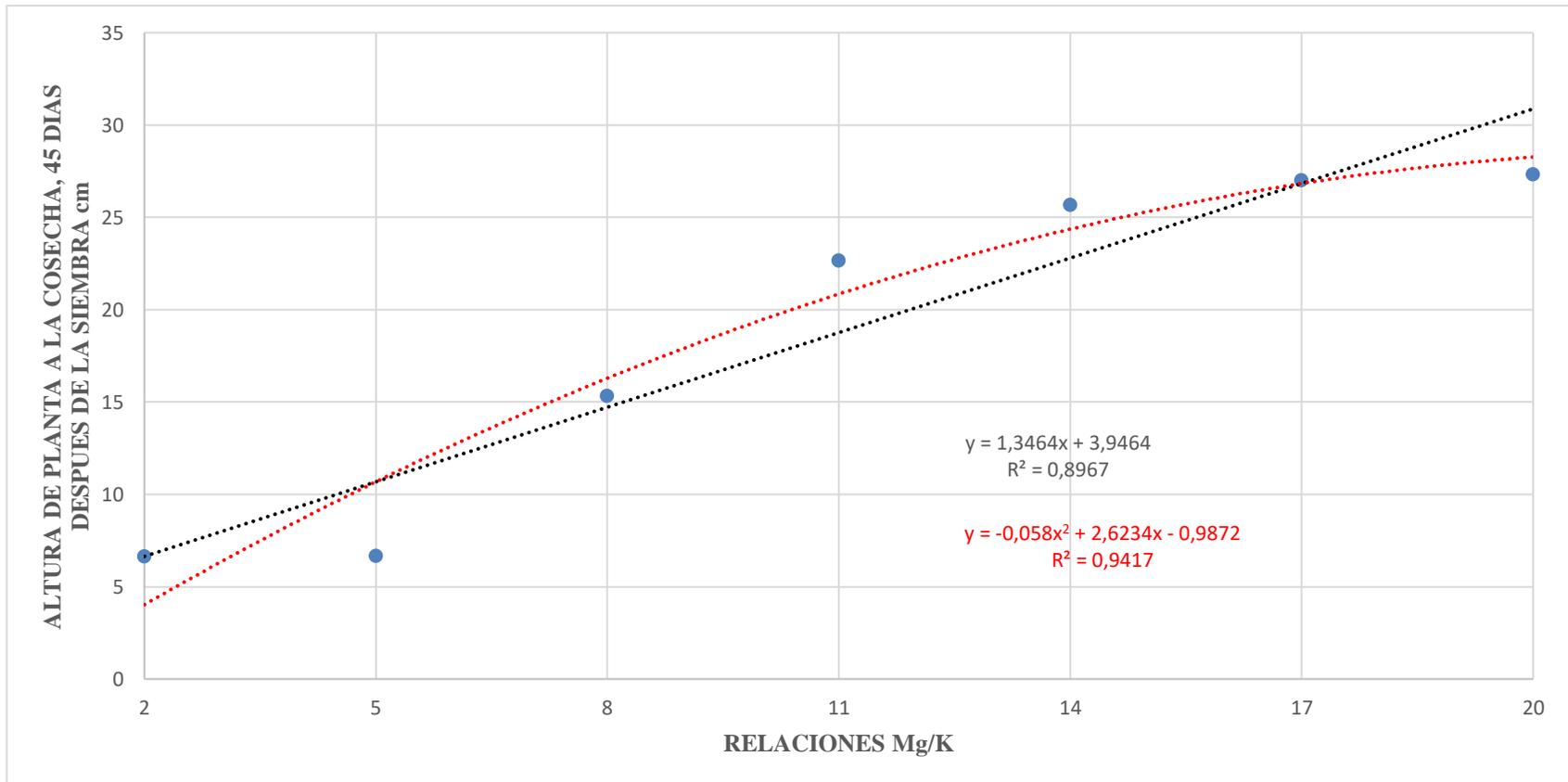


GRAFICO No. 32

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 1 DE K (0.15 meq/100g de suelo)



## GRAFICO No. 33

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 2 DE K (0.25 meq/100g de suelo)

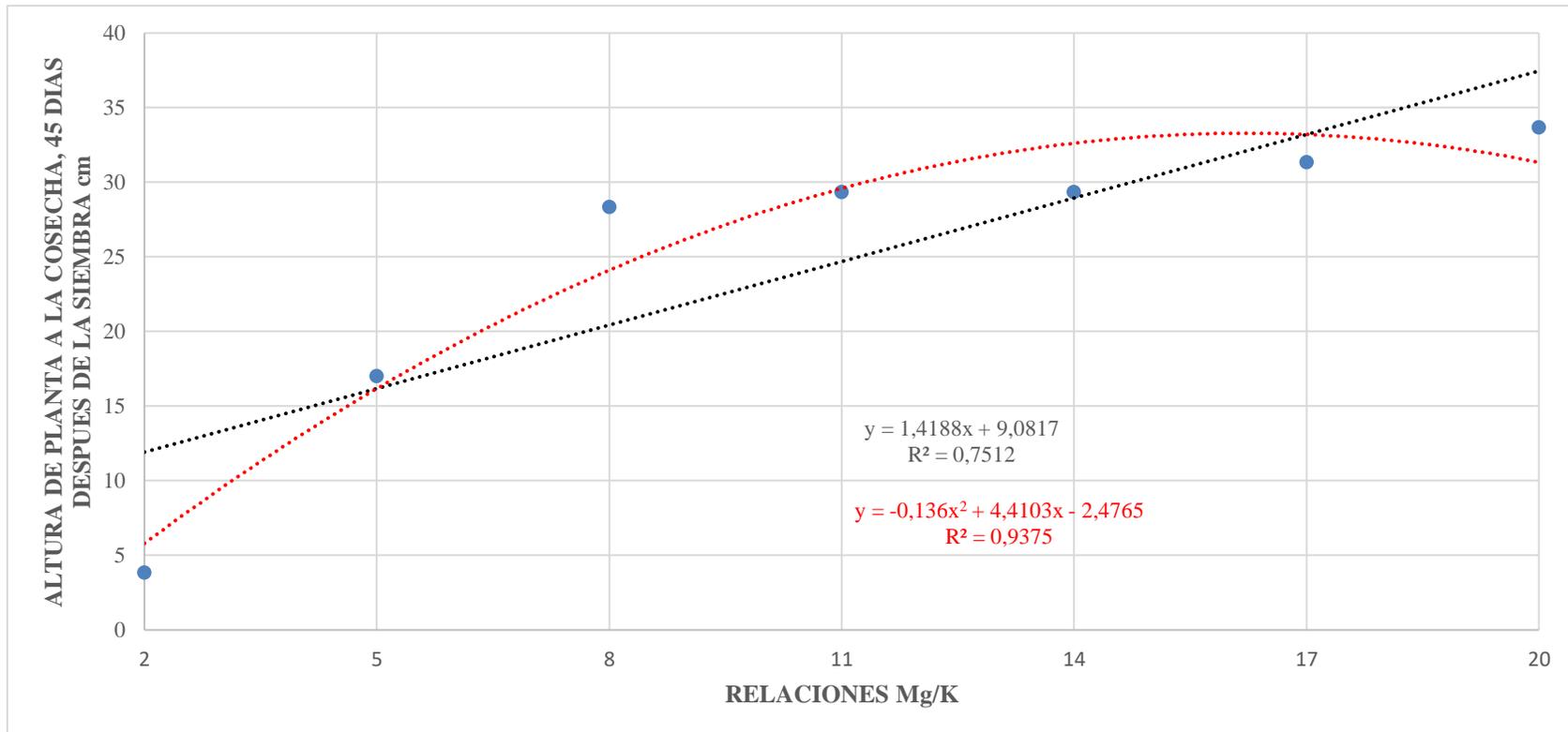


GRAFICO No. 34

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 3 DE K (0.35 meq/100g de suelo)

