

# Universidad de Valladolid

Departamento de Ciencias Agroforestales



## TESIS DOCTORAL

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y QUÍMICA EN SUELOS  
DEGRADADOS CULTIVADOS CON MAÍZ (*Zea mays* L.) EN EL ESTADO  
YARACUY, VENEZUELA.

ISABEL ELENA ARRIECHE LUNA

Noviembre de 2008

TESIS DOCTORAL

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y QUÍMICA  
EN SUELOS DEGRADADOS CULTIVADOS CON MAÍZ  
(*Zea mays* L.) EN EL ESTADO YARACUY, VENEZUELA.**

Memoria que para optar al Grado de Doctor por la Universidad de  
Valladolid presenta la Licenciada en Química, Isabel Elena Arrieché  
Luna.

**Noviembre de 2008**

## RESUMEN

El incremento de la degradación de los suelos en el mundo ha generado un interés creciente en la respuesta de la fertilización orgánica como mecanismo de recuperación. En Venezuela, específicamente en la Cuenca Media del Río Yaracuy, estado Yaracuy, el uso de los recursos naturales por el sector agrícola en los últimos 50 años trajo como consecuencia la degradación orgánica de los suelos, la cual disminuyó su productividad. El uso intensivo de la mecanización convencional en el cultivo maíz, ha influido en las condiciones físicas, químicas y biológicas de este recurso natural, y ha conducido actualmente a la necesidad de utilizar grandes cantidades de insumos (fertilizantes, plaguicidas, maquinarias), para tratar de incrementar los rendimientos del cultivo. Uno de los principales factores que afectan la producción son los bajos niveles de materia orgánica existentes en estos suelos, debido a que ella es primordial en el desarrollo del ecosistema terrestre y en la productividad potencial de los sistemas naturales y cultivados. Como fuente natural para agregar materia orgánica a los suelos están los abonos orgánicos provenientes del campo (residuos de cosecha), estiércoles y desechos industriales entre otros. La problemática del tipo, cantidad y naturaleza de los residuos orgánicos ha sido uno de los mayores inconvenientes al momento de pensar en el uso de residuos orgánicos en el campo agrícola, por lo que la presente investigación se planteó solventar el problema de la degradación orgánica que afecta a los productores de 50.000 ha de maíz ubicados en la Cuenca media del Río Yaracuy, estado Yaracuy, Venezuela, con la combinación de la fertilización orgánica y química. Para llevar a cabo ese objetivo, se planteó en una primera etapa, caracterizar tres abonos orgánicos agroindustriales comerciales, dos estiércoles de gallinaza y uno de cachaza de caña de azúcar, mediante la evaluación del contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl y Na), micronutrientes (Cu, Zn, Fe y Mn), y su grado de humificación mediante el fraccionamiento de la materia orgánica; seleccionar uno de los tres abonos orgánicos caracterizados, a través de la medición de las variables de pH, CE, materia orgánica, fertilidad del suelo

(macro y micronutrientes), y el cultivo del maíz (estado nutricional y rendimiento), en ensayos de campos con diseño de bloques al azar en dos suelos agrícolas, uno de reacción alcalina y otro de reacción ácida, ubicados en el estado Yaracuy. En la segunda etapa de la investigación, se determinó el nitrógeno mineralizado del abono orgánico seleccionado (cachaza) incubado con dos suelos ubicados en dos localidades del estado Yaracuy: El Rodeo y La Virgen. Se establecieron dosis, óptima y económica de rendimiento del cultivo, con la instalación de ensayos de campo bajo diseño de superficie de respuesta con 32 tratamientos en el primer año, y 27 tratamientos en el segundo, de fertilizantes combinados de cachaza y NPK en los dos suelos anteriores; y con la evaluación de los efectos de los diferentes tratamientos sobre la fertilidad del suelo; estado nutricional y rendimiento del cultivo maíz. Los resultados de las características físicas y químicas de los abonos orgánicos arrojaron que la cachaza presentó menor porcentaje de humedad con respecto a los estiércoles de gallinaza, pH neutro y bajos valores de conductividad eléctrica asociados a menor contenido de sodio. Las características de fertilidad (MO, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn) fueron consideradas importantes principalmente potasio y fósforo, en los dos suelos, y calcio en el suelo ácido, determinando niveles de fertilidad similares en los tres abonos; finalmente el grado de humificación de la materia orgánica, indicativo de un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de los suelos, fue mayor en el abono orgánico de origen vegetal (cachaza). Los rendimientos del cultivo maíz aumentaron en los tratamientos donde se aplicó cachaza, con una mayor relevancia en el suelo de reacción alcalina. El comportamiento de los tres tipos de abonos orgánicos sobre la mayoría de los nutrientes del suelo, fue más beneficiosos aquellos que utilizaron polienzimas en su preparación (EP2 y CA), siendo la cachaza la que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista estadístico. Estos resultados conllevaron a la escogencia del abono orgánico, cachaza, para realizar la segunda fase del trabajo. La mayor mineralización del nitrógeno por parte de la cachaza se presentó en la sexta semana, momento de mayor requerimiento del nutriente por parte del cultivo maíz, esto fue mayor en el suelo El Rodeo que en el suelo La Virgen. Las dosis combinadas de nitrógeno y cachaza incrementaron los contenidos de materia orgánica en los suelos degradados; aumentaron los contenidos de nitrógeno en la planta; e incrementaron los rendimientos del



cultivo significativamente con las aplicaciones cachaza en los dos suelos. En el estudio se consiguieron las siguientes dosis óptima y económica de NPK y CA de rendimiento del cultivo maíz: suelo El Rodeo: 200-190-80 y 3350 Kg.ha<sup>-1</sup>; y suelo La Virgen: 200-100-80 y 3000 Kg.ha<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos en el trabajo indican una mayor demanda en los niveles nitrógeno y de fósforo, dado a la degradación cada vez mas acelerada de los suelos, sin embargo la incorporación del material orgánico evidencia un mayor aprovechamiento de los nutrientes en el suelo, lo que incrementa su disponibilidad y se constituye en una alternativa de recuperación de estos suelos a largo plazo. Esta investigación demostró que el abono orgánico de origen vegetal (cachaza) combinada con fertilizantes químico NPK, mejora las características de fertilidad de los suelos e incrementa significativamente el rendimiento del cultivo del maíz a nivel experimental.

---

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	8
2.1. Degradación de suelo	11
2.2. Materia orgánica de los suelos	12
2.2.1 Definición e importancia	12
2.2.2 Pérdida de MOS en suelos tropicales	14
2.3. Residuos orgánicos y su uso en suelos agrícolas	16
2.3.1 Calidad de los residuos orgánicos	17
2.3.2 Compostaje. Definición, proceso e importancia	18
2.3.3 Mineralización del nitrógeno en suelos abonados con residuos orgánicos.	21
2.3.4 Efecto de los residuos orgánicos sobre las propiedades químicas de los suelos y el cultivo, y sobre el rendimiento	25
2.3.5 Efecto de la aplicación combinada de fertilización orgánica y química sobre el suelo, estado nutricional de la planta y productividad del cultivo.	29
2.4. Características del manejo del cultivo de maíz	31
2.4.1 Época de siembra	32
2.4.2 Desarrollo del cultivo	32
2.4.3 Aspectos climatológicos	33
2.4.4 Manejos de macro y micronutrientes en la fertilización del Maíz	34
2.4.5 Establecimiento de dosis de fertilización en el cultivo del Maíz	36
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	41
3.1. Selección de abonos orgánicos	41
3.1.1 Procedencia y descripción de los abonos orgánicos	41
3.1.2 Caracterización de las variables físicas y químicas de los abonos orgánicos	42
3.1.2.1 Porcentaje de humedad (% H)	42
3.1.2.2 pH y conductividad eléctrica (CE)	43

---

3.1.2.3 Carbono orgánico total (COT)	43
3.1.2.4 Determinación de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg)	43
3.1.2.5 Determinación de microelementos (Zn, Cu, Fe, Mn)	44
3.1.2.6 Determinación de cloruros (Cl)	44
3.1.2.7 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	44
3.1.3 Extracción y funcionamiento de las sustancias húmicas	44
3.1.3.1 Determinación del carbono orgánico	46
3.1.3.2 Parámetros de humificación	46
3.2. Trabajo de campo	46
3.2.1 Ubicación geográfica del área	46
3.2.2 Características generales de la zona de estudio	47
3.3. Diseño de los experimentos de campo	48
3.3.1 Evaluación del efecto de los abonos orgánicos sobre los suelos, el cultivo y el rendimiento	48
3.3.2 Obtención de dosis óptimas y económicas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos	49
3.3.3 Manejo agronómico de los experimentos de campo	54
3.3.4 Condiciones climáticas durante los ciclos del cultivo maíz	55
3.4. Muestreo de campo	57
3.4.1 Suelo	57
3.4.2 Plantas	57
3.4.3 Mazorcas de Maíz	57
3.5. Trabajo de laboratorio	58
3.5.1 Análisis físicos y químicos de los suelos	58
3.5.2 Análisis químico foliar del cultivo de Maíz	58
3.5.3 Estimación del rendimiento de Maíz	59
3.5.4 Mineralización del nitrógeno de la cachaza (CA).	59
3.5.4.1 Determinación del nitrógeno mineral	60
3.5.4.2 Determinación del nitrógeno amoniacal y nítrico	60
3.5.4.3 Determinación de la tasa de mineralización del nitrógeno	60

---

3.6 Análisis estadístico de los resultados	61
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>62</b>
4.1. Estudios preliminares	62
4.1.1 Variables físicas de los abonos orgánicos	62
4.1.2 Contenido de carbono orgánico total, materia orgánica y relación C/N de los abonos orgánicos	63
4.1.3 Contenido de macroelementos y microelementos en los abonos orgánicos	65
4.1.4 Fraccionamiento de sustancias húmicas	67
4.1.5 Caracterización físico química de los suelos	69
4.1.6 Efecto de la aplicación de los abonos orgánicos sobre los suelos en la experimentación de los años 2002-2003.	71
4.1.6.1 Suelo alcalino	71
4.1.6.2 Suelo ácido	79
4.1.6.3 Análisis de componentes de las variables químicas de los dos suelos: alcalino (ALC) y ácido (AC).	85
4.1.7 Efecto de la aplicación de los abonos orgánicos sobre el cultivo	87
4.1.7.1 Suelo alcalino	88
4.1.7.2 Suelo ácido	94
4.1.8 Influencia de los abonos sobre el rendimiento del Maíz	99
4.1.8.1 Suelo alcalino	99
4.1.8.2 Suelo ácido	101
4.2. Obtención de dosis óptima y económica de rendimiento del cultivo maíz	103
4.2.1. Mineralización del nitrógeno en el suelo con cachaza.	104
4.2.1.1. Evolución de las formas minerales del nitrógeno.	104
4.2.1.2. Mineralización del nitrógeno de las muestras incubadas	107
4.2.1.3. Mineralización neta del nitrógeno de las muestras incubadas	108
4.2.1.4. Tasa de mineralización del nitrógeno	109
4.2.2. Ensayos de superficie de respuesta	110
4.2.2.1. Efectos de los tratamientos sobre las características químicas del suelo El Rodeo.	110

---

4.2.2.2. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas foliares y el rendimiento del cultivo maíz en el suelo El Rodeo.	115
4.2.2.3. Dosis óptima y económica de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O y CA en el diseño Central Rotable para el suelo El Rodeo.	120
4.2.2.4. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas del suelo La Virgen.	128
4.2.2.5. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas foliares y el rendimiento del cultivo maíz en el suelo La Virgen.	132
4.2.2.6. Dosis óptima y económica de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O y CA en el diseño Central Rotable en el suelo La Virgen.	138
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>147</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>151</b>
<b>6. APÉNDICE</b>	<b>175</b>

---

<b>TABLAS</b>		<b>Pag.</b>
Tabla 2.2.2	Efectos de la cultivación continúa de diferentes series de suelos y usos de fertilizantes sobre el rendimiento del maíz y niveles de materia orgánica.	15
Tabla 2.3.1	Límites máximos de residuos según las Normas de la Agencia de Protección Ambiental de USA. (EPA), y límites máximos según Ministerio de Desarrollo Rural de Colombia.	17
Tabla 2.4.4	Dosis de fertilizantes requeridas según las exigencias de rendimiento del cultivo maíz.	35
Tabla 3.3.1	Composición y fuentes de nutrientes aplicados.	49
Tabla 3.3.2.1	Tratamiento central del diseño de superficie de respuestas “Compuesto Central Rotable” con su nivel real y codificado.	51
Tabla 3.3.2.2	Tratamientos aplicados con niveles codificados y reales. Año 2003.	52
Tabla 3.3.2.3	Tratamientos aplicados con niveles codificados y reales. Año 2004.	54
Tabla 3.3.4.1	Datos diarios por mes y total mensual de precipitación (mm) en los ciclos 2002 y 2003. Suelo alcalino.	55
Tabla 3.3.4.2	Datos diarios por mes y total mensual de precipitación (mm) en los ciclos 2002 y 2003. Suelo ácido.	56
Tabla 3.5.1	Procedimientos analíticos para las variables medidas en los suelos.	58
Tabla 4.1.1	Características físicas de los abonos orgánicos.	62
Tabla 4.1.2	Características químicas de los abonos orgánicos.	64
Tabla 4.1.3.1	Contenidos de macroelementos de los abonos orgánicos.	66
Tabla 4.1.3.2	Contenido de microelementos en los abonos orgánicos.	67
Tabla 4.1.4	Carbono orgánico total (COT), carbono orgánico extraíble (COE) y parámetros de humificación de los abonos orgánicos.	68
Tabla 4.1.5	Características físicas y químicas de los suelos.	70
Tabla 4.1.6.1	Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el suelo alcalino. Ciclos 2002 - 2003.	72
Tabla 4.1.6.1a	Resultados del análisis de la varianza para pH, CE y	73

---

	MO por tratamiento y repetición en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	
Tabla 4.1.6.1b	Resultados del análisis de la varianza para P, K, Ca, Mg por tratamiento y repetición, en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	75
Tabla 4.1.6.1c	Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, por tratamiento y repetición, en el suelo alcalino. Ciclos 2002-2003.	78
Tabla 4.1.6.2	Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el suelo ácido. Años 2002 y 2003	79
Tabla 4.1.6.2a	Resultados del análisis de la varianza para pH, CE y MO, por tratamiento y repetición en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	80
Tabla 4.1.6.2b	Resultados del análisis de la varianza para P, K, Ca, Mg, por tratamiento y repetición, en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	82
Tabla 4.1.6.2c	Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, por tratamiento y repetición, en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	84
Tabla 4.1.6.3	Variabilidad (%) de cada parámetro por componente en el análisis estadístico por tratamiento, suelo y año de experimento.	86
Tabla 4.1.7.1	Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el tejido foliar. Suelo alcalino. Ciclo 2002 y 2003.	88
Tabla 4.1.7.1a	Resultados del análisis de la varianza para N, P, K, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	89
Tabla 4.1.7.1b	Resultados del análisis de la varianza para Ca, Mg en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición. Suelo alcalino. Ciclos 2002-2003.	91
Tabla 4.1.7.1c	Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	92
Tabla 4.1.7.2	Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el tejido foliar. Suelo ácido. Ciclo 2002 y 2003.	94
Tabla 4.1.7.2a	Resultados del análisis de la varianza para N, P, K, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición.	95

---

	Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	
Tabla 4.1.7.2b	Resultados del análisis de la varianza para Ca, Mg en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	97
Tabla 4.1.7.2c	Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y repetición. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	98
Tabla 4.1.8.1a	Parámetros estadísticos de normalidad para el rendimiento del maíz en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	100
Tabla 4.1.8.1b	Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo maíz en kg.ha <sup>-1</sup> por tratamiento y repetición. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.	100
Tabla 4.1.8.2a	Parámetros estadísticos de normalidad para el rendimiento del maíz en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	101
Tabla 4.1.8.2b	Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo maíz en Kg.ha <sup>-1</sup> por tratamiento y repetición. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.	102
Tabla 4.2.1.1a	Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) y nítrico (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) a lo largo de 10 semanas para el suelo El Rodeo sin cachaza (SCA) y sin cachaza (CCA).	105
Tabla 4.2.1.1b	Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) y nítrico (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) a lo largo de 10 semanas para el suelo La Virgen sin cachaza (SCA) y con cachaza (CCA).	106
Tabla 4.2.1.2	Evolución de la mineralización del nitrógeno (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /kg suelo seco (SS)) a lo largo de las 10 semanas de incubación.	107
Tabla 4.2.1.4	Valores de los parámetros No y k que definen las ecuaciones de cada modelo cinético y coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ).	109
Tabla 4.2.2.1a	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de nitrógeno. Año 2003.	111
Tabla 4.2.2.1b	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de fósforo. Año 2003.	111
Tabla 4.2.2.1c	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de potasio. Año 2003.	112
Tabla 4.2.2.1d	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de cachaza.	112



---

	Año 2003.	
Tabla 4.2.2.1e	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos de las variables químicas del suelo El Rodeo. Año 2003.	113
Tabla 4.2.2.1f	Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de nitrógeno. Año 2004.	113
Tabla 4.2.2.1g	Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de fósforo. Año 2004.	114
Tabla 4.2.2.1h	Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de cachaza. Año 2004.	114
Tabla 4.2.2.1i	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas del suelo El Rodeo. Año 2004.	115
Tabla 4.2.2.2a	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo El Rodeo. Año 2003.	115
Tabla 4.2.2.2b	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo El Rodeo. Año 2003.	116
Tabla 4.2.2.2c	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de potasio. Suelo El Rodeo. Año 2003.	116
Tabla 4.2.2.2d	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo El Rodeo. Año 2003.	117
Tabla 4.2.2.2e	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en suelo El Rodeo. Año 2003.	117
Tabla 4.2.2.2f	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo El Rodeo. Año 2004.	118
Tabla 4.2.2.2g	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo El Rodeo. Año 2004.	118
Tabla 4.2.2.2h	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo El Rodeo. Año 2004.	119
Tabla 4.2.2.2i	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento	119

	del cultivo en el suelo El Rodeo. Año 2004.	
Tabla 4.2.2.3a	Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y su significancia para el suelo El Rodeo. Año 2003.	120
Tabla 4.2.2.3b	Dosis óptimas y económicas del suelo El Rodeo. Año 2003.	124
Tabla 4.2.2.3c	Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo El Rodeo. Año 2004.	125
Tabla 4.2.2.3d	Dosis óptimas y económicas del suelo El Rodeo. Año 2004.	127
Tabla 4.2.2.4a	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de nitrógeno. Año 2003.	128
Tabla 4.2.2.4b	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de fósforo. Año 2003.	129
Tabla 4.2.2.4c	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de potasio. Año 2003.	130
Tabla 4.2.2.4d	Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de cachaza. Año 2003.	131
Tabla 4.2.2.4e	Significancia estadística del análisis de varianza de las variables químicas del suelo La Virgen. Año 2003.	131
Tabla 4.2.2.5a	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo La Virgen. Año 2003.	132
Tabla 4.2.2.5b	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo La Virgen. Año 2003.	133
Tabla 4.2.2.5c	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de potasio. Suelo La Virgen. Año 2003.	133
Tabla 4.2.2.5d	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo La Virgen. Año 2003.	134
Tabla 4.2.2.5e	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento	134

	del cultivo en el suelo La Virgen. Año 2003.	
Tabla 4.2.2.5f	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.	135
Tabla 4.2.2.5g	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.	136
Tabla 4.2.2.5i	Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.	137
Tabla 4.2.2.5j	Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en el suelo La Virgen. Año 2004.	137
Tabla 4.2.2.6a	Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo La Virgen. Año 2003.	138
Tabla 4.2.2.6b	Dosis óptimas y económicas del suelo La Virgen. Año 2003	141
Tabla 4.2.2.6c	Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo La Virgen. Año 2004.	142
Tabla 4.2.2.6d	Dosis óptimas y económicas del suelo La Virgen. Año 2004.	144
Tabla 4.2.2.6e	Rango de dosis óptimas y económicas ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) por tipo de suelo.	145
Tabla AP1.1	Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn), por tratamiento aplicado en el suelo alcalino por año.	174
Tabla AP1.2	Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn), por tratamiento aplicado en el suelo ácido por año.	175
Tabla AP1.3	Resultados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro	176

	(Fe) y manganeso (Mn) en el tejido foliar, por tratamiento aplicado en el suelo alcalino por año.	
Tabla AP1.4	Resultados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el tejido foliar, por tratamiento aplicado en el suelo ácido por año.	177
Tabla AP1.5	Resultados del rendimiento de maíz obtenido por tratamiento aplicado, y por suelo en los dos años: 2002-2003.	178
Tabla AP2.1	Resultados del contenido de nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico por semanas con y sin cachaza medidos en el suelo alcalino.	179
Tabla AP2.2	Resultados del contenido de nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico por semanas con y sin cachaza medidos en el suelo ácido.	180
Tabla AP3.1	Resultados de variables de suelos para el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2003.	181
Tabla AP3.2	Resultados de variables de suelos para el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2004.	182
Tabla AP3.3	Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.	182
Tabla AP3.4	Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2003.	183
Tabla AP3.5	Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2004.	184
Tabla AP3.6	Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en la planta y rendimiento. Suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.	184
Tabla AP4.1	Resultados de variables de suelos para el suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2003.	185
Tabla AP4.2	Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2003.	186
Tabla AP.4.5	Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2004.	187

---

Tabla AP4.6	Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en el suelo La Virgen. Diseño Central Rotable 2003.	188
Tabla AP4.7	Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en la planta y rendimiento. Suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.	188
FOTO 1.	Ensayos de campo. Suelo la Virgen. Año 2004.	189
FOTO 2.	Ensayos de Campo. Suelo el Rodeo. Año 2004	190
<b>FIGURAS</b>		<b>Pag.</b>
Figura 1	Porcentaje de aptitud de las tierras agrícolas en el ámbito mundial.	2
Figura 2	Región Centro Occidental de Venezuela.	3
Figura 4	Contenido de materia orgánica por tratamiento y bloque para el suelo alcalino. Ciclo 2002.	74
Figura 5	Contenido de K por tratamiento y bloque en el suelo alcalino. Ciclo 2002.	76
Figura 6	%MO por tratamiento y bloque en el suelo ácido. Ciclo 2003	81
Figura 7	Contenido de Mg por tratamiento y bloque en el suelo ácido. Ciclo 2002.	83
Figura 8	Contenido de Mn por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclo 2003.	85
Figura 9	Contenido de Fe por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclo 2003.	85
Figura 10	Contenido de P por tratamiento y bloque en el tejido foliar del maíz. Suelo alcalino. Ciclo 2003.	90
Figura 11	Contenido de Mn por tratamiento y bloque en el tejido foliar del maíz. Suelo alcalino. Ciclo 2003.	93
Figura 12	Evolución del N-NH <sub>4</sub> en el suelo El Rodeo incubado con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA).	105
Figura 13	Evolución del N-NO <sub>3</sub> en el suelo El Rodeo con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA).	105
Figura 14	Evolución N-NH <sub>4</sub> en el suelo La Virgen con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA)	106
Figura 15	Evolución N-NO <sub>3</sub> en el suelo La Virgen con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA).	106
Figura 16	Mineralización del nitrógeno (mg.kg <sup>-1</sup> SS) durante el	108

	tiempo de incubación (semana) para el suelo El Rodeo y suelo La Virgen.	
Figura 17	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2003.	121
Figura 18	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2003.	122
Figura 19	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs Niveles codificados y reales de potasio aplicado. Año 2003.	123
Figura 20	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2003.	123
Figura 21	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2004.	126
Figura 22	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2004.	126
Figura 23	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de cachaza aplicado. Año 2004.	127
Figura 24	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2003.	139
Figura 25	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2003.	140
Figura 26	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de potasio aplicado. Año 2003.	140
Figura 27	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2003.	141
Figura 28	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2004.	143
Figura 29	Rendimiento maíz ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año	143

	2004.	
Figura 30	Rendimiento maíz (kg.ha <sup>-1</sup> ) en el suelo La Virgen niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2004.	144

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación y desertificación de suelo en el mundo son cada vez más importantes, lo que ha llevado a la agrupación de equipos de investigadores afines con la idea de aunar esfuerzos en la lucha contra estos procesos que se suceden en el globo terráqueo.

Existe actualmente una creciente preocupación mundial por alcanzar una agricultura sostenible, lo cual se debe a que el recurso de tierra arable es finito, a problemas de degradación de suelos crecientes y generalizados, a los efectos del cambio climático y al crecimiento de la población de los países desarrollados y en desarrollo.

En la última convención del año 2005, de las Naciones Unidas por la lucha contra la desertificación se considero que el 70% de las hectáreas de tierras utilizadas con fines agrícolas en todo el mundo ya están degradadas. Como se observa en la Figura 1, menos de la cuarta parte de las tierras del planeta, 3.300 millones de hectáreas aproximadamente, tienen aptitud agrícola en grado variable.

De ese total solamente unos 450 millones de hectáreas (3%) son aptas para el cultivo en secano sin limitaciones, correspondiendo a las tierras del centro-oeste de los Estados Unidos, norte de Francia, Ucrania, centro-norte de China y la Región Pampeana Argentina. Del resto de las tierras agrícolas, 900 millones de hectáreas (6%) son moderadamente aptas (Casas, 2000).

En Europa entre el 8 y el 10% del total de la superficie, se encuentran afectados por los procesos de desertificación, con distintos grados de degradación (Rubio, 2005). El continente asiático posee la mayor superficie de tierras afectadas por desertificación, encontrándose entre un 75% dentro de los rangos de moderadas y gravemente degradadas, en África el 73% de las tierras secas agrícolas están entre moderadas y gravemente degradadas, y América Latina presenta una proporción del 75% (Comisión Latinoamericana de desertificación CLD, 1994).



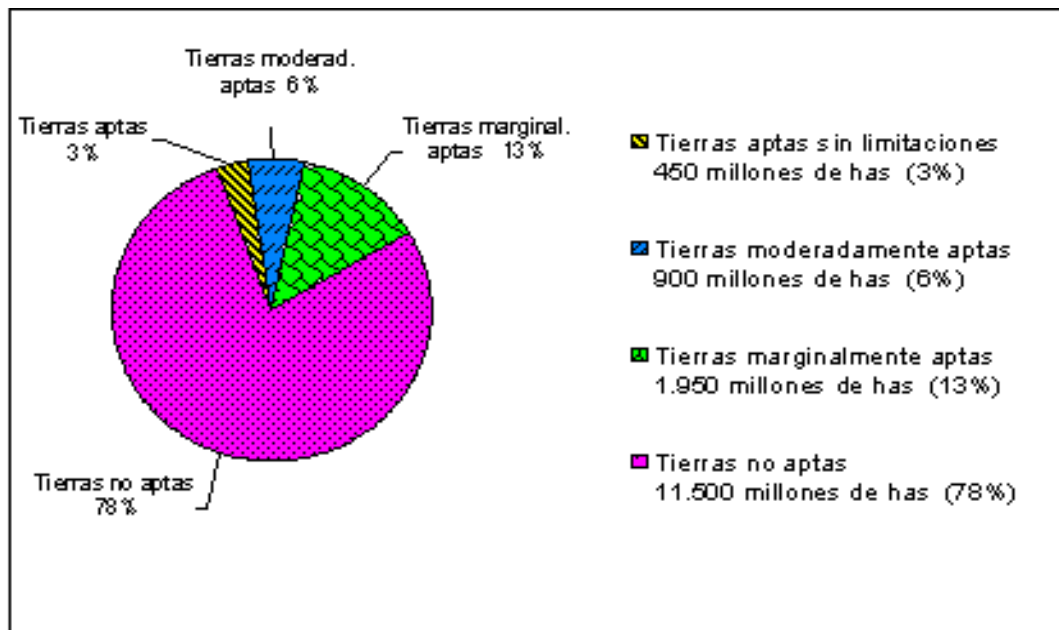


Figura 1. Porcentaje de aptitud de las tierras agrícolas en el ámbito mundial

En Venezuela, existen 34,5 millones de hectáreas aptas para la agricultura y la ganadería, de las cuales el 21% corresponden a plantaciones de café, horticultura, fruticultura y agricultura de subsistencia, el 79% a ganadería extensiva, semi-intensiva e intensiva.

Entre las principales limitaciones para el uso de las tierras agrícolas está el relieve excesivo, la baja fertilidad donde la excesiva acidez y la deficiencia de nutrientes provocan rendimientos muy bajos en los cultivos. En el año 1999, Venezuela presentaba un sector agrícola débil, ya que en el 94,3% del aprovechamiento agrícola de las tierras se realiza bajo condiciones de secano lo que conduce al uso intensivo de los suelos generando problemas de deterioro de los recursos naturales (Ovalles *et. al.*, 2005).

Por otra parte, en Venezuela, los suelos agrícolas poseen entre un 2 y 5 % de materia orgánica la cual decrece rápidamente con el manejo agronómico al que dichos suelos son sometidos. La erosión hídrica ha tenido un papel predominante en esta degradación de tierras agrícolas, aunado a las altas intensidades de lluvia tropicales, la presencia de suelos muy susceptibles a la erosión y a un sistema de producción basado en el uso intensivo de mecanización de las tierras, bajo el cual los suelos se encuentran sin una protección adecuada ante las adversidades del clima (Paéz, 1989).

Entre las áreas más afectadas por la degradación de suelo en Venezuela se encuentran las tierras cultivadas con maíz (*Zea mays* L.) ubicadas en la Región Centro Occidental específicamente en la Cuenca Media del Río Yaracuy, ubicada geográficamente entre los 10° 9' y 10° 25' de latitud norte y 68° 35' y 69° 01' (Figura 2).

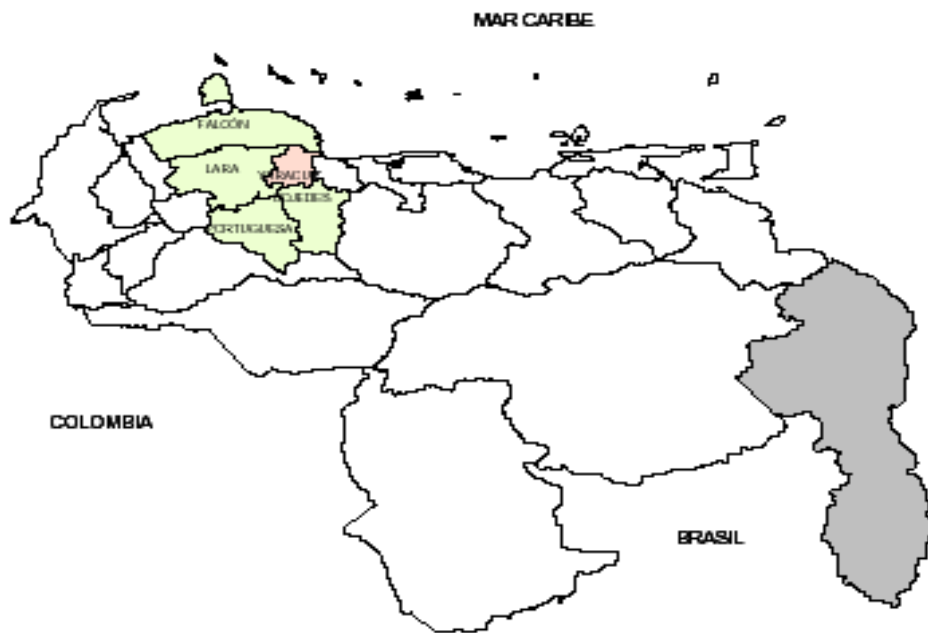


Figura 2. Región Centro Occidental de Venezuela.

El uso de los recursos naturales por el sector agrícola en los últimos 50 años trajo como consecuencia la degradación orgánica de los suelos de la Región, la cual disminuyó la productividad de los cultivos afectando principalmente a la cadena productiva del cultivo maíz, cuyos rendimientos promedios no logran alcanzar los 2.000 Kg/ha, causando problemas de endeudamiento a los pequeños productores específicamente en el Estado Yaracuy (Mora *et. al.*, 1998).

La productividad de los suelos de la Cuenca Media del Río Yaracuy, está siendo afectada por el uso intensivo de la mecanización convencional en el cultivo maíz, lo cual ha influido en las condiciones físicas, químicas y biológicas de este recurso estén degradadas y, existe actualmente la necesidad de utilizar grandes cantidades de insumos (fertilizantes, plaguicidas, maquinarias), para

tratar de incrementar la producción, pero su valor no logra cubrir los costos de la misma.

Entre los principales factores que afectan la producción se encuentra los bajos niveles de materia orgánica estos oscilaban entre un 1,5 a 4,0% en el año 1980 (Brito, 1980).

La materia orgánica del suelo tiene un papel fundamental en el desarrollo y funcionamiento del ecosistema terrestre, pues el contenido y dinámica de la misma determina la productividad potencial, tanto de los sistemas naturales como de los cultivados.

El porcentaje de suelos agrícolas con contenidos bajos de materia orgánica se incrementa a nivel mundial, como producto de los procesos de degradación imperantes, esto determina la necesidad de aumentar su contenido a través del desarrollo de prácticas de manejo que favorezcan su mantenimiento.

La fuente más utilizada para adicionar materia orgánica a los suelos son los abonos orgánicos provenientes del mismo campo (residuos de cosecha), estiércoles y ciertos desechos industriales entre otros.

La práctica agrícola del reciclaje de abonos orgánicos ha tenido vigencia desde que existen suelos agrícolas en el mundo, en donde el suelo participa en los ciclos de los principales elementos biogénicos: carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. La degradación de la materia orgánica es el fenómeno fundamental que asegura el reciclaje de los elementos constitutivos de la materia viva y el suelo cultivado es el principal protagonista en ese proceso (Sequi, 1999).

La incorporación de materiales orgánicos de origen animal o vegetal a los suelos, ha demostrado que mejora sus condiciones físicas y por otra, el incremento de la disponibilidad de nutrientes para la biomasa del suelo y para las plantas, como consecuencia de los procesos de descomposición y mineralización que en ellos ocurren.

Sin embargo con el crecimiento poblacional han surgido problemas como el tipo, cantidad y naturaleza de los residuos aplicar sobre todo en los casos en que los desechos producto de la actividad humana, urbana, agrícola, ganadera e industrial se producen en grandes cantidades y que una posible solución de eliminación de estos, sea su adición a los suelos agrícolas como aporte de elementos nutritivos, en los cuales se ha demostrado también mejoras en sus propiedades físicas, pero también pueden estar asociados a sustancias indeseables como es la presencia de elementos contaminantes capaces de disminuir la calidad del suelo.

En este sentido, los abonos orgánicos pueden ser aplicados al suelo en el mismo estado que se producen, mientras que otros, bien por su naturaleza deben ser procesados antes de ser aplicados al suelo, esto significa que deben ser sometidos a un proceso de compostaje, es decir, descomponer bioxidativamente sus constituyentes orgánicos de cualquier naturaleza bajo condiciones controladas para producir un producto estabilizado y sintetizado, denominado compost, que presenta características y propiedades similares al humus de la materia orgánica del suelo, de tal manera de evitar fitotoxicidad y destrucción de patógenos tanto en suelos como en las plantas, entre otros (Sequi, 1999).

Las bondades de la materia orgánica del suelo son numerosas, sin embargo la aplicación de residuos plantea una serie de interrogantes, como la cantidad de material a utilizar para elevar y mantener los niveles de materia orgánica en el tiempo, y sí los residuos pueden sustituir completamente al fertilizante inorgánico, cuando se requiere producir mayor cantidad de alimentos que satisfagan a la población mundial actual.

Diversos estudios han demostrado que para recuperar suelos degradados y a la vez obtener mayores rendimientos, los abonos orgánicos pueden ser aplicados combinados con fertilizantes inorgánicos (N,P,K); lo cual se constituye en una alternativa de manejo de estos suelos .

Cuando se piensa en fertilización orgánica se debe considerar un factor importante como las dosis adecuadas de estos productos orgánicos, y

el manejo en el momento de su aplicación. En Venezuela, existen diversas empresas que producen abonos orgánicos agroindustriales compostados para su comercialización, mayormente obtenidos a partir de estiércoles de ganado, y de subproductos agrícolas como la cachaza que se obtiene en los centrales azucareros a partir del cultivo de la caña de azúcar.

El presente trabajo se realizó para solventar el problema de la degradación orgánica que afecta a los productores de 50.000 ha de maíz ubicados en la Cuenca media del Río Yaracuy a través de la combinación de la fertilización orgánica y química para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

### **OBJETIVO GENERAL**

Mejorar los suelos degradados cultivados con maíz, en el estado Yaracuy, Venezuela; incrementando su rendimiento con la aplicación combinada de fertilización orgánica y química.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Caracterizar tres abonos orgánicos agroindustriales comerciales (dos estiércoles de gallinaza y cachaza), indicando el contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl y Na), micronutrientes (Cu, Zn, Fe y Mn), y el grado de humificación mediante el fraccionamiento de su materia orgánica.
2. Seleccionar de los tres abonos orgánicos caracterizados, el más adecuado para mejorar la fertilidad de los suelos (pH, CE, materia orgánica, macro y micronutrientes); y el cultivo del maíz (estado nutricional y rendimiento).
3. Evaluar el comportamiento y evolución del nitrógeno mineralizado de la mezcla de dos suelos con el abono orgánico seleccionado.
4. Determinar las dosis, óptima y económica, de nitrógeno, fósforo, potasio y abono orgánico seleccionado, en dos suelos degradados del estado Yaracuy

y en el cultivo de maíz, mediante experimentos de campo y evaluación de las características de fertilidad de los suelos, condición nutricional y rendimiento del cultivo maíz.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

En el mundo existen evidencias claras y suficientes que mas de las dos terceras partes del área ocupada por cultivos anuales y permanentes han perdido mas del 25% de su capacidad productiva (Pla, 1994). Uno de las principales propiedades que afecta esta baja capacidad productiva de los suelos son los niveles de la materia orgánica.