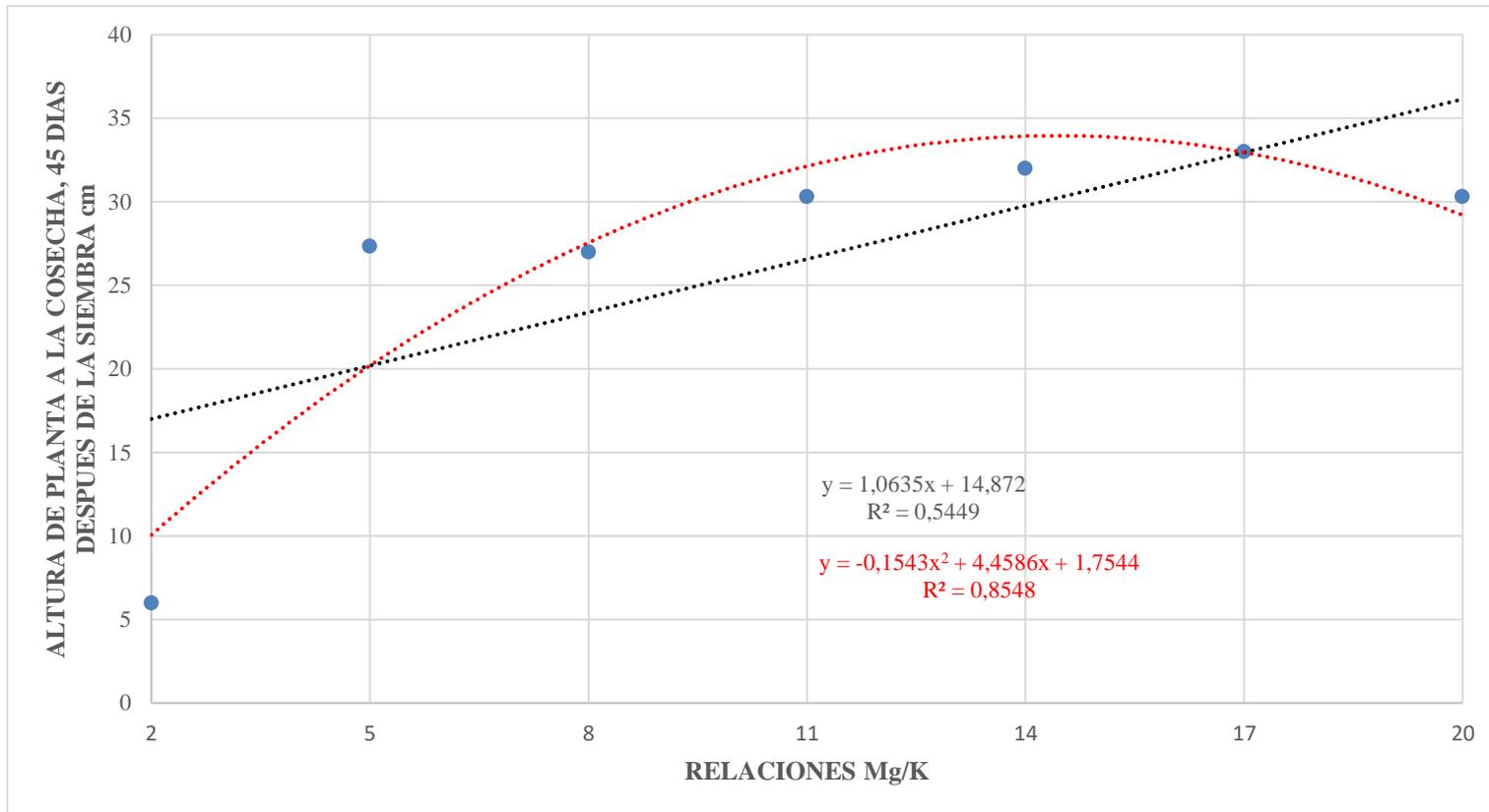


GRAFICO No. 35

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 4 DE K (0.45 meq/100g de suelo)