Los procesos de intensificación del uso agrícola de la tierra permitieron pasar en muy poco tiempo de una agricultura elemental y rudimentaria a otra extremadamente sofisticada con iguales procedimientos que dominan en la industria, a la cual se ha denominado “agricultura industrial” (Pretty, 2001; Shiva, 2000), es decir, un tipo de producción agropecuaria de alto rendimiento, basada en el uso intensivo de capital (tractores y maquinarias de alta productividad) e insumos externos (semillas de alto potencial de rinde, fertilizantes y pesticidas sintéticos).

La agricultura industrial ha tenido un fuerte impacto en la biodiversidad. Algunos autores advierten que en muchas regiones del mundo se está registrando una fuerte caída de la diversidad biológica (Shiva, 2000; Teubal, 2001; Grimble y Laidlaw, 2002). En las últimas décadas se ha observado en todo el mundo una fuerte erosión genética en los sistemas de producción agropecuarios.

El reciente interés en mantener la calidad del suelo ha sido estimulado por un conocimiento renovado de la importancia de la condición del suelo para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola y la calidad del medio ambiente. Desde hace unos años ha comenzado a tomar fuerza un nuevo tipo de agricultura basada en principios más naturales y seguros para el ambiente y la sociedad; a este enfoque alternativo se lo conoce como “agricultura orgánica” (IFOAM, 2000; Rigby y Cáceres, 2001). La agricultura orgánica promueve la protección de los suelos y los cultivos a través de prácticas tales como el reciclado de nutrientes y de materia orgánica (usando compost y coberturas de suelo), las rotaciones de cultivo y el no uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos.

La Comisión del Codex Alimentarius (1999) propuso definir a la agricultura orgánica como un sistema global de gestión y producción que fomenta y realza la salud de los agroecosistemas, inclusive la diversidad biológica, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en la utilización de prácticas de gestión, con preferencia a la utilización de insumos no agrícolas, lo cual se consigue aplicando, siempre que es posible, métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos, para desempeñar cualquier función específica dentro del sistema. Aunque existen algunas diferencias conceptuales con otros enfoques alternativos, conceptos relacionados con el de agricultura orgánica son los de “agro ecología” (Altieri y Nicholls, 2000), “agricultura biodinámica” (Koepf, 1976; Childs, 1995), o “agricultura de bajos insumos externos” (Reijntjes *et al.*, 1992).

De acuerdo a Reeves, (1997), mantener y mejorar la calidad del suelo en sistemas de cultivo continuo es crítico para sostener la productividad agrícola y la calidad del medio ambiente para las futuras generaciones. Hablamos entonces de la incorporación de materia orgánica a los suelos, para hacerlos mas productivos, siendo la única vía de realizar esto con la utilización de los residuos orgánicos. Sin embargo en contraste con la agricultura industrial o revolución verde, no siempre se logra una producción de alimentos capaz de satisfacer la demanda cada vez mayor por parte de los habitantes del planeta, por otro lado la aplicación de este tipo de insumos al suelo debe cumplir con una serie de requisitos previo, como son la compostaje ya que se ha demostrado que el uso de materiales con relaciones C/N muy altas pueden provocar deficiencias de N en los cultivos, lo cual provoca otras deficiencias y susceptibilidad a plagas y enfermedades, con la consecuente pérdidas de rendimiento y calidad, no deseables en ningún sistema de agricultura.

Gómez *et. al.*, (2001), definen a la agricultura orgánica como un sistema de producción que utiliza insumos naturales y prácticas especiales: aplicación de compost y abonos verdes, asociación y rotación de cultivos, uso de repelentes y fungicidas a base de plantas y minerales entre otras. A cambio prohíbe el uso de pesticidas y fertilizantes de síntesis química.



Por su parte, Barreto (2004), señala que el uso de los residuos orgánicos procedentes de animales, producen otros problemas de índole sanitaria al ser utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos, entre ellos las heces fecales de aves y porcinos, los que pueden ser vehículo de patógenos para humanos y animales domésticos, tales como: salmonella, coliformes, clamidia y otros. Asimismo los estiércoles pueden incrementar las poblaciones de nemátodos fitopatógenos en los cultivos comerciales.

Por otro lado la agricultura orgánica aprueba el uso de fuentes minerales de nutrientes que no han sido sujetas a síntesis o intervención de química. Entre ellas las provenientes de fuentes mineras como la roca fosfórica y los quelatos de distintos elementos. La práctica agronómica ha demostrado que las propias labores de una agricultura estrictamente orgánica, encierran efectos que atentan contra el manejo agroecológico. Cuando se utilizan fuentes de materia orgánica para el abonado directo, pueden existir toxicidades por elementos y desequilibrios ínter nutrientes, las fuentes de materia orgánica pueden ser vectores de agentes patógenos indeseables y de semillas o propágulos de especies de plantas no deseables en los campos de cultivo.

El uso de fertilizantes químicos se considera como un complemento del mantenimiento de la fertilidad del suelo y del mantenimiento de los equilibrios necesarios entre los nutrientes que presentan relaciones antagónicas. En este caso, el uso de los fertilizantes químicos sólo se considera como complemento en función de mantener equilibrios e intensificar interrelaciones suelo - planta - microorganismos.

En términos generales la fertilización como labor agrícola invariante del manejo de suelos y nutrición vegetal, tiene que ser vista en el sentido del aporte al agroecosistema traducido en la atención a las necesidades cíclicas y estacionales de las plantas, a la disponibilidad y equilibrio de nutrientes y su dinámica bioquímica, se plantea así una fertilización orgánica y química, mediante la cual se logre ambos efectos, recuperar y mantener la calidad de los suelos agrícolas al mismo tiempo de lograr una mayor producción de alimentos.

## **2.1. DEGRADACION DE LOS SUELOS**

Degradación del suelo significa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Según Pla (1988) cualquier proceso que conduzca a una reducción gradual o acelerada, temporal o permanente, de la capacidad productiva del recurso suelo, o al incremento de los costos de producción se denomina degradación.

Según Bertoni y Lombardi Neto (1985) las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por cuatro razones principales:

1. Degradación de la estructura del suelo;
2. Disminución de la materia orgánica;
3. Pérdida del suelo; y
4. Pérdida de nutrientes.

Estas razones son efectos producidos básicamente por el uso y manejo inadecuado del suelo y por la acción de la erosión acelerada.

Según Mielniczuk y Schneider (1984), tres son, las etapas básicas de degradación del suelo:

**En la etapa 1** las características originales (materia orgánica y estructura) son destruidas gradualmente. El usuario de la tierra no percibe este fenómeno, porque la erosión ocurre en niveles tolerantes y el rendimiento de los cultivos se mantiene estable por la aplicación normal de fertilizantes y de enmiendas.

**En la etapa 2** la materia orgánica alcanza valores bajos y el suelo pierde estructura. Por el uso intensivo de implementos agrícolas se produce la aparición de una capa compactada que impide la infiltración del agua y la penetración de las raíces. La erosión se vuelve acelerada y el rendimiento de los cultivos se reduce severamente, la aplicación de enmiendas y fertilizantes se vuelve menos eficaz, sea por las condiciones físicas adversas al desarrollo

de las plantas, o por las grandes pérdidas de suelo y de nutrientes que han ocurrido por la erosión, disminuyendo su efecto actual y residual.

**En la etapa 3** el proceso de erosión es tan violento que la tierra comienza a ser abandonada por el agricultor, debido a la baja productividad y dificultad de operación de máquinas a causa de la existencia de surcos y cárcavas en el campo. El tiempo que lleva a un suelo cultivado a llegar a la etapa 3 depende de la intensidad de aplicación de las prácticas inadecuadas de manejo, de su pendiente y textura, que se relacionan mucho con su resistencia a la erosión hídrica.

En Venezuela, la mayoría de las tierras bajo cultivo en forma más o menos continua, están sometidas a prácticas de manejo que provocan una progresiva o acelerada degradación, la cual se refleja en marcados descensos en su capacidad productiva al cabo de unos años de uso agrícola. Estos procesos de degradación en el país se ven favorecidos por las condiciones de clima y suelos, presentan sin embargo ciertas peculiaridades por los sistemas y prácticas agrícolas más intensivas y mayormente mecanizadas que se utilizan en la mayoría de los casos.

## **2.2. MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS (MOS)**

### **2.2.1. Definición e Importancia.**

La materia orgánica de los suelos (MOS), es una acumulación de materia de plantas muertas, residuos de animales y plantas parcialmente descompuestas y re-sintetizadas. Las hojas frescas y raíces muertas se descomponen rápidamente y las semillas, pastos, hojas de árboles, bacterias, hongos y actinomiceto son parte de la mezcla compleja llamada MOS y comprenden un porcentaje muy pequeño por unidad de masa del total de ella. La porción principal de la parte del suelo la representan las sustancias húmicas, las cuales constituyen del 85 al 90% de la reserva total del humus de los suelos minerales (Kononova, 1982).

Según Robert, (2002), la materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo, tanto en el área agrícola como ambiental, con funciones tales como

secuestro del carbono y calidad del aire. El humus de la materia orgánica es el responsable de aumentar la capacidad de intercambio catiónico debido a la presencia de los grupos carboxílicos e hidróxilos en su compleja estructura; de igual forma el material fresco no descompuesto contribuye a las propiedades físicas del suelo como la formación de agregados, ayudando a su estructura.

Entre las propiedades generales del humus asociadas con los efectos en el suelo se encuentran su color el cual facilita el calentamiento y posteriores procesos en el suelo, la retención de agua que ayuda a prevenir el secado y contracción mejorando la humedad en suelos arenosos, la combinación con las arcillas minerales que permite el intercambio gaseoso, estabilizar la estructura y aumentar la permeabilidad de los suelos, su capacidad de formar quelatos lo que hace posible mantener la disponibilidad de los elementos trazas para las plantas superiores, su solubilidad en agua impidiendo su pérdida por lixiviación, su relación amortiguadora con el pH que ayuda a mantener uniformes las reacciones del suelo, su estructura molecular permite aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo entre un 20 a un 70% , su descomposición produce  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{=}$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , los cuales son fuentes de elementos nutrientes para las plantas en crecimiento. Su capacidad de combinarse con moléculas orgánicas afecta la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de pesticidas modificando la tasa de aplicación de pesticidas para un control efectivo de los mismos.

La contribución de la materia orgánica a la productividad de los suelos ha sido reconocida en la agricultura tradicional ya que ella tiene un papel fundamental en la fertilidad de los suelos, sus beneficios potenciales puede resumirse en: Es una fuente de nutrimentos inorgánicos a las plantas, 2. Sirve como sustrato de microorganismos, 3. Es un material de intercambio iónico, 4. Es un factor de agregación del suelo y desarrollo radical y en consecuencia es un factor conservador del suelo y aguas. La materia orgánica es un componente importante de la calidad del suelo que determina muchas características como la mineralización de nutrientes, la estabilidad de los agregados, la traficabilidad, la captación favorable de agua y las propiedades de retención (Doran *et al.*, 1998).

### **2.2.2. Pérdidas de MOS en suelos tropicales**

Bajo condiciones similares de suelos y clima, un ecosistema natural generalmente mantiene altos niveles de MOS. Sin embargo las pérdidas de materia orgánica son debidas en parte a la intensidad y duración de la meteorización de áreas dominadas por suelos ácidos, infértiles, baja capacidad de retención de agua y nutrimentos, suelos de texturas gruesas, clasificados generalmente como alfisoles, oxisoles y ultisoles (Juo, 1990). Según Sánchez, *et. al.*, (1982), esos dos últimos ordenes ocupan el 43% de los suelos del trópico.

También en condiciones tropicales, las tierras marginales o de vegetación boscosa son a veces las mas usadas por los pequeños y mas pobres agricultores, quienes se ven forzados a desplazarse hacia ellas, promoviendo con ello mayor deforestación con riesgos crecientes de degradación, con lo cual cerca del 1% del recurso tierra se pierde cada año.

Otra de las causas por las cuales se pierde la MOS, es la deforestación de zonas boscosas y al manejo subsiguiente que se le da al suelo, aunado a la sobreexplotación de ecosistemas más frágiles en zonas tropicales húmedas, semiáridas secas y de altas pendientes.

Los sistemas agrícolas convencionales históricamente han actuado consumiendo el stock de materia orgánica de los suelos. Los sistemas mixtos de utilización de la tierra que se extendieron durante las décadas del 50 y del 60 lograron recuperar parte de la materia orgánica perdida, hasta que el ciclo de agriculturización iniciado a principios de los 70, provocó un nuevo descenso de los contenidos.

Cuando se consideran los factores de pérdidas de la MOS en suelos tropicales, se tienen el uso intensivo monocultivos, la utilización de componentes agrícolas inadecuados (big-rome, rastra) y la continua aplicación de fertilizantes inorgánicos para obtener altos rendimientos. Ejemplo de ello puede apreciarse en la presente Tabla 2.2.2.1, donde se midieron los contenidos de MOS y el rendimiento del maíz con la aplicación de fertilizantes

inorgánicos en tres series de suelos y en cuatro períodos de cosecha en el sureste de Nigeria.

Tabla 2.2.2. Efectos de la cultivación continua de diferentes series de suelos y usos de fertilizantes sobre el rendimiento del maíz y niveles de materia orgánica.

Cosecha	Serie					
	Egbeda		Iwo		Gambari	
	MO (%)	Rendimiento (Kg/ha)	MO (%)	Rendimiento (Kg/ha)	MO (%)	Rendimiento (Kg/ha)
Primera	2,8	3.100	3,0	3.800	2,1	2.500
Segunda	1,8	2.000	2,4	2.600	0,9	1.000
Tercera	0,8	1.000	1,8	1.800	0,6	800
Cuarta	0,6	700	1,0	1.000	0,3	200

Fertilizante aplicado: 100-20-50 N, P, K en Kg/ha.

Fuente: Akinola, (1990).

Estudios realizados por el Instituto de Suelos del INTA (Michelena *et al.*,1989) sobre 5 millones de hectáreas de la región maicera tradicional, mostraron que los niveles de materia orgánica disminuyeron progresivamente con el uso agrícola, pasando de un 3,2 por ciento promedio en suelos con rotación agrícola-ganadera, al 2,7 por ciento en suelos sometidos a agricultura continua por períodos de más de 20 años.

Dominy, *et al.*, (2002), concluyeron que la producción de caña de azúcar podía causar una gran disminución del contenido de la materia orgánica en los suelos, y que las prácticas tales como cosecha de caña verde, cero labranza y uso de cultivos verdes deberían aminorar el problema, en un estudio donde evaluaron las pérdidas de materia orgánica del suelo relacionada con propiedades de suelos bajo producción de caña de azúcar en dos suelos contrastantes.

En relación con el punto anterior, se puede afirmar que la fertilidad de un suelo está estrictamente ligada a su contenido de materia orgánica. Este aspecto es vital para comprender que cualquier sistema de uso y manejo, que incremente los niveles de materia orgánica mejorará la fertilidad del suelo. Cuando aumenta la materia orgánica humificada se consigue: a) incrementar la capacidad de intercambio catiónico, y b) incrementar la actividad biológica y enzimática. A mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor será la

posibilidad de absorber cationes y aniones, los cuales en equilibrio con la solución del suelo podrán estar disponibles para la nutrición de las plantas.

Una forma tradicional de elevar la materia orgánica de los suelos en áreas cultivadas es adicionar materiales no descompuestos en forma de estiércol de animales, compost o materiales de plantas incorporadas como abonos verdes. También numerosos estudios muestran que la adición de fertilizantes con insumos orgánicos a suelos con estas características, pueden mejorar las propiedades físicas y mantener el contenido de la MOS, por lo que se constituye en una alternativa de manejo para los mismos.

Hernández, *et. al.*, (2007), realizaron a cabo un experimento de invernadero con aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio de Texcoco, México, con el fin de mejorar las propiedades de suelos degradados por erosión hídrica y eólica, evaluaron variables de nitrógeno orgánico, materia orgánica, fósforo, potasio y diversidad microbiana. Sus resultados mostraron incremento de la materia orgánica con los tratamientos de estiércol de 80 y 100 toneladas por hectárea de estiércol.

### **2.3. RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU USO EN SUELOS AGRÍCOLAS**

La práctica de incorporar residuos orgánicos al suelo es bastante antigua, la cual fue mermando con la aparición de los fertilizantes sintéticos. En los últimos tiempos ha resurgido el uso de los residuos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal, como una herramienta alterna que le da posibles soluciones a los problemas de degradación violenta de los suelos asociada con bajos niveles de materia orgánica, y con los consecuentes problemas que de ello se derivan. En este sentido, resulta conveniente analizar los efectos de la presencia de la materia orgánica de los suelos y cuáles son los resultados logrados al incorporar volúmenes importantes de residuos orgánicos a los mismos.

El incremento demográfico que ha incrementado la demanda de la producción agrícola y por otra parte, ha aumentado la producción y acumulación de materiales de desechos en las zonas urbanas y rurales, ha determinado un manejo de desechos que sea económicamente rentable, que

permita reintegrarlos a su lugar de origen sin generar desequilibrios ambientales, razón por la cual surge la alternativa del reciclaje en el que los productos desechados son reprocesados y en el caso de los desechos orgánicos de origen animal o vegetal son compostados, que permita la incorporación de estos al medio ambiente, especialmente los suelos agrícolas.

**2.3.1. Calidad de los residuos orgánicos**

El uso de residuos orgánicos como enmiendas orgánicas, aplicadas a los suelos agrícolas, ha sido muy poco legislado a nivel mundial, básicamente los lodos, compost y purines son las enmiendas a las cuales se les ha formulado normativas que regule su producción y uso, en este sentido países como España, Italia, Alemania y Estados Unidos son los países que mayor regulación han desarrollado, en Venezuela existe poca o ninguna regulación a este respecto. En la siguiente Tabla 2.3.1.1, se tienen como ejemplo las disposiciones existentes en Estados Unidos y Colombia, sobre los límites máximos de metales contaminantes en el compost a partir de residuos sólidos urbanos de uso agrícola.

Tabla 2.3.1. Límites máximos de residuos según las Normas de la Agencia de Protección Ambiental de USA. (EPA), y límites máximos según Ministerio de Desarrollo Rural de Colombia.

Metal	Tierras agrícolas forestales, sitios públicos, recuperación de suelos. <sup>a</sup>		Límites máximos permitidos en compost (mg/kg) <sup>b</sup>
	Concentración máxima (mg/kg)	Aplicación máxima (mg/kg-peso seco)	
Arsénico	75	41	54
Cadmio	85	39	18
Cromo	3000	3000	1200
Cobre	4300	1500	1200
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	300
Molibdeno	75	18	20
Níquel	420	420	180
Selenio	100	100	14
Zinc	7000	2800	1800

a. Norma 503 EPA. b. Decreto 822/98.  
Fuente. Barreto (2004)



El conocimiento de la composición química de los materiales orgánicos permite identificar los de mayor o menor contenido nutricional lo cual facilita su selección; además de comprender el tipo de reacción que el material produce en el suelo y la disponibilidad de los nutrientes a las plantas.