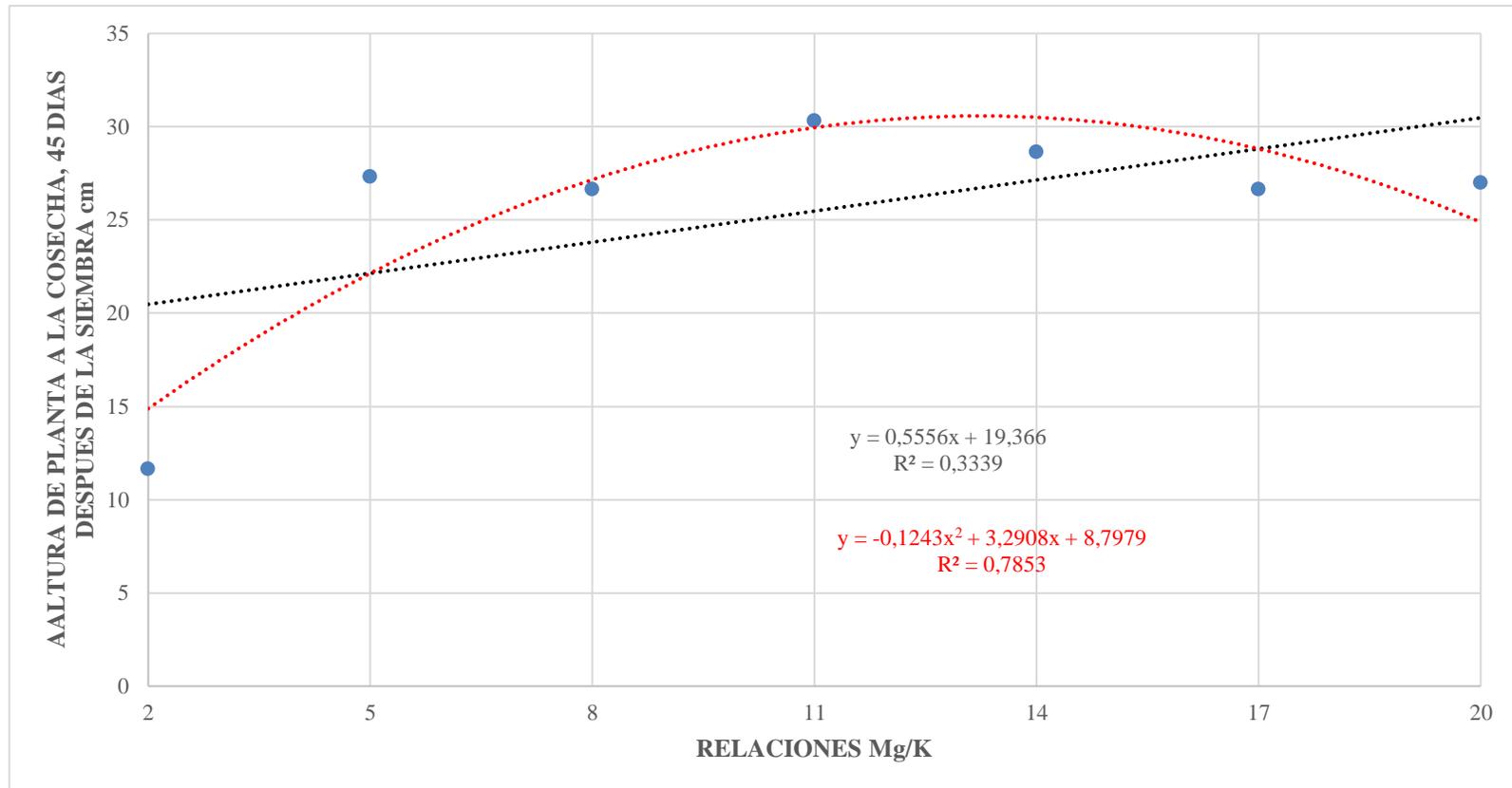
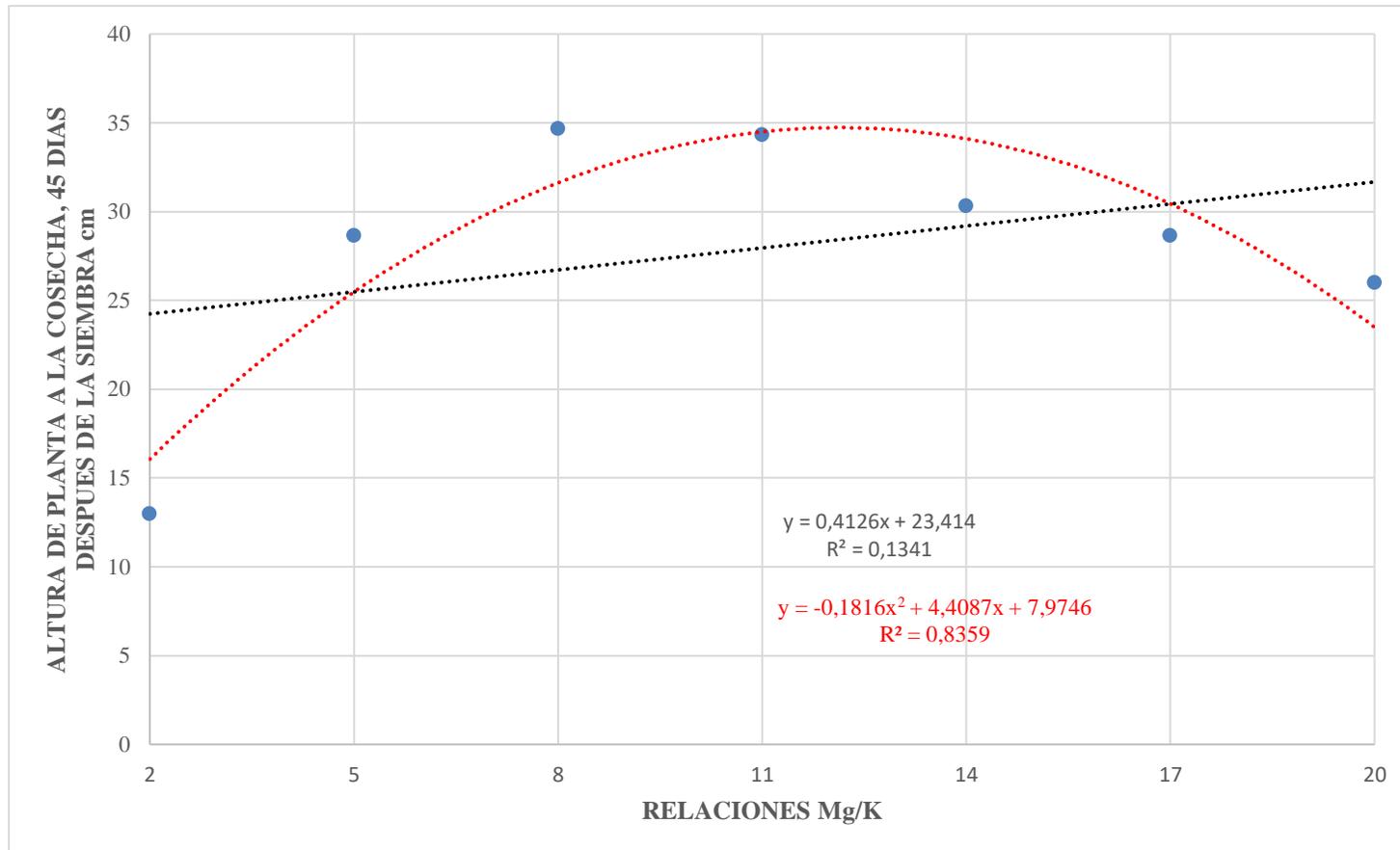


GRAFICO No. 36

REGRESION Y CORRELACION LINEAL Y PARABOLICA SIMPLE ENTRE ALTURA DE PLANTA A LA COSECHA, 45 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA CON LAS RELACIONES Mg/K DENTRO DEL NIVEL 5 DE K (0.55 meq/100g de suelo)



## CONCLUSIONES ESTADISTICAS

### 1. Análisis de Varianza

Se observa alta significancia para Niveles y Relaciones, así como para su interacción. Además, se puede apreciar alta significación para los Polinomios Ortogonales, lineal y parabólico, de estos mismos factores. (Cuadro 1)

El Coeficiente de Variación (CV) del 23,16% es aceptable para las condiciones del “Invernadero” en el cual se llevó el experimento, en éste no se puede controlar algunas variables tales como: temperatura, humedad, luminosidad, ventilación, etc., por lo que se puede considerar como una buena aproximación a las condiciones de campo.

### 2. Análisis Funcional

En las pruebas de Tukey al 5%, para las medias de Niveles (Cuadro 1a) se detectan dos rangos de igualdad (letras iguales significa que no existen diferencias estadísticas entre ellos). Para Relaciones (Cuadro 1b) se tiene tres rangos de igualdad; y, ocho rangos de igualdad para la interacción Niveles x Relaciones (Cuadro 1c).

### 3. Se realizaron Regresiones y Correlaciones, lineal y parabólica, entre el Rendimiento de Materia Seca con los Niveles estándares de K y con las Relaciones Mg/K. (Grafico 3).

La parábola para Niveles empieza a decrecer cuando ésta llega a un máximo de 3.98 meq de K; y, en las Relaciones a partir de 14.99

Además, en los gráficos de las regresiones parabólicas para Niveles y Relaciones, se presenta ubicado el primer rango de Tukey (a) y como subíndice su respectivo

Los coeficientes de correlación lineal y parabólico son altamente significativos, siendo el parabólico el de mejor ajuste.

#### 4. Análisis Funcional por Nivel

Se realizó en cada uno de los Niveles Estándar de K.

##### a) Prueba de Tukey al 5%

Estas pruebas se aplicaron en los promedios de las relaciones dentro de cada uno de los niveles de K (Cuadro 1d). En éstos se observan que las relaciones altas (R14, R17, R20) son mejores en los niveles bajos (N1, N2), y las Relaciones bajas (R5, R8, R11), son mejores en los niveles altos (N3, N4, N5); observándose que la relación R2 ocupa en todos los casos el ultimo rango de igualdad.

##### b) Polinomios Ortogonales

Se puede observar (Cuadro 1e) alta significación para el polinomio lineal y parabólico en todos los niveles, a excepción del parabólico en el Nivel 1 que no es significativo, no obstante, fue graficado.

##### c) Regresión y Correlación

En el Grafico 4 se encuentra la regresión y correlación entre el rendimiento de materia seca y las relaciones en el Nivel 1 de K; se detallan los meq para cada Relación, el porcentaje de saturación de las bases,  $(Ca + Mg) / K$  y el pH. Se observa que el efecto de las relaciones es lineal en el rendimiento; siendo el coeficiente de correlación altamente significativo (0,9745 \*\*)

En el Nivel Estándar de K 2 (Grafico 5), las dos regresiones son positivas, sin embargo, la parabólica es de mejor ajuste. Esta última tiene su punto de tangente en la Relación Mg/K 19,20 y un pH cercano a 5.9.

Los coeficientes de correlación, lineal y parabólico, son altamente significativos, siendo el cuadrático mejor ( $r = 0,9486^{**}$ ).

La parábola, en el Nivel Estándar de K 3 (Grafico 6), se quiebra en la Relación Mg/K 15.41 (pH 5.9) y su coeficiente de correlación  $r$  es de  $0.9114^{**}$ ; las dos regresiones son positivas.

Los Niveles Estándar de K 4 y 5, siguen la misma tendencia que los anteriores; la curva en el primero de estos declina en la Relación Mg/K 12.64 (pH 5.8) y en el otro, en la 11.88 (pH 5.8). Los coeficientes de correlación cuadrática  $r$  son de  $0.9113^{**}$  y  $0.9282^{**}$ , respectivamente. (Grafico 7 y 8).

## 5. Análisis Funcional por Relaciones

Este análisis se lo realizó para cada una de las Relaciones Mg/K dentro de cada Nivel Estándar de K.

### a) Prueba de Tukey al 5%

En el Cuadro 1f se observa que los Niveles de K en las Relaciones Mg/K 2 y 14 son iguales. En la Relación 5 se detectan dos rangos de igualdad, encontrándose en el primero los Niveles 3, 4 y 5. En la Relación 8, el Nivel 5 es el mejor y ocupa el primer rango de los tres que aparecen en esta Relación. En la Relación 11 tenemos dos rangos de igualdad en la que el Nivel 1 forma el segundo rango.

Las Relaciones 19 y 20 presentan dos rangos de igualdad cada uno, ocupando los tres últimos lugares del segundo rango los Niveles 4, 5, 1.

De todo lo anterior se puede deducir que los Niveles 1, 4 y 5 no funcionan en las Relaciones altas; y, los tres Niveles altos funcionan bien en las Relaciones bajas.

b) Polinomios Ortogonales

Se los realizó para determinar la tendencia sea lineal o parabólica de los Niveles dentro de cada Relación, de acuerdo con el Cuadro 1g.

Se obtuvo alta significación para la tendencia lineal y parabólico en la Relación 5 y son lineales en las Relaciones 8, 11 y 20, se detectó significación lineal en la Relación 14 y parabólico en la 20.

No se registra significación para los efectos lineal y parabólico en las Relaciones 2 y 17, y para el efecto parabólico en las Relaciones 8, 11 y 14.

c) Regresión y Correlación

En el Grafico 9 se observa que la tendencia de la regresión lineal es positiva para la Relación 2, no así la parabólica que es inversa. El coeficiente de correlación lineal simple  $r$  es de 0.9458 mientras el parabólico es de 0.9553, siendo en ambos casos significativos.

En la Relación 5 (Grafico 10), la regresión de mejor ajuste es la parabólica con un coeficiente de correlación  $r$  de 0.9488\*, y el máximo de la curva esta en 0.46 meq de K. La regresión lineal es positiva.

En la Relación 8 (Grafico 11), la regresión lineal es positiva, teniendo un mejor ajuste la parabólica, el coeficiente de correlación cuadrático  $r$  es de 0.8722NS, y el punto máximo de la curva está En la Relación en 0.94 meq de K.

En la Relación 11 (Grafico 12), la curva llega a su máximo en 0.52 meq de K y su coeficiente de correlación cuadrático de 0.9094\*; la regresión lineal es positiva.

En la Relación 14 (Grafico 13), la regresión lineal es positiva y tiene un coeficiente de correlación  $r$  de 0.97.7\*\* y la cuadrática tiene un  $r$  de 0.9879\*\* y su punto máximo en la curva es de 0.69 meq de K por 100 g de suelo.

En la Relación 17 (Grafico 14), sucede algo similar, siendo el coeficiente de correlación cuadrático de 0.6054NS, y su punto máximo es 0.30 meq de K por 100g de suelo.

En la Relación 20 el punto de tangente de la curva disminuye a 0.28 meq de K por 100g de suelo y su coeficiente de correlación  $r$  es de 0.8584 NS (Grafico 15)

En general se puede decir que a medida que la Relación Mg/K aumenta, el punto máximo de la curva disminuye.

En el Grafico 16 se encuentra dentro de la Matriz de Tratamientos, la ubicación del mejor rango de Tukey (a) y su respectivo ordinal para Niveles y Relaciones; y, dentro de cada Relación.

El Grafico 17 es similar al anterior, pero se refiere dentro de los Niveles de K, en lugar de dentro de las Relaciones.

El grafico 18 es un sumario de mejores rangos de Tukey, en todos los sentidos ortogonales de la Matriz de Tratamientos y la secuencia grafica de los mejores tratamientos dentro de cada Nivel de K.