La evaluación de los residuos orgánicos como enmendantes orgánicos se orienta a la valoración de una serie de parámetros medidos en su proceso de maduración o compostaje y en la respuesta de su aplicación en relación al cultivo.

En Venezuela los abonos orgánicos más utilizados son los estiércoles que son compuestos de dietas indigeridas y reacciones metabólicas, los que contienen floras microbianas, sales de calcio y magnesio de ácidos grasos, queratina y una importante fracción nitrogenada que incluye amonio; su calidad puede variar en función del animal que lo ha producido y cantidad de la cama utilizada en estado de descomposición. Otros como la cachaza de caña de azúcar de origen vegetal que son compostados con polienzimas y se produce en grandes cantidades, como residuo del proceso de fabricación de la azúcar en los centrales azucareros.

### **2.3.2. Compostaje. Definición, proceso e importancia**

El compostaje es un método biológico que transforma desechos orgánicos de distintos materiales con la participación de microorganismos, en un producto relativamente estable y rico en sustancias similares al humus del suelo, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años como alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos (Claassen y Carey, 2004). Se trata de un proceso bio-oxidativo bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y oxígeno (García, 1990).

El interés por conocer la calidad de una enmienda orgánica previo a su incorporación al suelo, plantea la utilización de técnicas e índices, para evaluar la calidad y asegurar evitar efectos indeseables tales como, inmovilización de nitrógeno, que ocurre usualmente cuando no hay una transformación completa de los materiales celulósicos, presencia de niveles tóxicos de productos de

metabolismo anaeróbico o compuestos alelopáticos y altos contenido de sales o metales pesados.

Diversos autores han establecido algunos niveles que permiten conocer el status de maduración de los residuos orgánicos ya compostados. Entre ellos la relación C/N, su contenido de humedad, el grado de humificación y otros. Es importante el que los residuos que se utilicen como enmendantes en suelos agrícolas sean sometidos al proceso de compostaje dado los problemas que se derivan al aplicarlos en forma cruda o sin descomponer.

En la práctica no existe un análisis específico que permita evaluar la calidad y/o madurez de una enmienda orgánica, por el contrario, se requiere de la combinación de varios de ellos, para lograr una evaluación completa de los residuos orgánicos como enmiendas.

Levi-Minzi *et. al.*, (1986), establecen que parámetros como la humedad, pH, CIC, conductividad eléctrica, fitotoxicidad, parámetros de humificación, relación C/N, no se pueden obviar a la hora de evaluar la calidad de enmendantes orgánicos, sin embargo Bengtsson *et. al.*, (2003), en un experimento llevado a cabo en laboratorio donde estudiaron la tasa de mineralización e inmovilización del nitrógeno como una función de la relación C/N, demostraron que la tasa de mineralización entre suelos estuvo más relacionada con la tasa de respiración y el contenido ATP que con la relación C/N. Los picos de respiración y el contenido de ATP estuvieron seguidos por altas tasas de mineralización e inmovilización con uno a dos días de retraso.

Acosta, *et. al.*, (2004), evaluaron la calidad de residuos orgánicos de lodos residuales producto de tratamientos de aguas servidas, estiércol de cabra y residuo de procesamiento industrial de sábila (*Aloe vera*), mediante la estimación de la materia orgánica, para lo cual determinaron el índice, grado y tasa de humificación en el lodo, concluyeron que la prueba de fitotoxicidad no guardó relación con la estabilidad de la materia orgánica, indicada por el índice de humificación.

Ciavatta *et. al.*, (1990) proponen la caracterización de compost con otros parámetros de humificación como el índice, grado y razón de humificación, Sequi *et al.*, (1986), indica que el valor de índice de humificación menor o igual a 1 puede ser considerado como adecuado para un compost maduro y para estiércol ya maduro, igual a 0,32.

Senesi *et. al.*, (1996), estableció algunos parámetros para evaluar la maduración de un compost, entre ellos, una relación C/N menor o igual a 20, capacidad de intercambio catiónico (CIC) aproximada de 60 meq/100g. De acuerdo a Marthur, (1991), una relación C/N se considera ideal cercana a 10 en el humus.

Por otro lado, Ayuso *et. al.*, (1996) establecieron un intervalo de pH entre 7 y 8, para considerar la estabilidad y maduración del compost; y de acuerdo a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2001), el valor de la conductividad eléctrica debe ser menor a 5 dS/m como índice de calidad de enmiendas orgánicas.

Dumonet, *et. al.*, 2001, señala que la calidad del producto final, compost, va a depender de la calidad de los materiales del compostaje, los cuales deben estar libres de compuestos xenobióticos y ser bajos en el contenido de metales trazas solubles porque afectan el proceso del compostaje.

Un aspecto importante a considerar es la relación C/N, los estiércoles tienen una relación C/N baja cuando se compara con materiales vegetales, o sea que hay mucho nitrógeno en relación al carbono, lo cual permite una rápida descomposición del residuo, lo que favorece la suplencia de nitrógeno al suelo.

Por su parte Dayegamiye, (2006), quien llevó a cabo experimentos con aplicaciones de grandes cantidades de papel mezclado con lodo, obtuvo que las relaciones C/N con valores entre 9 y 24 beneficiaban el crecimiento de maíz posiblemente debido a la disponibilidad mas alta del nutriente.

El contenido de metales pesados, considerados de una densidad mayor a 5 g/mL, son esenciales a las plantas, como el Cu, Se, Ni y Zn, pero otros no,

y pueden ser tóxicos a partir de una determinada concentración, siendo los más comunes el Cd, Pb, Cr, Ni, Hg, V, As y Co (Acosta, 2002).

En Venezuela, en una valoración de la calidad de residuos orgánicos (pulpa de café, pergamino, mata ratón (Gliriscida sepium), excreta de vacuno) mezclados con roca fosfórica (Leal y Madrid, 1998), se demostró que no había una tendencia definida en el contenido de la materia orgánica durante el curso del compostaje, mientras que la relación nitrógeno amoniacal/nítrico (0,15 -1,2), indicaba diferentes grados de maduración del compost. De igual forma la relación C/N (7,0 - 9,1) era característico de los compost poco estabilizados preparados con excretas de animales ricas en nitrógeno.

En este contexto se deduce que en la preparación de compost de uso agrícola, es importante evaluar en cada una de las fases de preparación del mismo, así como en el producto ya terminado, parámetros como la relación C/N, porcentaje de humedad, conductividad eléctrica entre otros, como parámetros indicativos de que se ha alcanzado la compostaje del material orgánico, y que éste puede ser incorporado a los suelos sin detrimento de las condiciones del mismo, bien sea por competencia de los microorganismos por la materia orgánica del material orgánico o por exceso de sales que puedan alterar la condición de fertilidad del suelo.

### **2.3.3. Mineralización del nitrógeno en suelos abonados con residuos orgánicos.**

Los estudios de mineralización del nitrógeno se realizan en su mayoría por la necesidad de realizar un uso más eficiente del nitrógeno como fertilizantes que asegure los rendimientos óptimos del cultivo; y cuando se incorporan abonos orgánicos, sobre todo los provenientes de desechos industriales y urbanos, para evitar la contaminación potencial que ellos generen. También con el propósito de disponer de métodos rápidos y fáciles en el laboratorio que puedan evaluar la disponibilidad del elemento para las plantas

La mineralización del nitrógeno es un proceso microbiano relativamente lento que es afectado por factores tales como la composición del enmendante,

tipo de suelo, temperatura, pH, aireación y humedad. (Van Kessel y Reeves, 2002).

De acuerdo a Urbano Terron (1999), la mineralización del nitrógeno en los suelos se lleva a cabo en diferentes etapas:

1. **Aminización** donde ocurre la ruptura de las grandes moléculas proteicas de la materia orgánica, produciendo péptidos, aminoácidos, aminas, de acuerdo a la reacción:  $N \text{ proteico} \rightarrow R-NH_2 + CO_2 + \text{energía}$ .
2. La **amonización** produce  $NH_4^+$  a partir de los productos formados en la reacción anterior:  $R-NH_2 + H_2O \rightarrow NH_3 + R-OH + 176 \text{ Kcal}$ .  
 $NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$

la liberación de amoníaco ( $NH_3$ ) puede producirse por hidrólisis debida a factores del suelo como son los cambios de humedad, acción de ácidos y bases del suelo, acción enzimática de su flora y fauna, o por ataque microbiano, llevado a cabo por la mayor parte de los microorganismos del suelo (bacterias de los géneros *Achromobacter*, *Bcillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Serratia*, *Pseudomonas*), así como numerosos hongos y actinomicetos, capaces de liberar amoníaco a partir de residuos orgánicos. El  $NH_4^+$  producido puede ser utilizado directamente por los vegetales y microorganismos del suelo, oxidado en la nitrificación, fijado por las arcillas como catión de cambio y por la materia orgánica en formas muy estables.

3. La **nitrificación** etapa en la que se produce nitrógeno nítrico a partir del nitrógeno amoniacal resultante de la amonización, el proceso es de naturaleza exclusiva de los microorganismos presentes en el suelo y se realiza en dos fases: nitrosación y nitratación.

Bernal *et. al.*, (1998), evaluaron la influencia de aguas residuales sobre la estabilidad del compost y la mineralización del nitrógeno en el suelo, determinaron que la adición del compost inmaduro causa al inicio una deficiencia de nitrógeno en las plantas debido a la inmovilización y competencia entre las plantas y los microorganismos por el nitrógeno inorgánico liberado,

reseñan que el compost maduro puede ser adicionado a los suelos cuando el cultivo está creciendo.

Hassen *et. al.*, (1998), evaluaron la disponibilidad del nitrógeno mineral en suelos enmendados con aguas residuales, abonos de granja y compost de desechos de sólidos municipales y el impacto de la adición de Cu, Zn y Cd sobre la mineralización del nitrógeno. El efecto global de los metales sobre la mineralización fue muy variable, un tiempo de ocho semanas fue necesario para que los microorganismos liberaran o comenzarán a mineralizar el nitrógeno.

Rogers *et. al.*, (2001), determinaron que el efecto de las características de los desechos y el tipo de suelo afectan la tasa de mineralización del nitrógeno cuando son utilizados como fuente de nitrógeno. Concluyen que una opción para aplicar desechos orgánicos es usar dosis por debajo de las recomendaciones agronómicas, tomando como base la tasa de mineralización del nitrógeno y la suplencia adicional de nitrógeno inorgánico necesario al suelo.

En el estudio de Flavel y Murphy (2006), donde se cuantificó las tasas de mineralización del nitrógeno y carbono de enmendantes orgánicos que diferían en sus relaciones C/N para entender su influencia sobre el ciclo del nitrógeno, determinaron que las tasas de mineralización del nitrógeno y del carbono, fueron generalmente más alta en los suelos enmendados que en el suelo control (sin enmendante) y que todo los abonos liberaron suficiente nitrógeno para garantizar una reducción en la aplicación de las dosis de nitrógeno inorgánico.

En Venezuela, en la localidad de Espino, estado Guárico, Espinoza (2004), llevó un ensayo desde 1999 y 2002, para evaluar la calidad de la materia orgánica, donde utilizó incorporación de residuos frescos de gramínea, leguminosa y vegetación nativa en el cultivo de sorgo. Entre sus conclusiones destaca el aumento de la mineralización neta del nitrógeno en un 40% cuando se les aplicó a los suelos los residuos de vegetación nativa.

Otro aspecto importante en la determinación de la mineralización del nitrógeno está referido a las metodologías, para lo que existen métodos de laboratorio y de campo. Existen gran cantidad de métodos para cuantificar la mineralización del nitrógeno, pero todos tienen notables limitaciones debido a la naturaleza dinámica del ciclo del nutriente y a que el proceso de mineralización se ve afectado por muchos factores ambientales como la temperatura, humedad, aireación, el tipo de nitrógeno orgánico y el pH.

Los métodos de campos se caracterizan porque la incubación se lleva a cabo *in situ* empleando bolsas de polietileno enterradas, cilindros de suelo inalterados en los que se introducen resinas de intercambio iónico, o montajes similares, mientras que los del laboratorio se incuban muestras homogeneizadas bajo condiciones de temperatura y humedad controladas. El primer método tiene la ventaja de parecerse más a las condiciones en que se desarrollan las plantas pero está sujeto a mayor variabilidad experimental, por su parte en el laboratorio no refleja el contenido de nitrógeno liberado real durante el ciclo del cultivo y por tanto solo mide una parte del nitrógeno mineralizable del suelo. Autores como Stanford y Smith (1972), desarrollaron métodos de medida del poder del suelo para suministrar nitrógeno a largo plazo, donde se incuban muestras superiores a 30 semanas a 35 °C, en condiciones de humedad del suelo.

Cabe indicar que, a pesar de que los resultados pueden verse afectados por el pre-tratamiento de la muestra y las condiciones experimentales, la determinación de la tasa de mineralización del nitrógeno en condiciones de laboratorio resulta bastante adecuada para diversos propósitos, como la comparación de los efectos de diferentes tratamientos o condiciones. Las metodologías constan en forma general en cuatro fases: incubación, extracción, determinación del nitrógeno mineral y tratamiento matemático de los datos.

En cuanto al tratamiento matemático de los resultados, la estimación parte de la base de que la proporción de mineralización, bajo unas particulares condiciones medioambientales, es proporcional a la cantidad de nitrógeno en el

sustrato mineralizable, por tanto aunque pueden determinarse los contenidos de nitrógeno mineral al principio y al final de la incubación y de ahí determinar las cantidades liberadas por unidad de suelo y de tiempo, es más habitual ajustar los datos obtenidos de muestras analizadas tras diferentes períodos de tiempo a un modelo cinético.

Entre todos los modelos cabe señalar los modelos exponenciales simples (Stanford y Smith, 1972), donde el nitrógeno mineralizado se relaciona linealmente con la raíz cuadrada del tiempo, o el modelo que propone una cinética de primer orden mediante un análisis de regresión no lineal por el método de mínimos cuadrados (Smith *et. al.*, 1980).

En este método, uno de los más empleados, se considera que la mineralización sigue una cinética del tipo:  $Nm = No(1 - e^{-kt})$ , donde Nm es la cantidad de nitrógeno mineralizado en un tiempo dado, No es el nitrógeno potencialmente mineralizable, k es la constante de primer orden y t el tiempo de incubación. Para un fácil cálculo de No y k, es común linealizar esta ecuación mediante transformación logarítmica.

Entre los estudios de mineralización del nitrógeno donde se ha enmendado suelos con materiales orgánicos, se tiene el de Griffin y Laine, (1983), quienes estudiaron la mineralización en suelos que recibieron estiércoles y otros materiales de desechos orgánicos durante varios años, para determinar la mineralización potencial (No) y la tasa de mineralización(k), ellos obtuvieron valores de No mucho más altos que los de otros trabajos, pero los valores de k variaron mucho entre los suelos, lo que los llevo agrupar valores de k por variables como humedad, temperatura, rendimiento del cultivo maíz y consumo de nitrógeno por las plantas.

#### **2.3.4. Efecto de los residuos orgánicos sobre las propiedades químicas de los suelos y el cultivo, y sobre el rendimiento.**

El valor nutricional de los residuos orgánicos cuando se agregan a los suelos es considerado una forma de evaluar la calidad de los mismos, este efecto nutricional se mide normalmente en campo o en ensayos de invernadero sobre las características del cultivo. En este sentido se presentan algunas



experiencias de campo con residuos para evaluar su efectividad sobre algunas propiedades químicas de los suelos y los cultivos, así como el rendimiento.

La mayoría de los trabajos realizados para evaluar los efectos de la aplicación de materiales orgánicos a suelos agrícolas en Venezuela se realizan en invernadero o en pequeñas parcelas de 30 a 40 metros cuadrados, así se tiene que en los años 1992, 1993 y 1994 se instalaron una serie de experiencias en suelos de la serie El Rodeo, Yaritagua, estado Yaracuy, Venezuela, donde se evaluaron residuos orgánicos del tipo material vegetal (crotalaria, pasto elefante) sobre las propiedades de: pH, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico, fósforo disponible y nitrógeno total en el suelo, y en el cultivo se evaluó el rendimiento en grano de maíz. Los resultados no fueron significativos estadísticamente para el pH, carbono orgánico y nitrógeno total, solamente lo fue para el fósforo disponible en el suelo (Rivero, 1998).

Sediyama *et. al.*, (1998), condujeron un estudio para evaluar el estado nutricional de las plantas, la calidad de las raíces y rendimiento de la zanahoria, después de la aplicación de siete tipos de compuestos orgánicos los cuales fueron producidos a partir de estiércol líquido de cerdo y materiales pajizos de caña de azúcar, pasto y café, paja de caña de azúcar con y sin superfosfato triple o yeso, estiércol seco de cerdo, fertilización química y un control no tratado. Consiguieron que el compuesto orgánico producido de café y estiércol líquido de cerdo proveía un mayor rendimiento de raíces. El enriquecimiento de los compuestos orgánicos con paja de caña de azúcar más el estiércol líquido de cerdo con yeso o superfosfato triple no afectó el rendimiento de las raíces, tampoco los contenidos de calcio y fósforo en las hojas y raíces. Las raíces de zanahoria que recibieron la fertilización orgánica y mineral presentaron contenidos superiores de fósforo y potasio y contenidos similares de calcio, cuando se compararon con los contenidos estándares para la dieta humana.

Cabrera *et al.*, (1999) indican el efecto positivo de la incorporación de cachaza (residuo de la producción industrial del azúcar de caña que contiene materia orgánica y nutrientes) sobre las propiedades físicas de un vertisuelo y

el rendimiento de la caña de azúcar. La aplicación de este residual orgánico favoreció la microagregación y la estructuración del suelo, incrementó el volumen de aireación y la infiltración del agua, propiciando mejor desarrollo y mayor rendimiento del cultivo.

Otros autores que evalúan la aplicación de compost hacen énfasis en el rendimiento, así tenemos a Eghball *et al.*, (2004), quienes trabajaron con compost de estiércol sobre la producción de maíz durante cuatro años de experimentación en suelos de Sharpsburg, en el Centro de Investigación de agricultura de la Universidad de Nebraska, concluyeron que el carbono no es un indicador sensitivo para medir diferencias entre tratamientos, y que el efecto residual de nitrógeno y fósforo del compost aumentó la producción del maíz solo en un año e influenciaba las propiedades del suelo durante varios años.

Por su parte otros autores como Gagnon *et al.*, (1997), estudiaron el efecto del compost y de los fertilizantes inorgánicos en ensayos de campo llevados a cabo en Quebec, Canadá, sobre el crecimiento del sorgo. Consiguieron que el rendimiento del grano aumentará con las aplicaciones del nitrógeno inorgánico, disminuyera con la aplicación sola del compost, mientras que aumentó en una mayor proporción cuando se adicionó nitrógeno al compost, al comparar con el control, .

La influencia de las aplicaciones de estiércoles y compost sobre las propiedades de los suelos ha sido bastante estudiada. Eghball, (2002) aplicó compost a suelos de Sharpsburg, Nebraska, basados en las necesidades del nitrógeno del maíz, y obtuvo que las propiedades del suelo a las profundidades de 0 a 15 y 15 a 30 cm. no fueron afectadas por la aplicación de los tratamientos, excepto por la conductividad eléctrica.