## V. DISCUSION

A los Niveles y Relaciones se clasifico arbitrariamente en tres categorías, bajos medios y altos. El Nivel de K 1 (0.15 meq de K) ocupa la categoría baja, los Niveles 2 (0.25 meq) y 3 (0.35 meq) ocupan la categoría media y los Niveles 4 (0.45 meq) y 5 (0.55 meq) la categoría alta.

Las Relaciones Mg/K 2 y 5 forman la categoría baja, las Relaciones 8, 11 y 14 la categoría media y las Relaciones 17 y 20 alta.

Con esto se deduce lo siguiente: En los Niveles bajos de K funcionan bien las Relaciones Mg/K altas; en los Niveles medios, las Relaciones altas y medias; y, en los Niveles altos, las Relaciones medias y bajas (Grafico 18)

En las Relaciones Mg/K bajas funcionan mejor los Niveles de K altos; para las Relaciones medias los niveles medios y altos; y, para las Relaciones altas, los Niveles bajos y medios.

En general para un suelo de estas características, se observa que la Relación Mg/K funciona dentro de la curva de la regresión parabólica entre las mejores Relaciones dentro de cada Nivel. Se determino que el Nivel de respuesta llega hasta 0.6389 meq de K por 100 g de suelo y su Relación mínima es de 0.00007 (Grafico 18).

Para este suelo nominado Suelo 1, la mejor Relación en general es la R17, compartiendo el mismo rango de igualdad desde la R8 hasta la R20; y, su mejor Nivel de K el 5 (0.55 meq de K), que comparte el mismo rango con los Niveles 2, 3 y 4.

El pH, dentro de cada Nivel estándar de K no varia en su interpretación, pese a su diferente contenido de Ca y Mg, pero se puede afirmar que cuando la curva empieza a descender, el pH esta aproximadamente en 6.

## INTERPRETACION PRACTICA

Si un suelo tiene características similares a éste, se debería agregar K hasta llegar a un Nivel que ocupe el mismo rango del mejor y llevarlo aumentando Mg, a una Relación que ocupe el mismo rango de la mejor.

Igualmente, si un suelo ya esta en un Nivel determinado, se lo debería llevar a una Relación que ocupe el mismo rango de la mejor dentro de este Nivel, incrementando Mg. Y si tiene ya una Relación buena, llevarla por esta a un Nivel de K que ocupe el mismo rango del mejor, incrementando en este caso, K.

Si se aumenta Mg en cualquiera de los casos anteriores, se deberá checar la Relación Ca/Mg, que este en los parámetros óptimos y si es el caso se incrementara Ca.

Generalizando, se debería llevar a un suelo al mejor tratamiento agroeconómico, de acuerdo a los costos de los tratamientos, que son las interacciones de esta Matriz utilizada para esta investigación.

## VI. CONCLUSIONES

El rango óptimo agrícola para Relaciones Mg/K en este suelo denominado Suelo 1, está entre la R8 a la R20, siendo su  $R_{\max}$  14.99 y la mejor la R17.

El mejor Nivel estándar de K es el N5 (0.55 meq de K/100 g de suelo), compartiendo el rango con los Niveles 2, 3 y 4 (0.25; 0.35; 0.45 meq de K/100 g de suelo, respectivamente).

En el Nivel 1 el mejor rango para las Relaciones Mg/K va desde la R14 hasta la R20 (R17a<sub>1</sub>); en el Nivel 2, desde la R8 a la R20 (R20a<sub>1</sub>); en el Nivel 3, desde la R5 a la R20 (R17a<sub>1</sub>); en el Nivel 4, desde R8 a la R20 (R11a<sub>1</sub>); y en el Nivel 5, desde la R8 a la R14 (R14a<sub>1</sub>).

Las mejores Relaciones dentro de cada Nivel forman una parábola, que empieza con Relaciones altas en los Niveles bajos, y tiende a las Relaciones bajas a medida que aumenta el Nivel de K.

La Matriz Experimental, que se diseñó para esta investigación, demostró precisión y exactitud para manejar cantidades y relaciones de varios elementos, por lo cual se lo utilizará en futuras investigaciones con el nombre de MATRIZ EXPERIMENTAL “SANTA CATALINA”, siendo sus autores el Ing. Agr. Germán Diener S. y el Egdo. Juan Carlos Gallardo Z., quien la probó en la presente Tesis de Grado previa la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Replicar o aplicar en el campo esta investigación en cultivos donde la Relación Mg/k es crítica, ejemplo: maíz, palma aceitera, sorgo, etc.
2. Repetir este trabajo en suelos con distintas características de los ya estudiados, cabe indicar que este trabajo se lo realizo con seis suelos diferentes y se está reportando únicamente de uno.
3. Considerar en las recomendaciones de fertilización, con la misma importancia, las cantidades y las relaciones de estos elementos.
4. Para la formulación de las Relaciones se deberá tomar en cuenta el contenido original y de acuerdo a este, calcular las cantidades que deberán complementarse.
5. En experimentos de campo llegar a establecer el óptimo económico con una Matriz de Costos y Rendimientos sobrepuesta a la de tratamientos.

VIII. RESUMEN

En un experimento en invernadero, y utilizando sorgo (*Sorghum vulgare*) como planta indicadora, se evaluaron cinco Niveles de K estandarizados y siete Relaciones Mg/K. Para este objeto se desarrolló una Matriz Experimental original, que en adelante se le llamará “Santa Catalina”, que permite manejar relaciones y cantidades simultáneamente de varios elementos.

Los factores estudiados fueron:

Niveles estándar de K: 0.15 - 0.25 - 0.35 - 0.45 - 0.55 meq de K/100 g de suelo.

Relaciones Mg/K: 2 - 5 - 8 - 11 - 14 - 17 y 20

Las pruebas estadísticas utilizadas fueron realizadas en forma general, dentro de cada Nivel y dentro de cada Relación; es decir, en cada sentido ortogonal de la matriz.

De los resultados del suelo 1 se concluyó lo siguiente:

En general los Niveles 0.25 - 0.35 - 0.45 - 0.55 son considerados estadísticamente iguales, ocupando el primer lugar en este rango 0.55 meq de K/100 g de suelo.

La mejor Relación es la R17, siendo estadísticamente igual a la R8 - R11 - R14 y R20, por lo que el rango de Relaciones de mejor funcionamiento va de R8 a R20.

En los Niveles bajos de K funcionan mejor las Relaciones Mg/K altas, en los Niveles medios, las Relaciones altas y medias; y, en los Niveles altos las bajas y medias.

La Matriz usada permitió determinar los puntos máximos para Niveles y Relaciones, por cuanto las tendencias fueron parabólicas.

## IX. SUMMARY

Five levels of K and seven levels of Mg per K level were applied to Sorghum was used as the indicator crop and was grown under greenhouse conditions. An original experimental matrix was utilized to permit the management of the different levels of K, and Mg simultaneously.