Reyes, *et al.*, (2002), estudiaron el efecto de la aplicación de los residuos de café usando al maíz (*Zea mays*) como planta indicadora sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del tejido foliar. El material orgánico fue aplicado en las siguientes combinaciones (suelo:residuo de café): 1:1; 3:1; 5:1; y 7:1. El residuo de café tenía las siguientes características: 3,38% N; 0,32% P; 0,19% K y 17,43% materia orgánica. El contenido de N y K en la

planta fue más alto con el primer tratamiento, mientras que el contenido de P lo fue con el segundo tratamiento. El uso de los residuos del café tuvo efectos significativos en el pH del suelo y en las características físicas que dieron lugar a la variación en la población de microorganismos del suelo.

Otros trabajos como los de Carter *et. al.*, (2003), encontraron que la materia orgánica de los suelos era influenciada por la adición de compost en un suelo franco arenoso durante el ciclo de rotación de la patata (*Solanum tuberosum* L.), al igual que algunos parámetros físicos como la retención de agua.

Roveda *et. al.*, (2002), demostraron que la adición de materia orgánica mediante la incorporación de materiales orgánicos compostados de estiércol de gallinaza y judía, producían un efecto inhibitorio del aluminio sobre las plantas de maíz, mostrando un tamaño mayor en las plantas, área foliar y densidad de raíces que donde no se aplicaron los tratamientos, lo cual lo atribuían a la mayor absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn y Fe).

En suelos agrícolas degradados del municipio de Texcoco-México, se realizaron aportaciones de materia orgánica con compost y estiércol en ensayos de invernadero con alfalfa. Sus resultados mostraron en forma general que hubo un incremento en la materia orgánica y diversidad microbiana, siendo los tratamientos con estiércol de 80 y 100 toneladas los que consiguieron mayores valores en MO (Hernández, 2007).

En el mismo contexto que el anterior con el cultivo del banano, se le adiciono materia orgánica con compost y biofermentos a suelos de plantaciones bananeras del municipio Tapachula Chiapas, México. Adriano *et. al.*, (2007), los resultados indicaron que la materia orgánica mejoraba la fertilidad del suelo, así como la actividad biológica por un período de 10 meses, por lo que el estudio propone adicionar materia orgánica al menos cada 5 meses.

**2.3.5. Efecto de la aplicación combinada de fertilización orgánica y química sobre el suelo, estado nutricional de la planta y productividad del cultivo.**

Diferentes estudios reseñan el efecto que tienen sobre los suelos, cuando se incorporan mezclas de fertilizantes inorgánicos con residuos orgánicos, así se tiene Warman y Cooper (2000), quienes evaluaron la aplicación de fertilizantes inorgánicos (N,P,K) con estiércol de pollo compostado y sin compostar sobre los elementos Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn tanto en el suelo como en el tejido vegetal del cultivo pasto forrajero. Concluyen que al mejorar las condiciones del suelo con la adición del compost, la disponibilidad de los nutrientes por parte de la planta incrementa su rendimiento. En este estudio recomiendan investigar cuales son las tasas óptimas económicas y agronómicas de aplicación de estiércol, compost y fertilizantes.

En otro estudio similar al anterior, pero con yuca (*Manihot esculenta*) en suelos de la región Caribe de Colombia, Baquero *et. al.*, (2000), demostraron que los contenidos de materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio y potasio aumentaron en los suelos donde se aplicaron los tratamientos combinados de desechos de cosechas (rastreo) y fertilización inorgánica N, P, K.

Añez y Espinoza, (2002), en un estudio llevado a cabo sobre un suelo Franco arenoso Typical Humitropept en la Estación Experimental Santa Rosa, estado Mérida, Venezuela, demostraron que el rendimiento de las raíces de zanahorias estuvo significativamente influenciado por la aplicación de tratamientos combinados con estiércol de gallinaza con fertilización química N,P,K, complementando sus efectos y produciendo un aumento en el rendimiento.

Hirzel *et al.*, (2003), estudiaron el efecto de dosis de fertilización inorgánica N,P,K, y el uso de estiércol de BROILER (abono orgánico) como fuente orgánica en suelos originados de cenizas volcánicas, ubicados en San Clemente y Arrayán, Chile, y sobre el cultivo del maíz. Entre sus conclusiones destacan que la aplicación con solo fertilización inorgánica permitieron elevar ligeramente los niveles de fósforo en el suelo, mientras que se lograba un

mayor incremento cuando se aplicaban las mismas dosis pero usando como fuente el abono orgánico; igualmente se mejoraban las características químicas del suelo, como el pH, y el nivel de bases disponibles, sin alterar la salinidad del suelo.

Soumaré *et. al.*, (2003), evaluaron los efectos de compost preparados a partir de desechos de sólidos municipales en conjunto con fertilización mineral sobre el crecimiento de la planta en dos suelos tropicales de Mali, Africa. Los resultados del estudio señalaron la factibilidad de usar este tipo de compost en agricultura tropical para aumentar los rendimientos de los cultivos y mejorar la productividad de suelos francos arcillo arenosos y francos arenosos, ya que mejoró la materia orgánica de los suelos, el nitrógeno total, la disponibilidad del fósforo y en contraste rindió una mayor producción de alimentos. Sin embargo, destacan que para obtener mayores rendimientos es necesario que los compost se complementen con la adición de fertilizantes mineral (N, P, K).

Anwar *et al.*, (2006) demostraron que la combinación de los estiércoles orgánicos con fertilización inorgánica (N, P ,K) sobre la calidad del aceite y el rendimiento del cultivo de albahaca, mejoraba con respecto a la materia seca, contenido del aceite y el rendimiento. Además resaltaron que el contenido de carbono orgánico, la disponibilidad del nitrógeno fueron más altos en post cosecha en aquellos suelos que recibieron solo residuos orgánicos o la combinación con fertilizantes inorgánicos que en los suelos tratados con fertilización inorgánica.

De igual manera, Chand *et. al.*, (2006), llevaron a cabo un experimento de campo durante siete años continuos para evaluar la influencia de la aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos en el aumento de la fertilidad del suelo y el consumo de nutriente usando la menta (*Mentha arvensis*) y la mostaza (*Brassica juncea*) en secuencia de cultivo. Ellos concluyen que todos los tratamientos combinados (orgánicos más inorgánicos), mostraron un balance positivo en la disponibilidad de N, P y K en el suelo, al ser comparado con la aplicación sola de fertilización orgánica ó fertilización química, y lo más resaltante que el sistema de cultivo menta – mostaza integrado, suple de nutrientes a las plantas a través de residuos de granjas y fertilizantes NPK, y

que esto juega papel significativo en la sostenibilidad de la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos.

Marinari *et. al.*, (2007), con el propósito de estudiar los cambios químicos y bioquímicos de la materia orgánica en los suelos con residuos orgánicos (vermicompost y estiércol) y fertilización química (nitrato de amonio), demostraron que los enmendantes orgánicos aumentaron la biomasa microbiana del suelo, mientras que la fertilización mineral causó una gran alteración en la materia orgánica del suelo.

Georgios *et. al.*, (2007), estudiaron el efecto de la aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el crecimiento y la acumulación del nitrato en lechuga. Determinaron que altas aplicaciones de compost de estiércol de oveja son necesarias para alcanzar el crecimiento de la lechuga que se obtiene con fertilizantes inorgánicos sobre condiciones óptimas climáticas y que las dosis crecientes de fertilizantes inorgánicos deben ser evitadas puesto que ciertas condiciones de clima produce acumulación de nitratos en las hojas y un rendimiento marginal. La disponibilidad residual de N, P y K en el suelo se obtuvo con el abono de ovejas, mientras que por el contrario la disponibilidad residual fue nula con la fertilización inorgánica aplicada.

#### **2.4. CARACTERÍSTICAS DEL MANEJO DEL CULTIVO MAÍZ**

Este cultivo constituye el cereal de mayor importancia en Venezuela, dedicándose a su cultivo alrededor de 500.000 hectáreas. Su importancia en la dieta y el gran número de personas que lo cultivan a través de toda la geografía nacional, lo convierten en un cultivo de alto valor estratégico. El mayor volumen de producción se encuentra concentrado en los Estados Portuguesa, Yaracuy, Guárico, Barinas y Carabobo, con 73,5% de la producción y 63,7% de la superficie cosechada.

#### **2.4.1. Época de siembra**

En la mayor parte del país, la siembra se lleva a cabo entre mayo y junio, sin embargo en la Región Centro Occidental de Venezuela se recomienda entre abril y mayo, aún cuando esto va a depender de la entrada de lluvias, debido a que es un cultivo tradicional de la época de lluvias particularmente en esta región.

#### **2.4.2. Desarrollo del cultivo**

Las etapas de desarrollo del cultivo pueden resumirse, en siembra de emergencia, en la cual el grano germina y absorbe el 30% de su peso en humedad para iniciar los cambios químicos necesarios para el proceso de germinación, este período dura aproximadamente una semana o más, dependiendo de factores como la temperatura del suelo, humedad, compactación y profundidad de siembra. Luego una emergencia a desarrollo rápido, donde las plántulas del maíz producirán hojas desde el verticilo a la tasa de aproximadamente una hoja cada 3 días, a las 8 hojas totalmente emergidas la planta de maíz entra en el estado de un crecimiento vegetativo y vertical extremadamente rápido. Hay producción y alargamiento de hojas y elongación de raíces. A esta edad se determina el número de hileras de granos en la nueva mazorca, factores como deficiencia de humedad y nutrientes a partir de este estado tendrían una gran influencia en el crecimiento y posterior desarrollo de mazorcas. Posterior a esta fase se encuentra el desarrollo rápido a polinización, donde el sistema radical comienza a suplir agua y nutrientes, el número de hileras/mazorcas ya está establecido y la determinación de granos de mazorca no será completada alrededor de 1 semana después de la aparición de los estigmas, en este caso la planta de maíz sufre el proceso de transición de desarrollo vegetativo a reproductivo.

Finalmente ocurre la polinización a madurez fisiológica, donde una vez ocurrida la polinización, el nitrógeno y el fósforo se distribuyen desde las partes vegetativas a reproductivas, el elemento potasio ya está completado, el crecimiento de la planta depende ahora del desarrollo de los granos, es decir, ampolla, lechoso, zaraso, dentado y madurez fisiológica. Esta última indica que

el grano tiene el máximo de materia seca, el contenido de humedad es de 28-35% dependiendo de los híbridos y las condiciones ambientales (Cabrera, 2001).

### **2.4.3. Aspectos climatológicos**

El clima es uno de los factores más importante en la producción de maíz, debido a que la mayor área sembrada de este cereal a nivel mundial, se realiza en condiciones de secano. Martelló (1996), citado en Rodríguez (2001), sostiene que en el trópico y en agricultura de secano, lo que interesa conocer es como se comporta la precipitación, porque la temperatura y otros factores no son tan limitantes para el crecimiento de los cultivos.

En Venezuela la mayor área sembrada de maíz se realiza en condiciones de secano, de allí que su distribución geográfica dependa entre otros factores de la cantidad y distribución de las lluvias. En el Valle Medio del Río Yaracuy los vientos dominantes son los alisios que penetran por la depresión Turbio-Yaracuy.

Los vientos alisios, soplan todo el año y por falta de barreras físicas, avanzan libremente hasta la parte más sur occidental de la depresión, donde los alisios pierden velocidad y se desvían en parte a Barquisimeto y hacia los Llanos Occidentales. Estos vientos vienen cargados de humedad y provocan en la época de nortes precipitaciones de poca intensidad y duración, sin embargo pueden presentarse ocasionalmente frentes fríos que pueden provocar precipitaciones de gran intensidad, que causan fuertes inundaciones (Rodríguez, 2001).

El volumen de las lluvias disminuye a lo largo de toda la depresión, con altas precipitaciones en la zona de penetración de los alisios hasta reducirse en los alrededores de Yaritagua. Dentro del Valle existe una gran variación espacial de la precipitación desde unos 800 mm en las partes bajas hasta 1300 mm hacia el piedemonte de la serranía de Aroa y partes altas de la serranía de Nirgua, estado Yaracuy.



De acuerdo con Rodríguez (2001), los períodos de sequías o estrés son responsables de pérdidas significativas en la productividad del maíz. La falta de agua puede afectar el cultivo en cualquier estado de desarrollo, pero tiene dos períodos donde afecta la producción del grano.

El primer período es durante el establecimiento, donde el número de plantas puede ser reducido drásticamente, debido a la dificultad de las semillas de tomar agua de un gradiente de potencial de agua en el suelo. Si el estrés ocurre durante la etapa vegetativa del cultivo, el impacto principal es una reducción en el crecimiento foliar y la velocidad con la que el cultivo cubre el terreno, debido a una menor interceptación acumulada de radiación solar, por lo que se puede esperar una baja en la producción de materia seca y así en el rendimiento del grano.

Estudios sobre los períodos de estrés han indicado que el período de 1-2 semanas antes y después de floración es el segundo período más sensible sobre la reducción de los rendimientos del maíz y las pérdidas en granos pueden alcanzar más del 25% (Rodríguez, 1976; Vegas y Zambrano 1983).

La disminución de los rendimientos cuando el estrés se presenta después del inicio de la floración femenina, está relacionado con la disminución de la tasa de fotosíntesis, tal como fue demostrado por los experimentos de Shaw (1983), período durante el cual se define el número de granos/planta. La mayor reducción de los rendimientos se presenta entre los 10 días antes y 10 días después del inicio de la floración femenina (Rodríguez, 2001).

#### **2.4.4. Manejo de los macro y micronutrientes en la fertilización del maíz**

Los elementos nutritivos cumplen funciones esenciales y específicas en el metabolismo vegetal. Se ha comprobado hasta la fecha la existencia de dieciséis elementos indispensables para las plantas superiores: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). En la actualidad se investigan otros elementos, entre ellos cobalto, silicio, sodio, aluminio, níquel, vanadio, lantano y cerio, los cuales cumplen funciones

en algunas especies. Es poco lo que se conoce, sin embargo, acerca de su utilidad en el caso del maíz.

Los elementos esenciales se clasifican en dos grupos: 1) Macronutrientes, utilizados por las plantas en cantidades comparativamente grandes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. 2) Micronutrientes, necesarios en proporciones mucho menores: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl. En condiciones de exceso, la mayoría de los microelementos son perjudiciales a los cultivos. Los tejidos vegetales suelen contener muchos otros elementos que aparentemente no necesitan, alguno de ellos como tóxicos.

Las concentraciones de nutrientes minerales varían, tanto entre especies como entre cultivares. Dependen, además, del tipo de tejido y edad de la planta. La presente Tabla da una aproximación de las cantidades de nutrientes o dosis de fertilizante que pueden ser aplicadas a un cultivo de maíz en función de los niveles de fertilidad del suelo, del potencial genético del cultivo y de las expectativas de rendimiento del agricultor.

Tabla 2.4.4. Dosis de fertilizantes requeridas según las exigencias de rendimiento del cultivo maíz.

Rendimiento (Kg Maíz/ha)	Extracción de nutrientes (Kg/ha)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S
4.000	100	40	120	18	14
6.500	150	60	180	40	28
8.000	200	80	224	52	32

Fuente: Cabrera, (2001)

Según Cabrera (2001), la acumulación de macronutrientes en maíz es bastante baja durante los primeros 25-30 días del ciclo. A partir de este momento la acumulación de nitrógeno y potasio aumentan drásticamente hasta el momento de emergencia de la panícula, con tasas de acumulación tan altas como 5 kg/ha/día, y es por esta razón que el reabono o aplicación fraccionada de nitrógeno se recomienda en esta etapa (25-30 días).

Durante la fase de floración la acumulación de N y K prácticamente se detiene para reiniciarse en la etapa de desarrollo del grano. Es importante destacar que en esta etapa puede haber respuesta del maíz a la aplicación de nitrógeno especialmente en el caso del uso de cultivares de alto potencial de rendimiento. La acumulación de fósforo es bastante uniforme a lo largo del ciclo de vida del maíz, alcanzando los más altos valores en la etapa de maduración del grano.

Los patrones o curvas de acumulación de nutrientes pueden utilizarse para identificar los momentos de máxima demanda nutricional o períodos crítico, a fin de poder satisfacer los requerimientos del maíz en los momentos oportunos.

Aunque la planta puede absorber en mayor o menor cantidad los elementos químicos que se encuentran en el suelo, en el caso de los elementos menores en el cultivo de maíz son esenciales aquellos que cumplen con las condiciones de deficiencia del elemento, que pueda impedir a la planta cumplir con su ciclo vegetativo o reproductivo y los que puedan estar directamente involucrados en la nutrición de la planta. En este sentido se mencionan algunas funciones donde son esenciales estos elementos en la plantas de maíz: el Fe y Mn en la fotosíntesis; el Zn, Mn y B como reguladores del crecimiento y maduración; Zn, Fe, Cu y B en la activación enzimática.

Todos los elementos menores aún cuando son requeridos en concentraciones menores por las plantas, la escasez de alguno de ellos limita el crecimiento y el rendimiento. La fertilización de los microelementos debe ser manejada como cualquier otro insumo de producción y sus deficiencias se deben confirmar mediante el análisis de suelo, análisis foliar, síntomas visuales y pruebas de campo.

#### **2.4.5. Establecimiento de dosis de fertilización en el cultivo maíz.**

El diagnóstico de las necesidades nutricionales de las plantas conlleva la observación cuidadosa de la sintomatología, la información acerca del uso

presente y pasado del suelo, el empleo de técnicas apropiadas de análisis de suelos y de plantas; además, el conocimiento de los principios involucrados.

Los métodos empleados para el establecimiento de dosis más adecuadas basados en los análisis de suelos, conlleva a la extracción parcial mediante soluciones extractoras idóneas que puedan ser relacionadas con la cantidad que pueda extraer las plantas.

Desde un punto de vista agronómico el procesamiento de la información que se derivan de los ensayos de campo donde se prueban dosis de fertilizantes, les lleva a la selección de algún análisis estadístico que mejor se adapte a la realidad, en ese sentido se propone la planificación del experimento fundamentalmente con el objeto de proporcionar, la mayor cantidad posible de información sobre el problema estudiado.

En la práctica se encuentran numerosos problemas al intentar aplicar los modelos complejos de la respuesta a los fertilizantes a datos existentes. Entre las dificultades se encuentra que la información disponible pueda ser insuficiente dado que el rendimiento es una función de muchos factores que afectan la interacción entre el potencial genético de la planta y el medio ambiente en el cual ésta se desarrolla (Fitts, 1955).

Por otro lado la mayoría de los modelos de respuesta tienen una cierta tendencia a sesgarse bajo cierta clase de condiciones. Anderson y Nelson (1971) han descrito con cierto detalle las limitaciones y las dificultades asociadas con el modelo cuadrático para describir respuestas individuales a algunos nutrientes, pero éste es particularmente sesgado cuando existe una respuesta marcada a las aplicaciones del primer incremento, seguido de una pequeña o ninguna respuesta de las dosis mayores, así habría una sobreestimación al rendimiento medido en la dosis cero del nutriente, luego subestima al rendimiento en la primera dosis del nutriente y sobreestima al rendimiento en las dosis intermedias.

Otra de las dificultades en la interpretación se relaciona con el rendimiento del cultivo o la respuesta a dosis elevadas de aplicación. La

mayoría de los modelos curvilíneos de respuesta continua son muy sensibles a fluctuaciones en el rendimiento, debidas al uso de dosis altas. Estas pueden causar quemaduras o crear desequilibrios nutricionales y producir una depresión en el rendimiento (Waugh, 1973).

Entre los modelos alternativos para ser usados en la obtención de dosis de fertilizantes como una función del rendimiento, se han tenido el modelo de Swanson (1963) basados en la Ley del mínimo de Liebig, el cual postula una respuesta lineal para el principal elemento limitante. Eventualmente, el rendimiento es limitado por la capacidad genética de la planta cuando todos los factores externos que limitan son eliminados.

Otro modelo bastante usado ha sido el modelo discontinuo de Respuesta Lineal y del Rendimiento Máximo Estable, denominado Modelo Discontinuo rectilíneo, que sirve para interpretar los datos de los ensayos de fertilizantes y determinar las necesidades de estos con base a los análisis de suelos.

Los modelos anteriores fueron aplicados en una serie de suelos maiceros en el país con la finalidad de establecer las dosis de fertilizantes en los elementos N, P y K, en suelos cultivados con maíz correlacionados con el método Olsen modificado y Bray I (Carrero, *et. al.*, 1990).

Los experimentos en la investigación agrícola son conducidos principalmente para obtener información de la respuesta obtenida, generalmente, en rendimiento, cuando se aplican unos determinados tratamientos, la mayoría de ellos ha utilizado un solo factor, y posteriormente se realiza la correspondiente tabulación, clasificación y análisis de datos para la interpretación de los resultados, basados por consiguiente en el estudio de ese solo factor.

Los investigadores del agro, debido a la naturaleza de los procesos agropecuarios, tienen la necesidad de estudiar varios factores al mismo tiempo, con el fin de conocer si estos factores actúan independientemente o lo hacen interactuando. De acuerdo a Chacín, (2000), esto puede lograrse a través de

los arreglos factoriales o diseños estadísticos de segundo orden para el estudio de superficies de respuestas.

La superficie de respuesta permite que el investigador inspeccione, de manera visual, la respuesta para cierta zona de los niveles de los factores de interés y evaluar su sensibilidad a los factores de tratamiento. Las superficies de respuestas se han usado en ciertas aplicaciones industriales para explorar la combinación de niveles de los factores que proporcionan una condición operativa óptima, como por ejemplo la combinación de temperatura y tiempo que maximiza la producción. También pueden utilizarse en estudios analíticos de procesos fundamentales, como es el caso de las ciencias biológicas para investigar la influencia de los factores sobre la variable de respuesta, con la interacción entre el nitrógeno y el fósforo en el crecimiento de las plantas (Kuehl, 2004).

En Venezuela desde el año 1978 se han realizado algunos trabajos básicos y aplicados con el fin de introducir la Metodología de Superficie de Respuesta en la investigación agrícola, en este sentido Chacín (1983), ha recomendado el uso del Diseño Compuesto Central Rotable replicado en ensayos de fertilización, el cual hoy en día es uno de los más utilizados por las ventajas comparativas que ha mostrado con respecto a otros diseños.

Chacín, (1990), estableció un diseño Rotable Central Compuesto para la utilización en ensayos de fertilización en maíz donde explica los pasos a seguir para la obtención de dosis óptimas y económicas de rendimiento del cultivo. Concluye que es factible cumplir con la etapa de validación comercial o semi - comercial llevando a cabo experimentos en el campo agrícola con los diseños de superficie de respuestas que permiten estudiar varios factores al mismo tiempo que influyen en el rendimiento del cultivo.

Díaz y Morales, (1991), estudiaron el efecto de diferentes niveles de fertilización química y orgánica sobre el rendimiento de remolacha bajo un diseño compuesto Central rotable a cinco niveles, donde establecieron dosis óptimas y económicas de rendimiento, validaron el ensayo comercialmente con

un 99% de confianza desde un punto de vista estadístico; como residuo orgánico usaron estiércol de gallinaza.

Iguales resultados obtuvieron Aguirre y Marrero, (1991) en un ensayo sobre el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un diseño compuesto Central Rotable a cinco niveles. Sin embargo los ensayos fueron llevados a cabo en parcelas experimentales bastante controladas tipo invernadero, ya que el propósito básico era el estudio de los parámetros estadísticos.

Machado, *et. al.*, (1997), con el objetivo de determinar los mejores niveles de fertilización nitrogenada y densidad de siembra en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), instaló un ensayo de bloques al azar con dos repeticiones y unidades experimentales de 30 m<sup>2</sup> con 10 m<sup>2</sup> de área efectiva. En cada bloque distribuidos al azar, 24 tratamientos, los cuales fueron el resultado de la superposición de los diseños factorial 32, Compuesto Central Rotable (K=2m No=5) y Compuesto Central Rotable Doble Estrella. Concluyen que estos diseños de superficie de respuestas con el cultivo maíz, permiten la formulación de recomendaciones de fertilización más cercanas a la realidad y facilitan el ajuste de los tratamientos con la finalidad de realizar una mejor caracterización de la región de exploración en experiencias futuras.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

El presente capítulo se estructura por años de experimentación en concordancia a los objetivos planteados en el trabajo. Así se tiene una primera fase llevada a cabo en los años 2002 y 2003 referida a la selección, caracterización y valoración de la aplicación de abonos orgánicos de origen industrial en dos suelos representativos de los cultivados con maíz en la Cuenca media del Río Yaracuy, uno ácido y otro alcalino, bajos en materia orgánica; y su efecto sobre el cultivo maíz; y una segunda fase donde se evaluó la mineralización del nitrógeno y se determinaron las dosis de fertilizantes químicas (N, P, K) y del abono orgánico seleccionado que dan la respuesta óptima y económica en el rendimiento del maíz, y su efecto en el suelo y el cultivo del maíz con ensayos de campo instalados en dos suelos ubicados en las localidades de La Virgen y El Rodeo en el estado Yaracuy.

#### **3.1. SELECCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS**

Tomando como base la necesidad de incorporar materia orgánica para corregir los bajos contenidos que presentan los suelos de los agricultores que siembran maíz en el estado Yaracuy, y la importancia de tener un abono orgánico adecuado a sus características edáficas, se escogieron tres abonos orgánicos (AO) producidos en volúmenes considerables en la Región Centro Occidental, de Venezuela, los cuales garantizan la disponibilidad del producto a los agricultores. Estas empresas son tres, dos de las cuales utilizan como materia prima el estiércol de gallinaza y la tercera la cachaza como un subproducto del procesamiento de la caña de azúcar.

##### **3.1.1. Procedencia y descripción de los abonos orgánicos**

El origen y la obtención de los abonos orgánicos agroindustriales es el siguiente:



### **Estiércol de gallinaza con tratamiento térmico (EP1)**

Compuesto de orinas y heces procedentes de ave de gallinaza mezclado con serrín de madera colocados en cama, y sometido a un tratamiento térmico con vapor de agua para deshidratar. Posteriormente es introducido en sacos de 10 kg para su venta.

### **Estiércol de gallinaza compostado a partir de una polienzima (EP2)**

La materia principal utilizada para la elaboración de este producto es el estiércol de gallinaza, específicamente la cama de gallinaza que es una mezcla de plumas, residuos de alimentos, orinas, cáscara de arroz y viruta de madera. Se someten luego a un proceso de compostaje con una mezcla polienzimática.

### **Cachaza (CA)**

Subproducto de la caña de azúcar que se mezcla con bagacillo y con polienzimas conformada por compuestos calcáreos, fragmentos de lava refermentadas y dolomíticas, ácidos húmicos, amilasa, celulosa, lactasa, lipasa, pancreasa, proteasa, invertasa, nitrógeno orgánico y ácidos nucleicos, sometidas igualmente a un proceso de compostaje hasta lograr la estabilización del material.

### **3.1.2. Caracterización de las variables físicas y químicas de los abonos orgánicos.**

En los abonos orgánicos antes mencionados y con el objeto de evaluar su madurez y su condición como materiales enmendantes agrícolas, se determinaron una serie de variables con la finalidad de establecer comparaciones y escoger de acuerdo a los resultados el más adecuado para los tipos de suelos bajo estudio y que se mencionan a continuación:

#### **3.1.2.1. Porcentaje de humedad (% H)**

Se pesaron 50,00 gramos de cada muestra (peso húmedo) y se colocó en estufa a 105 °C durante 24 horas, al cabo del cual se tomó el peso seco, determinado de acuerdo a la fórmula:  $\% \text{Humedad} = (\text{Peso húmedo} - \text{Peso Seco}) * 100 / \text{Peso seco}$

### **3.1.2.2. pH y conductividad eléctrica (CE)**

Se midieron por potenciometría con pH metro Corning 125 y conductímetro Meters respectivamente, en el extracto acuoso en relación 1:5.

### **3.1.2.3. Carbono orgánico total (COT)**

Se determinó mediante el método de combustión húmeda basado en la oxidación del carbono orgánico por una mezcla de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y ácido sulfúrico concentrado, acelerada por el calor de dilución del ácido sulfúrico en agua (Nelson y Sommers, 1996). El carbono orgánico reduce los iones  $Cr^{+6}$  amarillo-naranja del dicromato inicial a iones  $Cr^{+3}$  de color verde.

La cantidad de agente oxidante consumido en esta reacción se determinó midiendo la intensidad del color verde de los iones  $Cr^{+3}$  producidos, en un espectrofotómetro UV-visible Spectronic 20 Milton Roy Company a la longitud de onda de 590 nm, y comparando con lecturas de una curva de calibración preparada previamente con soluciones patrones de glucosa, sometidas al mismo tratamiento que las muestras.

### **3.1.2.4. Determinación de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg)**

Se pesaron alrededor 0,5000 gramos de las muestras y se sometieron a digestión húmeda, con una solución ácido nítrico - ácido perclórico en relación 1:2, a la temperatura de 400 °C durante 30 minutos (AOAC, 1997). Una vez clarificadas las soluciones se llevaron a volumen de 50 ml. A partir de estas soluciones se determinaron los elementos calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrofotometría de absorción atómica. Potasio (K) y sodio (Na) por emisión a la llama con espectrofotómetro PERKIN ELMER 3001. El fósforo (P) por espectrofotometría UV-visible con SPECTRONIC 20 Milton Roy Company a la longitud de onda de 420 nm desarrollando color con monovanadato de amonio de color amarillo, comparado con soluciones patrones de hidrógeno fosfato de potasio contenidos en la misma matriz que la muestra.

Para la determinación del nitrógeno total (N), se pesó una muestra de cada abono orgánico alrededor de 0,5000 gramos y se sometió a digestión húmeda con ácido sulfúrico y selenio como catalizador (Malavolta, 1997), destilado en micro Kjeldalh, recogido en solución de ácido bórico usando solución indicadora de azul de metileno y cuantificado posteriormente por titulación con ácido sulfúrico. Todos los elementos fueron expresados en términos de porcentajes.

#### **3.1.2.5. Determinación de microelementos (Zn, Cu, Fe, Mn)**

En el mismo extracto obtenido para la determinación de los macronutrientes (punto 3.1.2.4), se determinaron los metales pesados como: hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu) y cadmio (Cd). La cuantificación de Fe, Mn se realizó por espectrofotometría de absorción atómica y Pb, Zn, Cu y Cd por emisión óptica de plasma. Las concentraciones se expresaron en partes por millón (mg/kg).

#### **3.1.2.6. Determinación de cloruros (Cl)**

Se realizó una extracción acuosa en relación 1:100 muestra – agua destilada, se agitó durante 30 minutos, se filtró y el extracto acuoso se valoró con nitrato de plata 0,01 M, usando cromato de potasio como indicador, el resultado se expreso como porcentaje total (Malavolta, 1997).

#### **3.1.2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Se determinó de acuerdo a Summer y Miller (1996) utilizando una solución de acetato de amonio a pH 7,0.

#### **3.1.3. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas**

Las sustancias húmicas se extrajeron mediante tratamiento de las muestras con una solución de pirofosfato de sodio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) e hidróxido de sodio (NaOH), con concentración 0,1 M en cada uno de los compuestos. Una de las ventajas que ofrece el uso del pirofosfato sódico es el de promover la formación de precipitados insolubles o complejos solubles con calcio, hierro,

aluminio, y algunos otros cationes polivalentes, con los cuales están unidos las sustancias húmicas, de este modo es posible extraer los materiales húmicos enlazados tanto en con el calcio como con las formas no silicatadas de hierro y aluminio (Kononova, 1982).

Para el fraccionamiento de la materia orgánica se siguió el procedimiento propuesto por Ciavata *et al.*, (1990) con ligeras modificaciones. En forma resumida, el método consiste en: Pesar 2 gramos del material orgánico en un recipiente y adicionar 100 ml de una solución 0,1 M en NaOH y 0,1 M en Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Burbujear nitrógeno durante 2 minutos, cerrar bien el recipiente y someter a agitación 2 horas, centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos y filtrar. Transferir una alícuota de 25 ml del extracto a un tubo de centrifuga y acidificar a pH < 2 mediante la adición de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50%.

Las soluciones anteriores se centrifugan durante 20 minutos, el precipitado (ácidos húmicos) se separa del sobrenadante, se redisuelve con NaOH 0,5 M, se traspasa a un matraz aforado de 50 ml y se afora con la misma solución. La solución sobrenadante se pasa a través de una columna de polivinilpirrolidona (PVP) previamente preparada con ácido sulfúrico 0,01 N, la fracción que percola a través de la columna sin quedar retenida corresponde a los compuestos no húmicos. Esta fracción es arrastrada completamente con una solución 0,01 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y recogida en un matraz aforado de 50 ml, se enrasa con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 N y se guarda para subsiguientes análisis.

La fracción retenida en la columna PVP, que corresponde a los ácidos fúlvicos, es recuperada haciendo pasar una solución 0,5 M de NaOH; se recoge en un matraz aforado de 50 ml y se enrasa con NaOH 0,5 M. El extracto alcalino obtenido inicialmente, y las fracciones separadas del mismo: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y compuestos no húmicos (CNH), se almacenan bajo refrigeración a 4 °C para ser analizados posteriormente. La extracción y fraccionamiento se realizó por triplicado.

### **3.1.3.1. Determinación del carbono orgánico**

En los extractos líquidos obtenidos en el punto 3.1.3, es decir, extractos alcalinos y extractos que contienen ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y compuestos no húmicos, se tomaron alícuotas de 1 a 25 ml dependiendo del contenido de carbono orgánico de la muestra, se llevaron a sequedad a una temperatura máxima de 40 °C, y se determinó el porcentaje de carbono orgánico por el mismo procedimiento seguido para el carbono orgánico total (punto 3.1.2.3). Así se obtuvo el carbono orgánico en el extracto alcalino (COE) y en las fracciones: húmicas (CAH), fúlvicas (CAF) y sustancias no húmicas (CNH). Expresado en términos de porcentajes.

### **3.1.3.2. Parámetros de humificación**

Con los porcentajes de carbono de cada una de las fracciones obtenidas en el punto anterior (3.1.3.1) se procedió a determinar los parámetros de humificación: índice, grado de humificación y razón de humificación de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- ✓ Índice de Humificación (IH):  $IH = CNH / (CAF + CAH)$
- ✓ Grado de Humificación (GH):  $GH = [(CAF + CAH) / COE] \times 100$
- ✓ Razón de Humificación (RH):  $RH = [(CAF + CAH) / COT] \times 100$

## **3.2. TRABAJO DE CAMPO**

### **3.2.1. Ubicación geográfica del área**

Se seleccionaron suelos degradados en diferentes localidades de la Cuenca Media del río Yaracuy, estado Yaracuy de Venezuela (Figura 3). Uno de ellos ubicado geográficamente entre los 10° 10' de latitud norte y los 68° y 57' de longitud oeste, en la población La Virgen, municipio Bruzual y el otro suelo, ubicado entre los 10° y 03' de latitud norte y los 69° 05' de longitud oeste, en el Valle El Rodeo, cerca de Yaritagua, municipio Peña.

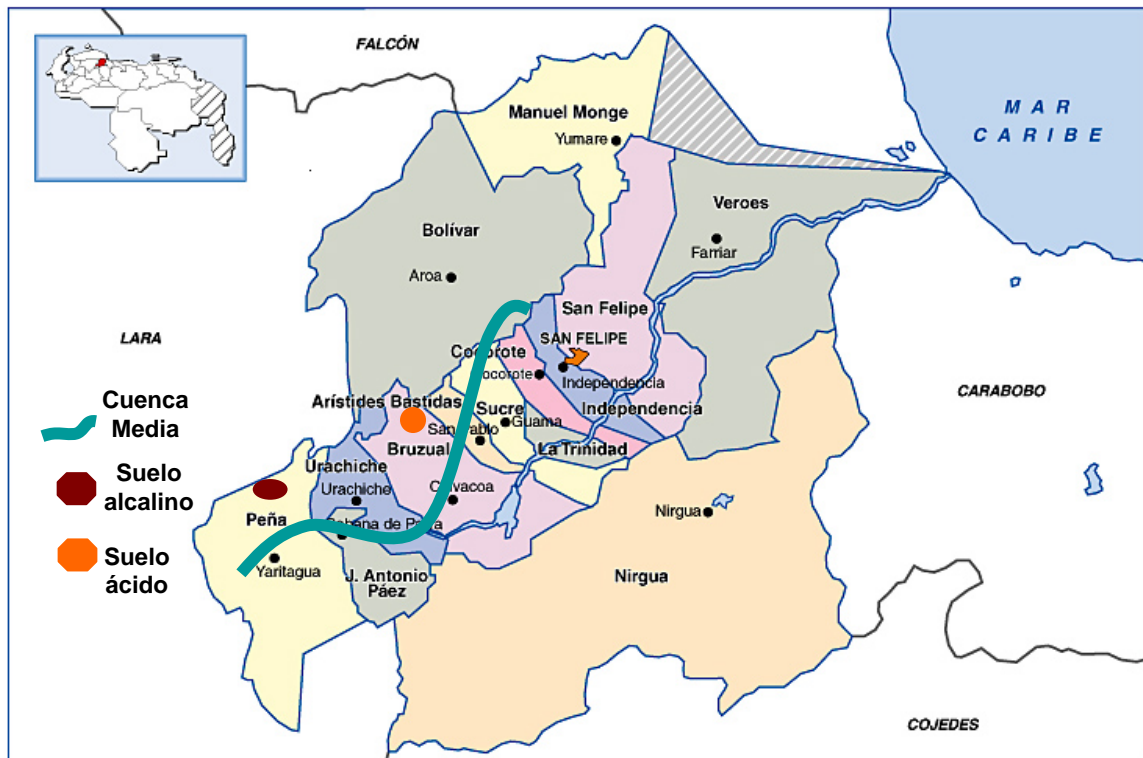


Figura 3. Ubicación geográfica de los suelos bajo estudio, Cuenca Media del Río Yaracuy, estado Yaracuy, Venezuela.