The different levels of K used were: 0.15 – 0.25 – 0.35 – 0.45 and 0.55 meq of K per 100 grams of soil. The levels of Mg used were in the form of a ratios in relation to levels of K, these ratios were: 2 – 5 – 8 – 11 – 14 – 17 – 20 times the meq of K applied.

A statistical analysis was performed for each level of K and for each ratio de Mg. This is to say an analysis was done on each orthogonal direction of the matrix.

From the results obtained of soil 1 the following was concluded: In general, there was no statistical difference between the 0.25 – 0.35 – 0.45 – 0.55 levels of K, however, the best response was obtained with 0.55 meq of K/ 100 g of soil.

There was no significant difference between the 8 to 20 ratios of Mg per K. However, there was a significant difference between the 2 to 5 group and 8 to 20 group of ratios, however the ratio 17 of Mg per K was the best overall.

In the low levels of K, a significantly better response was obtained with the higher ratios of Mg to K. At the intermediate levels of K, a significantly better response was obtained with the intermediate an high ratios and at the high levels the K the response was better with the intermediate and low ratios of Mg to K.

## X. BIBLIOGRAFIA

- BEDI, A. (1977). Effect of potassium and Magnesium applications to soil on the dry-matter yield and cation compositions of maize. *Soil and Fertilizers* 40 (1) 574.
- BOWER, & PIERRE. (1963). Relaciones Ca-Mg-K. *Fertilité* No. 20, 50.
- DEVLIN, R. (1970). *Fisiología Vegetal*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- FASSBANDER, R. (1975). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Retrieved 1980
- FORESTIER, J. (1968). Importancia de las Relaciones del Potasio con otros nutrientes en la nutrición del café. *El Potasio y el Café Robusta*. IX, p. 68. Bogotá: Memorias del V Coloquio de suelos Colombia.
- HANSEN, P. (1975). Effect of potassium and magnesium on "Cor's Orange Pippin" on a sandy loam. *Tidsskrift for Planteavl* 79 (2), 259-265.
- HARDY, F. (1960). *Report on a visit to the riverine belt of Ecuador*. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Retrieved 1980
- HUNTER, H. (1975). *Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrientes con miras a determinar las enmiendas de suelos requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas*. Carolina del Norte: Raleigh. Universidad de Carolina del Norte. Series ISFEI. Trabajo no publicado.
- LAUGHLIN, W. M. (1966). Efectos de la aplicación de potasio y magnesio en el suelo y en aspersión foliar, en el rendimiento y composición nutritiva en el cultivo de patatas. *American Potato*, 43 11, 403-411.
- LEON, L. (1968). Relaciones de Ca, Mg y K en suelos de la Florida. *Agricultura Tropical*, 235-236.
- McINTOSH, S., CROOKS, P., & SIMPSON, K. (1973). The effects of applied N, P and Mg on the distribution of magnesium in the plant. *Soil and Fertilizers* 37 (6) 168, 389-397.
- MERCIK, S. (1977). Effect of High potassium rates on soils depleted in available potassium forms. (R. Gleboznaweze, Ed.) *Soil and Fertilizers*, 28 (2) 105-124, 348.
- NADIR, M. (1972). K-Ca and K-Mg antagonism, and influence of potassium on other mineral elements, in particular forms of Ca in citrus leaves. *Soil and fertilizers* 39 (6), *Awania* No. 44 81-109, 397.
- RADI, A., MUBASHER, A., & KHEIKAL, M. (1973). Interaction of cations in tomato, bean and maize plants. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii* No. 5 13-17.

ROMERO, G. (1980). *Determinacion de la relación Mg y K en los suelos cultivados con Palma Africana Elaeis guineensis Jacq.* Universidad Cenral del Ecuador. Facultad de Ciencias Agricolas, Quito.

SCHUETTE, N. (1968). Interacción entre los elementos nutritivos. *Fertilité No. 31*, 10.

SU, N. R. (1969). Recomendaciones sobre el régimen nutritivo de ananas en formosa. *Revista de la Potasa*, Sección 27 48a continuacion.

XI. APENDICE

DATOS DE CAMPO PARA EL ANALISIS DE VARIANCIA SUELO No. 1RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN GRAMOS

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	II		
N1 R2	0,15	0,10	0,05	0,30	0,10
N1 R5	0,37	0,29	0,22	0,88	0,29
N1 R8	0,93	0,85	0,91	2,69	0,90
N1 R11	1,96	1,79	2,78	6,53	2,18
N1 R14	3,53	3,83	2,46	9,82	3,27
N1 R17	3,59	4,02	4,93	12,54	4,18
N1 R20	3,91	3,80	4,58	12,29	4,10
N2 R2	0,11	0,14	0,16	0,41	0,14
N2 R5	1,41	1,10	1,08	3,59	1,20
N2 R8	2,84	5,74	4,13	12,71	4,24
N2 R11	4,95	4,47	4,36	13,78	4,59
N2 R14	3,63	5,20	3,05	11,88	3,96
N2 R17	5,22	4,30	6,56	16,08	5,36
N2 R20	5,76	5,93	5,50	17,19	5,73
N3 R2	0,25	0,28	0,19	0,72	0,24
N3 R5	3,79	3,15	4,07	11,01	3,67
N3 R8	2,50	4,30	4,18	10,98	3,66
N3 R11	6,32	3,29	3,64	13,25	4,42
N3 R14	3,80	4,13	4,46	12,39	4,13
N3 R17	5,73	5,42	5,58	16,73	5,58
N3 R20	3,54	5,68	4,26	13,48	4,49
N4 R2	0,55	0,50	0,74	1,79	0,60
N4 R5	2,30	4,20	3,91	10,41	3,47
N4 R8	6,13	2,20	3,83	12,16	4,05
N4 R11	4,36	4,69	5,12	14,17	4,72
N4 R14	4,63	4,73	4,17	13,53	4,51
N4 R17	4,52	2,17	3,05	9,74	3,25
N4 R20	2,77	4,93	3,47	11,17	3,72
N5 R2	0,60	0,65	0,68	1,93	0,64
N5 R5	3,02	2,38	4,27	9,67	3,22
N5 R8	6,65	5,55	6,65	18,85	6,28
N5 R11	5,87	5,33	5,28	16,48	5,49
N5 R14	4,07	5,08	5,06	14,21	4,74
N5 R17	4,27	3,91	3,89	12,07	4,02
N5 R20	3,20	2,53	3,32	9,05	3,02