### 3.2.2. Características generales de la zona de estudio

Los suelos ubicados en el sector El Rodeo y La Virgen, pertenecen al orden alfisol según el Soil Survey Staff (1998), y fueron clasificados taxonómicamente Oxyc Haplustalfs, franco fino, mixto isohipertérmico, ambos suelos son pertenecientes a la serie Uribeque, siendo El Rodeo de reacción alcalina y La Virgen de reacción ácida, Brito y León (1968).

De acuerdo con Mendoza *et al.*, (1983), la textura de estos suelos varía de franco arenoso a franco arcilloso arenoso en la parte superior del perfil, de arcilloso a franco arcilloso en la parte media y franco arenoso a franco en la parte inferior; con presencia de esqueleto grueso en todo el perfil que se incrementa con la profundidad; raíces y actividad biológica abundantes en la parte superior y media del perfil, de ligeramente alcalino en superficie a neutro en profundidad; materia orgánica media a baja en la parte superior y trazas en profundidad; niveles de fósforo de medios a bajos y de potasio bajo a muy bajo en el perfil, estos suelos son mayormente cultivados con maíz.

### **3.3. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS DE CAMPO**

En este epígrafe se presentan los diseños de campo utilizados por cada año de estudio.

#### **3.3.1. Evaluación del efecto de los abonos orgánicos sobre los suelos, el cultivo y el rendimiento.**

Para evaluar el valor agronómico como fertilizantes de los abonos orgánicos, se realizaron dos ensayos de campo en el año 2002 y 2003, un ensayo en el suelo ácido y otro en el suelo alcalino. En ambos, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un tamaño óptimo de unidad experimental de 3,20 m x 14 m (Párraga y Chacín, 2000) con cuatro tratamientos: T1 (Testigo), T2 (Estiércol de gallinaza con vapor. EP1), T3 (Estiércol de gallinaza con polienzimas. EP2), T4 (cachaza CA) y tres bloques (repeticiones: B1, B2, B3) y se utilizó como planta índice al cultivo maíz, híbrido PB-8.

La aplicación de los abonos orgánicos fue de 2000 kg/ha, en forma manual al lado del hilo de siembra, dosis recomendadas por las empresas comerciales de los abonos orgánicos a los productores. Las dosis básicas de fertilizantes se establecieron de acuerdo al análisis de suelos previo a la siembra, y utilizando las tablas de doble entrada de fertilización para el cultivo (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA 2005).

En la Tabla 3.3.1, se presentan estas dosis de N, P, K por fuentes de nutrientes y cantidad aplicada. La aplicación se realizó en el momento de la siembra (a inicio de mayo), excepto el nitrógeno que se aplicó 1/3 con la siembra y 2/3 a los 30 días después, se incluyó un testigo con las dosis básicas de NPK, sin los abonos orgánicos.

Tabla 3.3.1. Composición y fuentes de nutrientes aplicados.

<b>Nutrientes</b>	<b>Fuente</b>	<b>Dosis</b>
Nitrógeno	Urea (46% N)	160 kg.ha <sup>-1</sup>
Fósforo	Superfosfato triple (46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	120 kg.ha <sup>-1</sup>
Potasio	Cloruro de potasio (60% K <sub>2</sub> O)	80 kg.ha <sup>-1</sup>
Abonos orgánicos	EP1 (Estiércol de gallinaza vapor) EP2 (Estiércol de gallinaza polienzimas CA (Cachaza)	2000 kg.ha <sup>-1</sup>

### **3.3.2. Obtención de dosis óptimas y económicas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos**

Con la finalidad de obtener dosis de NPK y CA óptima y económicas, que generen una respuesta en el rendimiento se establecieron experimentos en los años 2003 y 2004, mediante un diseño experimental denominado superficie de respuestas de segundo orden "Compuesto Central Rotable", que según Chacín (2000), es el más recomendable cuando se trabaja con experimentos con fertilizantes donde se desea conseguir información de la respuesta de la planta a la aplicación de nutrientes esenciales, estudiando varios factores al mismo tiempo y obteniendo la función de producción óptima entre el rendimiento o, cualquier otra variable respuesta y los factores bajos estudio.

Otra de las ventajas de este diseño es que trabaja con un número menor de tratamientos y solo establece repeticiones para el tratamiento de la dosis central, se incluye un testigo. Así el diseño experimental resulta más económico en cuanto al uso de recursos experimentales, que lo convierte en más práctico además de proporcionar la estimación de las ecuaciones de respuestas.

La teoría del diseño de superficie de respuesta Central Rotable utiliza los siguientes principios para el establecimiento de los tratamientos en el campo (Kuehl, 2001):



1. Número de tratamientos es igual a  $2^K + 2k + 1$ , donde k es el número de factores que se analizan.
2. Valor ( $\alpha$ ) referido a los tratamientos ubicados en los extremos del eje central, para que pueda ser definido como rotatorio o rotable y es igual a  $2^{k/4}$ .
3. Asignación de códigos a los valores reales de los factores que se estudian tomando como referencia el valor de  $\alpha$ .
4. El método de la mayor pendiente, procedimiento desarrollado para determinar la zona de respuesta óptima, que consiste en realizar un gráfico de la ecuación de regresión cuadrática estimada en función de cada uno de los factores permitiendo visualizar la respuesta de la variable en estudio. Si se calcula la derivada en el punto de inflexión de la curva y se iguala a cero, se tiene la dosis óptima; y la dosis económica cuando se iguala con los costos de los fertilizantes del rendimiento para cada factor.

En el año 2003 los experimentos de campo llevados a cabo en el suelo alcalino y ácido y sembrados con maíz, el diseño tenía cuatro factores ( $k = 4$ ), correspondiente a las dosis de fertilizantes combinadas con el abono orgánico seleccionado cachaza (CA): N, P, K, CA, y la variable de respuesta (Y) fue el rendimiento del cultivo. Sustituyendo el valor de k en el punto anterior (punto 1) de la consideración teórica del modelo se obtuvo para este año 25 tratamientos, en tanto que el valor de  $\alpha$  al sustituir en el punto (2), dio como resultado 2.

Lo anterior implica que, los niveles codificados alrededor del tratamiento central eran -2, -1, 0, +1, +2. El tratamiento central, el número 25, se refiere a las dosis recomendadas para el cultivo de maíz por los Laboratorios del INIA con base al análisis del suelo experimental. En el caso del abono orgánico se utilizó la dosis recomendada por la empresa a los agricultores, este tratamiento en el diseño equivale al cero como nivel codificado (Tabla 3.3.2.1).

Tabla 3.3.2.1. Tratamiento central del diseño de superficie de respuestas “Compuesto Central Rotable” con su nivel real y codificado.

Tratamiento central (25)	N (Urea 46% N)	P (Superfosfato triple 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (Cloruro potasio 60% K <sub>2</sub> O)	AO (Cachaza)
Nivel real	160 kg.ha <sup>-1</sup>	120 kg.ha <sup>-1</sup>	80 kg.ha <sup>-1</sup>	2000 kg.ha <sup>-1</sup>
Nivel Codificado	0	0	0	0

El tratamiento No. 25 se repite 6 veces y el diseño incluye un testigo sin fertilizantes (T26), y un tratamiento con las combinaciones formadas por los niveles máximos de cada factor (T27 = +2), lo que hizo un total de 32 parcelas experimentales.

Las combinaciones del resto de los tratamientos se calcularon a partir del nivel codificado de cero, ejemplo para el caso del factor nitrógeno (N) se tiene:

Nivel codificado	-2	-1	0	+1	+2
Nivel real (kg.ha <sup>-1</sup> )	0	80	160	240	320

Lo anterior implica que desde el nivel codificado (0) al nivel (-2) existen 160 kg.ha<sup>-1</sup>, luego el valor del nivel (-2) se corresponde a cero (0) kg.ha<sup>-1</sup>; el nivel (-1) a 80 kg.ha<sup>-1</sup>, el nivel (+1) equivale a 160+80 = 240 kg.ha<sup>-1</sup> y el nivel (+2) a 240 + 80 = 320 kg.ha<sup>-1</sup>.

De igual forma se procedió para el cálculo de los restantes factores estudiados: fósforo (P), potasio (K) y abono orgánico (CA), a partir del tratamiento central. Estas dosis aplicadas por tratamiento se muestran en la Tabla 3.3.2.2.

Tabla 3.3.2.2. Tratamientos aplicados con niveles codificados y reales. Año 2003

Tratamiento No	Niveles Codificados				Niveles Reales			
	N	P	K	CA	N kg.ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg.ha <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O kg.ha <sup>-1</sup>	CA kg.ha <sup>-1</sup>
1	-1	-1	-1	-1	80	60	40	1000
2	-1	-1	-1	1	80	60	40	3000
3	-1	-1	1	-1	80	60	120	1000
4	-1	-1	1	1	80	60	120	3000
5	-1	1	-1	-1	80	180	40	1000
6	-1	1	-1	1	80	180	40	3000
7	-1	1	1	-1	80	180	120	1000
8	-1	1	1	1	80	180	120	3000
9	1	-1	-1	-1	240	60	40	1000
10	1	-1	-1	1	240	60	40	3000
11	1	-1	1	-1	240	60	120	1000
12	1	-1	1	1	240	60	120	3000
13	1	1	-1	-1	240	180	40	1000
14	1	1	-1	1	240	180	40	3000
15	1	1	1	-1	240	180	120	1000
16	1	1	1	1	240	180	120	3000
17	-2	0	0	0	0	120	80	2000
18	2	0	0	0	320	120	80	2000
19	0	-2	0	0	160	0	80	2000
20	0	2	0	0	160	240	80	2000
21	0	0	-2	0	160	120	0	2000
22	0	0	2	0	160	120	160	2000
23	0	0	0	-2	160	120	80	0
24	0	0	0	2	160	120	80	4000
*25	0	0	0	0	160	120	80	2000
26	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0
27	+2	+2	+2	+2	320	240	160	4000

\*Tratamiento central con seis repeticiones

En los ensayos del año 2004 instalados en los mismos suelos del año 2003, y con el cultivo maíz, se estableció de igual forma el diseño de superficie de respuestas descrito anteriormente. En este caso se consideraron solamente

tres factores (k): nitrógeno (N), fósforo (P) y abono orgánico (CA), no se aplicó el potasio porque los contenidos disponibles del elemento fueron altos en las muestras de suelos previas a la siembra.

De acuerdo a la teoría del diseño al aplicar la fórmula  $2^k + 2k + 1$ , para un valor de k igual a 3, se obtienen 15 tratamientos con un valor de  $\alpha$  igual 1,682. El tratamiento (15) fue el central, y para este número de factores el tratamiento central se repite seis veces a la vez que se consideran dos tratamientos adicionales, el testigo sin aplicación de fertilizantes (T16) y uno adicional con las dosis máximas de fertilizantes (T17), esto hizo un total de 22 parcelas experimentales.

El cálculo se llevó igual que para el diseño del año 2003, los niveles en este caso de cada unidad codificada de nitrógeno (N) fue igual a:

Nivel codificado	-1,682	-1	0	+1	+1,682
Nivel real (kg.ha <sup>-1</sup> )	0	65	160	255	320

En este caso desde el nivel codificado cero al nivel 1,682 equivalen a 160 kg.ha<sup>-1</sup>, por tanto la unidad equivale a 95 kg.ha<sup>-1</sup>. Esto quiere decir que del nivel codificado (-1,682) al nivel (-1) se corresponden con 65 kg.ha<sup>-1</sup> equivalente a la diferencia de 160-95 = 65 kg.ha<sup>-1</sup>. El nivel de (+1) es igual a (160+95) = 255 kg.ha<sup>-1</sup> y el nivel (+2) igual a (255+65) = 320 kg.ha<sup>-1</sup>. Igual procedimiento se siguió para el resto de los factores, considerando como las dosis centrales las referidas en la Tabla 4. Los resultados se presentan en la Tabla 3.3.2.3.

Tabla 3.3.2.3. Tratamientos aplicados con niveles codificados y reales. Año 2004.

Tratamiento	Niveles Codificados			Niveles Reales		
	N	P	CA	N kg.ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg.ha <sup>-1</sup>	CA kg.ha <sup>-1</sup>
1	-1	-1	-1	65	41	811
2	-1	-1	1	65	41	3189
3	-1	1	-1	65	160	811
4	-1	1	1	65	160	3189
5	1	-1	-1	255	41	811
6	1	-1	1	255	41	3189
7	1	1	-1	255	160	811
8	1	1	1	255	160	3189
9	-1,682	0	0	0	100	2000
10	1,682	0	0	320	100	2000
11	0	-1,682	0	160	0	2000
12	0	1,682	0	160	200	2000
13	0	0	-1,682	160	100	0
14	0	0	1,682	160	100	4000
*15	0	0	0	160	100	2000
16	-1,682	-1,682	-1,682	0	0	0
17	1,682	1,682	1,682	320	200	4000

\*Tratamiento central con seis repeticiones

### 3.3.3. Manejo agronómico de los experimentos de campo.

En cada uno de los suelos seleccionados, el cultivo maíz se sembró en forma mecánica a una distancia de siembra entre hilera de 0,80 m. Para el control de malezas se utilizó el herbicida sulfonilurea y para la principal plaga que afecta a este cultivo en el estado Yaracuy, gusano cogollero (*spodoptera frugiperda*), (Castillo, 2002); en El Rodeo se utilizó el control biológico con liberaciones de las avispas *Telenomus remus* la cual parásita los huevos del insecto. Mientras que en La Virgen, se utilizó el control químico con insecticida aplicado por el productor.

**3.3.4. Condiciones climáticas durante los ciclos del cultivo maíz**

Para las condiciones climáticas del suelo alcalino, ubicado en el Rodeo, se tomaron los datos de los años 2002 y 2003 de la estación meteorológica de la Estación Local Yaritagua del INIA-Yaracuy, por ser área de influencia del ensayo (Tabla 3.3.4.1).

Tabla 3.3.4.1. Datos diarios por mes y total mensual de precipitación (mm) en los ciclos 2002 y 2003. Suelo alcalino.

Día	Ciclo 2002 (mm)					Ciclo 2003 (mm)				
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.
1	0	0,0	11,4	0,0	1,0	0,0	0,9	2,3	5,5	0,0
2	3	0,0	0,6	0,0	2,8	0,0	16,8	10,4	16,5	0,0
3	0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,3	0,0	8,0	0,0
4	0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	22,0	0,0
5	5,1	1,5	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,4	2,5	0,0
6	0	11,1	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0
7	5,5	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0
8	0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	10,2	0,0
9	0	6,0	0,0	2,9	0,0	1,7	0,3	1,2	5,1	0,0
10	30,7	0,0	0,0	0,0	2,8	5,6	22,1	2,7	31,8	0,0
11	0	0,0	6,6	0,0	17,1	18,4	6,3	1,5	0,0	74,0
12	0	25,5	0,0	3,0	0,0	10,0	0,0	13,6	0,0	6,3
13	0,7	0,0	1,3	2,5	0,0	0,6	37,6	4,3	0,0	0,0
14	6,7	0,0	6,1	7,9	1,5	29,6	10,4	9,2	4,4	0,0
15	0	0,0	10,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0	8,0	1,3	41,7	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
17	9,1	0,7	0,0	2,9	0,0	0,0	0,3	1,4	0,0	0,0
18	0	22,5	0,7	0,4	8,5	0,0	9,9	2,4	0,0	0,0
19	0	27,8	0,0	0,0	0,0	47,3	4,6	0,0	0,0	0,0
20	0	0,0	5,0	5,1	0,0	12,6	1,3	0,0	0,0	39,7
21	19,8	12,4	6,8	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	0,0	0,0
22	48,8	0,9	0,0	38,5	0,0	0,0	3,0	5,7	0,0	0,9
23	8,7	5,0	0,0	0,0	0,0	4,7	33,5	1,2	0,0	0,0
24	3,3	0,0	0,0	3,8	0,0	5,2	1,8	1,2	0,0	25,0
25	0	3,4	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	1,4
26	0	0,0	11,7	0,0	11,6	0,5	0,0	5,1	6,6	0,0
27	0	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0	0,0	0,6	0,0	0,0	42,5	10,0	4,9	6,0	0,3
29	2,9	14,8	10,3	0,0	0,0	14,5	0,7	1,7	13,0	11,4
30	53,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	19,6	6,6	0,0
<b>Total</b>	<b>212,9</b>	<b>148,9</b>	<b>80,8</b>	<b>131,9</b>	<b>54,2</b>	<b>198,3</b>	<b>207,9</b>	<b>112,8</b>	<b>138,2</b>	<b>159,0</b>

En el suelo alcalino, la cantidad de lluvia caída en los dos ciclos fue similar, en los primeros dos meses (mayo, Junio).

Durante el período del ciclo del cultivo, seis meses (mayo a Junio), las condiciones climáticas obtenidas de la Estación Meteorológica Central Matilde

del Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica del Ministerio del Ambiente, correspondiente al área de influencia más cercana a la localidad de La Virgen, los datos de la precipitación ocurrida para los años 2002 y 2003, se presentan en la Tabla 3.3.4.2.

Tabla 3.3.4.2. Datos diarios por mes y total mensual de precipitación (mm) en los ciclos 2002 y 2003. Suelo ácido.

Día	Ciclo 2002 (mm)					Ciclo 2003 (mm)				
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.
1	6,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	21,7	19,8	0,2	0,0
2	6,7	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	5,3	0,4	5,6	0,0
3	0,4	0,3	5,4	0,7	0,0	0,2	0,0	3,8	32,6	0,0
4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,2	0,0
5	1,2	15,2	0,0	30,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1,3	9,3	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,1	7,3	0,0
7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	3,4	0,0
8	4,2	6,2	0,5	0,0	0,0	9,7	0,0	1,3	14,2	3,6
9	49,4	0,0	0,0	0,0	8,2	2,5	7,3	27,7	10,8	0,0
10	0,0	7,2	6,2	0,0	6,5	0,3	0,0	0,0	0,3	21,2
11	0,3	18,2	0,0	0,1	7,4	8,0	49,0	46,0	0,0	9,6
12	0,6	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	28,8	23,3	0,0	0,0
13	2,0	0,0	0,0	9,7	0,0	7,5	28,0	10,6	0,0	1,2
14	16,1	0,5	5,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,5	73,0	30,2	7,9	0,0	0,2	1,5	32,5	0,0	0,0
16	0,6	23,4	0,3	0,0	0,0	15,7	2,2	0,0	0,0	0,0
17	10,2	15,3	0,5	15,6	10,8	0,0	65,6	2,5	0,0	0,0
18	0,0	6,2	0,3	1,0	8,9	2,0	9,3	0,0	0,0	19,3
19	0,0	0,0	7,6	25,0	0,0	17,0	8,0	5,8	20,9	15,2
20	0,0	16,4	0,0	0,2	0,0	0,0	9,6	14,8	0,0	0,2
21	45,6	9,6	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	8,5	1,5	4,5
22	1,2	5,2	0,0	0,5	0,0	1,1	10,4	7,8	0,0	0,0
23	0,2	0,6	0,0	3,0	0,0	2,0	0,0	0,6	0,0	8,2
24	0,0	5,2	0,5	0,0	1,2	0,0	0,7	32,2	0,0	18,2
25	0,0	0,0	6,6	0,0	1,5	0,0	4,5	7,2	1,4	0,0
26	0,0	0,0	0,6	11,3	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3	2,2
27	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0	27,1	8,0	1,1	0,0	11,9
28	0,2	5,2	6,5	0,3	0,0	12,3	0,4	0,0	16,7	10,6
29	21,2	1,1	7,0	0,0	0,0	0,2	9,0	8,4	17,3	0,0
30	9,3	5,4	0,0	20,1	0,0	0,2	0,0	5,5	0,0	5,7
<b>Total</b>	<b>179,7</b>	<b>223,5</b>	<b>86,6</b>	<b>130,4</b>	<b>51,7</b>	<b>109,7</b>	<b>271,7</b>	<b>265,3</b>	<b>132,7</b>	<b>131,7</b>

Las precipitaciones para el suelo ácido ubicado en La Virgen, tuvieron un promedio mayor en el mes de mayo 2002, período de siembra del cultivo, en comparación al 2003 para el mismo período.