DATOS DE CAMPO PARA EL ANALISIS DE VARIANCIA SUELO No. 1ALTURA DE PLANTA EN cm A LOS 10 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	II		
N1 R2	1,57	1,69	1,65	4,91	1,64
N1 R5	2,00	1,50	1,50	5,00	1,67
N1 R8	3,00	3,30	3,00	9,30	3,10
N1 R11	3,30	3,50	4,00	10,80	3,60
N1 R14	4,50	5,00	5,20	14,70	4,90
N1 R17	5,00	4,50	4,20	13,70	4,57
N1 R20	5,00	4,70	4,80	14,50	4,83
N2 R2	1,20	1,00	1,50	3,70	1,23
N2 R5	3,00	3,50	3,30	9,80	3,27
N2 R8	5,00	5,40	4,80	15,20	5,07
N2 R11	4,50	3,80	5,00	13,30	4,43
N2 R14	5,00	5,00	5,20	15,20	5,07
N2 R17	4,80	5,00	4,80	14,60	4,87
N2 R20	5,20	4,80	4,40	14,40	4,80
N3 R2	1,50	2,00	1,60	5,10	1,70
N3 R5	4,50	4,50	5,00	14,00	4,67
N3 R8	5,50	5,50	5,60	16,60	5,53
N3 R11	5,00	5,00	5,50	15,50	5,17
N3 R14	4,80	6,00	5,50	16,30	5,43
N3 R17	4,80	5,00	5,50	15,30	5,10
N3 R20	4,70	5,00	5,00	14,70	4,90
N4 R2	2,00	1,50	1,00	4,50	1,50
N4 R5	3,50	4,00	3,50	11,00	3,67
N4 R8	4,50	5,20	5,00	14,70	4,90
N4 R11	5,00	5,50	5,50	16,00	5,33
N4 R14	6,00	5,50	5,50	17,00	5,67
N4 R17	5,50	5,00	5,50	16,00	5,33
N4 R20	6,00	6,00	5,50	17,50	5,83
N5 R2	3,00	2,00	2,50	7,50	2,50
N5 R5	4,50	4,50	5,00	14,00	4,67
N5 R8	5,50	5,50	5,50	16,50	5,50
N5 R11	5,00	5,20	6,00	16,20	5,40
N5 R14	5,00	5,50	6,20	16,70	5,57
N5 R17	5,50	5,50	5,50	16,50	5,50
N5 R20	5,20	4,80	6,00	16,00	5,33

DATOS DE CAMPO PARA EL ANALISIS DE VARIANCIA SUELO No. 1ALTURA DE PLANTA EN cm A LOS 18 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	II		
N1 R2	3,56	4,26	4,13	11,95	3,98
N1 R5	4,50	5,50	4,50	14,50	4,83
N1 R8	7,50	7,50	7,50	22,50	7,50
N1 R11	9,00	10,50	11,50	31,00	10,33
N1 R14	11,50	11,50	12,00	35,00	11,67
N1 R17	12,00	13,50	13,00	38,50	12,83
N1 R20	13,50	14,00	13,50	41,00	13,67
N2 R2	3,00	3,50	4,50	11,00	3,67
N2 R5	9,00	8,50	4,80	22,30	7,43
N2 R8	11,00	13,00	13,00	37,00	12,33
N2 R11	12,00	12,50	13,00	37,50	12,50
N2 R14	13,00	13,00	13,00	39,00	13,00
N2 R17	14,00	13,00	13,50	40,50	13,50
N2 R20	14,50	11,00	14,00	39,50	13,17
N3 R2	4,00	5,00	6,00	15,00	5,00
N3 R5	13,50	13,00	12,00	38,50	12,83
N3 R8	14,00	13,00	15,00	42,00	14,00
N3 R11	13,00	13,00	13,00	39,00	13,00
N3 R14	13,00	14,50	13,50	41,00	13,67
N3 R17	13,50	13,50	13,00	40,00	13,33
N3 R20	13,00	14,50	15,50	43,00	14,33
N4 R2	4,50	4,00	6,50	15,00	5,00
N4 R5	12,00	11,00	11,00	34,00	11,33
N4 R8	12,00	12,50	14,50	39,00	13,00
N4 R11	14,00	14,50	15,50	44,00	14,67
N4 R14	12,50	15,00	13,50	41,00	13,67
N4 R17	13,50	13,00	14,00	40,50	13,50
N4 R20	12,50	14,00	13,50	40,00	13,33
N5 R2	7,00	6,50	5,50	19,00	6,33
N5 R5	14,50	12,00	12,50	39,00	13,00
N5 R8	13,50	13,50	14,00	41,00	13,67
N5 R11	14,00	14,00	15,00	43,00	14,33
N5 R14	15,00	15,00	14,00	44,00	14,67
N5 R17	14,00	14,00	16,00	44,00	14,67
N5 R20	15,50	13,50	13,00	42,00	14,00

DATOS DE CAMPO PARA EL ANALISIS DE VARIANCIA SUELO No. 1ALTURA DE PLANTA EN cm A LA COSECHA 45 DDS

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	II		
N1 R2	5,46	6,33	8,13	19,92	6,64
N1 R5	7,00	7,00	6,00	20,00	6,67
N1 R8	14,00	15,00	17,00	46,00	15,33
N1 R11	22,00	23,00	23,00	68,00	22,67
N1 R14	28,00	24,00	25,00	77,00	25,67
N1 R17	26,00	28,00	27,00	81,00	27,00
N1 R20	30,00	28,00	24,00	82,00	27,33
N2 R2	3,50	4,00	4,00	11,50	3,83
N2 R5	20,00	16,00	15,00	51,00	17,00
N2 R8	26,00	31,00	28,00	85,00	28,33
N2 R11	33,00	26,00	29,00	88,00	29,33
N2 R14	30,00	30,00	28,00	88,00	29,33
N2 R17	31,00	27,00	36,00	94,00	31,33
N2 R20	33,00	33,00	35,00	101,00	33,67
N3 R2	7,00	7,00	4,00	18,00	6,00
N3 R5	25,00	28,00	29,00	82,00	27,33
N3 R8	27,00	30,00	24,00	81,00	27,00
N3 R11	35,00	29,00	27,00	91,00	30,33
N3 R14	30,00	35,00	31,00	96,00	32,00
N3 R17	36,00	30,00	33,00	99,00	33,00
N3 R20	27,00	33,00	31,00	91,00	30,33
N4 R2	12,00	11,00	12,00	35,00	11,67
N4 R5	25,00	28,00	29,00	82,00	27,33
N4 R8	28,00	25,00	27,00	80,00	26,67
N4 R11	29,00	29,00	33,00	91,00	30,33
N4 R14	28,00	30,00	28,00	86,00	28,67
N4 R17	29,00	26,00	25,00	80,00	26,67
N4 R20	23,00	32,00	26,00	81,00	27,00
N5 R2	12,00	15,00	12,00	39,00	13,00
N5 R5	30,00	23,00	33,00	86,00	28,67
N5 R8	39,00	32,00	33,00	104,00	34,67
N5 R11	34,00	34,00	35,00	103,00	34,33
N5 R14	29,00	30,00	32,00	91,00	30,33
N5 R17	30,00	27,00	29,00	86,00	28,67
N5 R20	25,00	26,00	27,00	78,00	26,00

METODO EMPLEADO PARA LOS ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

- A. Para las regresiones lineales simples se utilizó el método de los mínimos cuadrados, haciendo “X” a los factores en estudio Niveles y Relaciones de la manera siguiente:

<u>Niveles</u>	<u>"X"</u>	<u>Relaciones</u>	<u>"X"</u>
0,15	1	2	1
0,25	2	5	2
0,35	3	8	3
0,45	4	11	4
0,55	5	14	5
		17	6
		20	7

Para estimar “Y” se utilizó la ecuación siguiente:

$$Y = ax + b \quad \text{siendo:}$$

Y = Valor a estimarse

a = Pendiente de la regresión

b = Término independiente

x = Valor del factor

- B. Para la medición de las tendencias se utilizó el método de Gauss y Jordan con valores codificados simétricamente para Polinomios Ortogonales, de la siguiente manera:

Niveles	"X"		Relaciones	"X"	
	Lineal	Parabólico		Lineal	Parabólico
0,15	-2	2	2	-3	5
0,25	-1	-1	5	-2	0
0,35	0	-2	8	-1	-3
0,45	1	-1	11	0	-4
0,55	2	2	14	1	-3
			17	2	0
			20	3	5

En las regresiones cuadráticas para determinar “Y” se utilizó la siguiente ecuación:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

El coeficiente de correlación cuadrático se lo encontró calculando el coeficiente de correlación entre los valores observados y los estimados con la fórmula de la regresión cuadrática, este coeficiente califica la bondad de ajuste de la regresión cuadrática.

La significación de los coeficientes de correlación fue determinada por la prueba de “t” para correlaciones, de la siguiente forma:

$$t = r \sqrt{N - 2 / 1 - r^2} \quad \text{con } N-2 \text{ grados de libertad}$$

Para la actual impresión se utilizo el Excel y el Infostat

## FOTOGRAFIAS

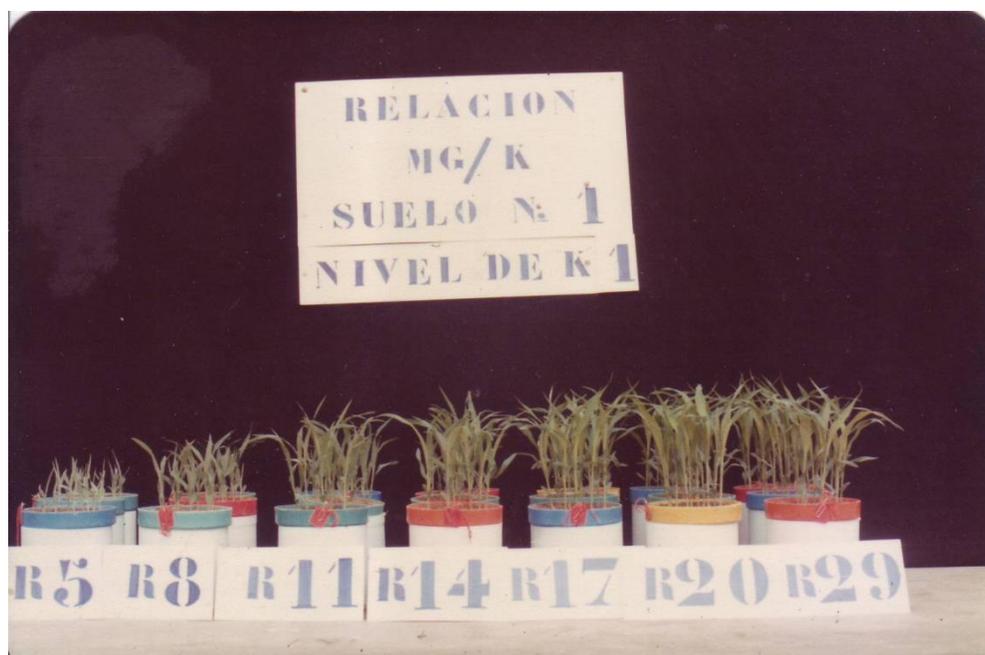
COMENTARIO: En todas las fotografías que a continuación se encuentran, se observa que la altura de las plantas tiene una tendencia Parabólica que corrobora con los gráficos para Relaciones en cada Nivel (Gráficos 4, 5, 6, 7, 8). Además, da una idea de los rangos para Relaciones.



FOTOGRAFIA 1. Aspecto general del suelo 1



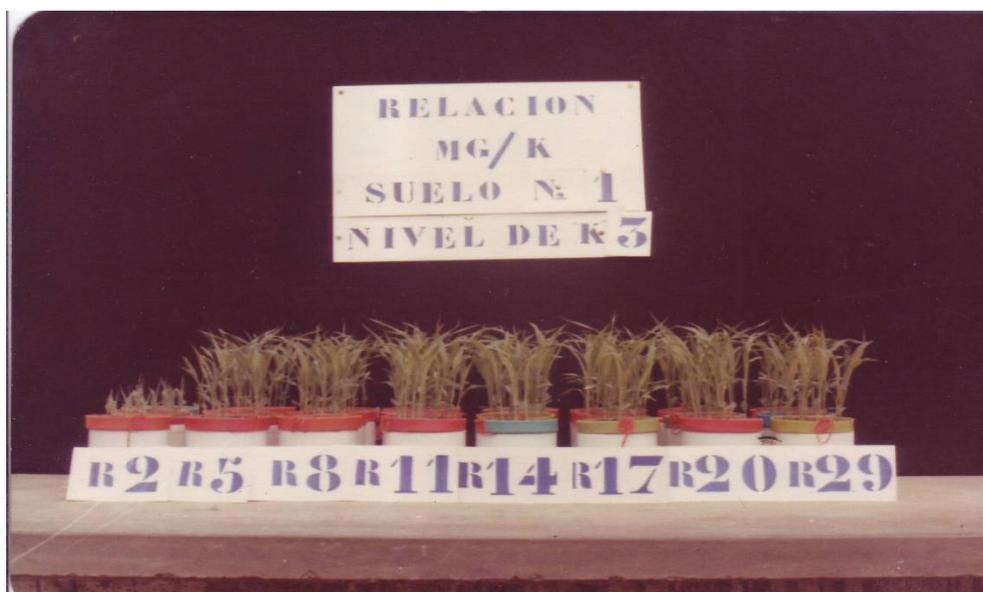
FOTOGRAFIA 2. Relaciones Mg/K en el Nivel de K (O) original del suelo



FOTOGRAFIA 3. Relaciones Mg/K en el Nivel estándar de K 1 (0.15 meq)



FOTOGRAFIA 4. Relaciones Mg/K en el Nivel estándar de K 2 (0.25 meq)



FOTOGRAFIA 5. Relaciones Mg/K en el Nivel estándar de K 3 (0.35 meq)



FOTOGRAFIA 6. Relaciones Mg/K en el Nivel estándar de K 4 (0.45 meq)



FOTOGRAFIA 7. Relaciones Mg/K en el Nivel estándar de K 5 (0.55 meq)

El Autor: [jcgallardo@yahoo.com](mailto:jcgallardo@yahoo.com)