### **3.4. Muestreo de campo**

Los muestreos de campo consistieron en tomar muestras de suelos, tejido foliar de las plantas y mazorcas de maíz, en los dos experimentos establecidos y en cada año de estudio (2002, 2003 y 2004).

#### **3.4.1. Suelo**

Para el caso de la evaluación de la fertilidad del suelo, se tomaron muestras en cada experimento antes de la siembra (inicios de mayo), tomando 15 sub- muestras del terreno para formar una muestra compuesta, a la profundidad de 20 cm. Posteriormente y para llevar a cabo el ensayo de mineralización del nitrógeno del abono orgánico, una semana antes de la cosecha (inicios de octubre), se tomaron muestras de suelos de cada una de las unidades experimentales (parcelas). Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético y llevadas al laboratorio para su análisis.

#### **3.4.2. Plantas**

El muestreo de plantas del cultivo maíz se realizó a los 60 días de la siembra (tercera semana de agosto), cuando la mazorca presentó estigmas, cortando la hoja debajo de la mazorca en 10 plantas de cada tratamiento aplicado. Colocadas en bolsas plásticas y llevadas al laboratorio para el posterior análisis químico.

#### **3.4.3. Mazorcas de maíz**

Para la estimación del rendimiento del maíz en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , se tomaron muestras de mazorcas de cada unidad experimental. Cada muestra consistió en un segmento de diez metros de longitud, en el cual se contaron las plantas totales y las útiles, es decir, las que tienen mazorcas comerciales, con longitud útil de granos de 9 cm y perímetro medio mayor de 14 cm. Los contajes de plantas totales y útiles se asentaron en una planilla y se relacionaron con la separación entre hileras, para posteriormente transformar el resultado en población útil en plantas por hectárea.



Este método de acuerdo a Gonzáles, (2001), tiene la ventaja de que su aplicación es muy anticipada a la cosecha (mayor de 45 días) y no requiere el desprendimiento de mazorcas.

### **3.5. TRABAJO DE LABORATORIO**

#### **3.5.1. Análisis físicos y químicos de los suelos.**

Todas las muestras de suelos procedentes de las experiencias de campo fueron secadas al aire y tamizadas con tamiz de 2 mm de diámetro. En las muestras tamizadas se realizaron las determinaciones analíticas de pH, CE, textura, MO, P, K, Ca Mg, Cu, Zn, Fe y Mn, siguiendo los procedimientos descritos en el Manual de procedimientos de muestras de suelos con fines de fertilidad de Brito, *et al.*, (2004), el resumen en la Tabla 3.5.1.

Tabla 3.5.1. Procedimientos analíticos para las variables medidas en los suelos

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medición</b>
pH	Relación suelo:agua 1:2,5	pH-metro Corning 125
Conductividad Eléctrica	Relación suelo:agua 1:5	Conductímetro Meter
Análisis granulométrico	Dispersión con solución de poli fosfato – carbonato de sodio a pH 8,5.	Hidrómetro de Bouyoucos
Fósforo y Potasio	Extraídos con solución Olsen modificada a pH 8,5, en relación suelo: solución - ext. 1:20	Espectrofotómetro UV-Visible Spectronic 20 y espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER 3100
Calcio y Magnesio	Extraídos con solución de Morgan de acetato de sodio a pH 4,5, en relación suelo: solución 1:2.	Espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER 3100
Cobre, Zinc, Hierro, Manganeso	Extraídos con solución de Dietilentetraminpentaacético (DTPA) 0,005 M en relación 1:2. (Norvell y Lindsay, 1978)	Espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER 3100

#### **3.5.2. Análisis químico foliar del cultivo maíz**

Las muestras foliares de maíz traídas del campo se colocaron en estufa a 65 °C durante 24 horas y pasadas por molino WILLIE con tamiz de 40 mallas. Posteriormente se sometieron a digestión húmeda con solución de ácido nítrico – ácido perclórico en relación 2:1 para la extracción de los elementos: P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn (Malavolta, 1997). Posteriormente fueron

cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica (Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn); emisión a la llama (K) usando un espectrofotómetro PERKIN ELMER 3100 y el elemento P por espectrofotometría UV-Visible con SPECTRONIC 20. El nitrógeno se extrajo vía digestión húmeda con ácido sulfúrico y selenio como catalizador, destilado en micro Kjeldahl en solución de ácido bórico usando solución indicadora de azul de metileno y cuantificado posteriormente por titulación con ácido sulfúrico 0,01 M.

### **3.5.3. Estimación del rendimiento del maíz**

A las mazorcas cosechadas en el campo se les determinaron en el laboratorio el número de granos por mazorcas representativas, se promedió el peso del grano obtenido al cual se le determinó la humedad, ajustando el peso del grano al 12%, valor considerado por la agroindustria en Venezuela para la comercialización del maíz.

Finalmente, se calculó el rendimiento estimado de cada parcela multiplicando la población efectiva (plantas/parcela) por el peso promedio de las mazorcas, dividida entre mil, donde se obtuvo la expresión en kg/ha de grano.

El rendimiento se realizó de acuerdo con la fórmula siguiente (González, 2001):

$$\text{Rendimiento estimado (kg.ha}^{-1}\text{)} = \text{No. de Plantas efectiva/parcela} \times \text{Peso mazorca/1000}$$

### **3.5.4. Mineralización del nitrógeno de la cachaza (CA).**

El método se basa en la incubación de muestras de suelo secas y tamizadas, y de suelo seco y tamizado mezclado con el residuo, que no se ha sometido a ningún tratamiento de trituración, en condiciones controladas y la extracción periódica de réplicas para la determinación de las formas minerales de nitrógeno producidas durante ese período.

Para el procedimiento se incubaron en el laboratorio, muestras del suelo ácido y del suelo alcalino con el abono orgánico (CA) en una proporción 10:3. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas con cierre hermético

humedecidas y mantenidas a 75 % de su capacidad de campo con agua desionizada, en estufa a 25 °C (Ribó *et al.*, 2003). Se utilizó un testigo (suelo sin residuo), se fueron sacando las muestras a la 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> y 10<sup>a</sup> semanas, y se realizaron tres repeticiones por muestra de residuo más suelo por cada tipo de suelo, para un total de 60 muestras incubadas.

#### **3.5.4.1. Determinación del nitrógeno mineral**

Para la determinación del nitrógeno mineral contenido en el suelo y en las mezclas de suelo más residuos, se utilizó el procedimiento ya descrito en el punto 4.2, basado en el método Kjeldhal.

#### **3.5.4.2. Determinación del nitrógeno amoniacal y nítrico**

El método que se eligió para el nitrógeno amoniacal y nítrico, fue el de Keeny y Nelson, (1982), este utiliza una solución de KCl 1 M con el fin de solubilizar todas las formas de nitrógeno inorgánico presentes en el suelo. En este caso se pesaron 5 gramos de las muestras incubadas a las cuales se le adicionaron 50 ml de la solución extractante de KCl 1 M, se agitó durante una hora, se filtró el sobrenadante y en éste se determinó el nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>) y por destilación al vapor en presencia de MgO - aleación de Devarda el contenido de las formas N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

#### **3.5.4.3. Determinación de la tasa de mineralización del nitrógeno**

Dado que las mediciones de las distintas formas del nitrógeno en el abono cachaza se realizan en función del tiempo, los datos obtenidos en diferentes períodos de tiempo siguen el comportamiento de un modelo cinético. Existen diversos modelos de los cuales cabe destacar los modelos exponenciales simples (Standford y Smith, 1972) donde el nitrógeno mineralizado se relaciona linealmente con la raíz cuadrada del tiempo, o el modelo que propone una cinética de primer orden mediante un análisis de regresión no lineal por el método de mínimos cuadrados (Smith *et al.*, 1980), el cual es considerado uno de los más empleados. Este modelo sigue una cinética del tipo:  $N_m = N_o (1 - e^{-kt})$ . Donde  $N_m$  es la cantidad de nitrógeno mineralizado en un tiempo dado,  $N_o$  es el nitrógeno potencialmente

mineralizable (mg/kg),  $k$  es la constante de primer orden de mineralización (tiempo<sup>-1</sup>) y  $t$  el tiempo de incubación. El producto  $No \times k$  es el nitrógeno mineralizado por unidad de tiempo.

### **3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

A todos los resultados obtenidos durante los experimentos de laboratorio y de campo, se les determinó el análisis de varianza (ANAVAR), pruebas de medias de Duncan, prueba de normalidad de los resultados Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov, prueba de homogeneidad de la varianza con el estadístico de Levene; análisis de componentes multivariados versión 2.11T, (2004); análisis de correlación y regresión lineal, para lo cual se utilizó el Programa SPSS para Windows versión 7.1, (1997).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo se expone de acuerdo a las experiencias realizadas por años de experimentación. En primer lugar se presentan los estudios de los experimentos llevados a cabo en los años 2002 y 2003 para la elección de los abonos orgánicos y evaluar la influencia que tienen sobre el suelo y las plantas de maíz (estado nutricional y rendimiento); y en segundo lugar los ensayos relativos a la selección de dosis óptimas económicas de abonos orgánicos con fertilización inorgánica (años 2003 y 2004).

### 4.1. ESTUDIOS PRELIMINARES

#### 4.1.1. Variables físicas de los abonos orgánicos

Los resultados de las características físicas de los abonos orgánicos seleccionados se presentan en la Tabla 4.1.1. Se puede observar que la cachaza presenta menor porcentaje de humedad con respecto a los estiércoles de gallinaza, el % de humedad se considera como óptimo alrededor del 15% (Madrid y Castellano, 1998). Pero un valor adecuado puede oscilar entre el 30 y 35% (Costa *et. al.*, 1991), y de acuerdo a la legislación Europea año 2006, el contenido de humedad permitido para este tipo de material es del 14 % expresado en porcentaje de masa.

Tabla 4.1.1 Características físicas de los abonos orgánicos

Variable	Abonos orgánicos		
	Estiércol de gallinaza (EP1)	Estiércol de gallinaza (EP2)	Cachaza (CA)
Humedad (%)	28	22	11
pH	7,3	7,7	7,0
Conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> a 25 °C)	12,0	11,7	4,0

El pH, variable indicadora del desarrollo del proceso de compostaje y usada para determinar el grado de madurez de los materiales orgánicos, fue ligeramente Alcalino para el EP2 con 7,7 mientras que los otros dos

presentaron pH cercanos a la neutralidad entre, 7,0 y 7,3. A este respecto algunos autores han encontrado valores de 7,6 para el estiércol de gallinaza (Pascual, 1996) y de 6,2 y 7,8 para la cachaza (Madrid y Castellano, 1998; Zambrano, 2005). En términos generales un abono orgánico puede considerarse estable en un rango de pH entre 7,0 – 8,0 (Debosz *et. al.*, 2002). Desde este punto de vista los materiales evaluados pueden considerarse como estables.

Con relación a la CE, se observa que los abonos derivados de los estiércoles de gallinaza presentaron los valores mas altos, esto significa mayor contenidos de sales presente en estos materiales posiblemente debido a que su materia prima contienen orines y restos de heces, cuando son comparados con los valores de la cachaza. La CE de una enmienda orgánica al final del proceso de compostaje debe oscilar entre 5 y 8 dS/m (Saviozzi *et. al.*, 1997), sin embargo los valores van a depender del origen del material y del tipo de alimentación sobre todo cuando se trata de los estiércoles de gallinaza (Beloso, 1991). Los valores de CE para los tres abonos orgánicos fueron inferiores al límite máximo de 55 dS.m<sup>-1</sup>, valor máximo señalado por Vendonck y Pennik (1985), en extracto acuoso 1:5 (p/v) como inofensivo para las plantas.

#### **4.1.2. Contenido de carbono orgánico total, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y relación C/N de los abonos orgánicos**

En la tabla 4.1.2, se aprecian los resultados de nitrógeno, carbono orgánico total, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y relación C/N para los tres abonos. Se aprecia que el contenido de nitrógeno fue mayor con EP1, y se encontraron similares valores para EP2 y CA. En cuanto a los estiércoles de gallinaza los resultados de nitrógeno fueron más bajos a los que consiguió Zambrano (2005), 3,38% para este tipo de abono; mientras que con la cachaza los valores conseguidos fueron similares a los obtenidos por Zérega y Adams (1991), alrededor del 1,0%.

Tabla 4.1.2 Características químicas de los abonos orgánicos

Variable	Abonos orgánicos		
	Estiércol gallinaza (EP1)	Estiércol gallinaza (EP2)	Cachaza (CA)
Nitrógeno (%)	2,34	1,17	1,18
Carbono Orgánico total (%) (COT)	19,1	13,4	15,3
Materia Orgánica (%)	26,0	31,2	22,7
Capacidad Intercambio Catiónico (Cmol.kg <sup>-1</sup> )	52	49	29
Relación C/N	8,2	11,5	12,9

Este parámetro (COT), es señalado por la literatura para evaluar la madurez y calidad del abono orgánico, y en ese sentido los valores obtenidos indican que el valor más alto lo obtuvo el estiércol de gallinaza (EP1), con 19,1%, mientras que la cachaza y el estiércol de gallinaza (EP2) obtuvieron valores muy similares (15,3 y 13,4%), sugiriendo que el EP1 presentó mayor madurez respecto a los otros dos. No obstante en estudios como Zérega y Adams (1991) con el abono de la cachaza consiguieron valores del 21,9%.

Por su parte, Rivero y Carracedo (1999) y Añez (1979), obtuvieron valores entre 16,23 y 18,45% para los estiércoles de gallinaza, estos valores son cercanos a los encontrados en este estudio para este tipo de abono.

Comparativamente los valores de materia orgánica de los tres abonos orgánicos fueron superiores al 20%, encontrándose dentro del rango establecido como adecuado por Zucconi y De Bertoldi, (1987), quienes señalan que el contenido de materia orgánica en los compost puede oscilar entre 20 y 45% sobre peso seco, y que esto va a depender de los materiales de partida.

Aunque el contenido de carbono orgánico en las enmiendas juega un papel importante, más que su cantidad, es más significativa su calidad, por tanto para definir la madurez de una enmienda orgánica se utiliza más la relación C/N que el contenido de C ó N por sí sola. La mayor relación C/N la presentó la cachaza, seguido de EP2 y la menor relación la obtuvo EP1, diferentes autores señalan una relación C/N menor <20 como característica de

materiales orgánicos maduros y estables (Mathur *et al.*, 1993 y Soto y Muñoz, 2002), de este modo los tres abonos pueden ser considerados como estables.

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, es un parámetro que suministra información sobre la concentración de nutrientes y su disponibilidad de ser absorbidos por las plantas, en este caso los valores fueron mayores para los estiércoles EP1 y EP2 (52 y 49  $\text{Cmol.kg}^{-1}$  respectivamente), que para la cachaza (29  $\text{Cmol.kg}^{-1}$ ); este último fue similar al encontrado por Zambrano, (2005). Este comportamiento puede estar asociado con el mayor contenido de materia orgánica en los estiércoles de aves, y en ese sentido los estiércoles se encontraron dentro de los rangos aceptables (50-60  $\text{Cmol.kg}^{-1}$ ) de acuerdo a Lax, *et al.*, (1986).

#### **4.1.3. Contenido de macronutrientes y micronutrientes en los abonos orgánicos**

La importancia de la determinación de nutrientes en abonos orgánicos, radica en conocer las insuficiencias, suficiencias ó excesos en que se encuentran para conocer el aporte que puedan hacer al suelo, (Ciavata, *et al.*, 2001) y que a través de la incorporación de materia orgánica se incremente la CIC y la cantidad de nutrientes al suelo. Los contenidos de macronutrientes: fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), calcio ( $\text{CaO}$ ), magnesio ( $\text{MgO}$ ) y sodio ( $\text{Na}$ ) de los tres abonos orgánicos se observan en la Tabla 4.1.3.1.

Las concentraciones de los elementos encontrados para los tres abonos orgánicos, son de la misma magnitud en todos, exceptuando para el sodio, que en el caso de la cachaza es bastante más bajo que para los estiércoles de gallinaza (EP1 y EP2). Zambrano (2005), consiguió valores de fósforo muy por debajo para el estiércol de gallinaza (1,83%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), a los encontrados en este estudio, por el contrario los valores de potasio, calcio y magnesio fueron muchos más altos (6,83%  $\text{K}_2\text{O}$ , 11,70%  $\text{CaO}$  y 6,02%  $\text{MgO}$ ).



Tabla 4.1.3.1. Contenidos de macroelementos de los abonos orgánicos

Variable	Abonos orgánicos		
	Estiércol gallinaza (EP1)	Estiércol gallinaza (EP2)	Cachaza (CA)
Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	5,2	5,6	5,2
Potasio - K <sub>2</sub> O (%)	3,4	3,0	3,2
Calcio - CaO (%)	3,8	4,1	3,5
Magnesio - MgO (%)	0,95	0,90	0,85
Sodio – (Na) (%)	0,70	0,57	0,13

En el caso de la cachaza los resultados obtenidos fueron similares a los que consiguió Escalona (2002), es decir, 4,02% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 3,60% en K<sub>2</sub>O; 5,80% en CaO y 1,10% MgO. De igual forma Madrid y Castellano (1998) consiguieron un porcentaje de fósforo total en cachaza muy cercano al conseguido en este estudio 4,01%.

La legislación Europea (2006), establece como contenidos de CaO, MgO y Na<sub>2</sub>O el 2% para los dos primeros y 3% para el sodio, aún cuando los valores obtenidos en este estudio son inferiores, los contenidos de sodio presentes en los estiércoles determinan la necesidad de una evaluación posterior a su aplicación para determinar una posible contaminación potencial en los suelos agrícolas al usar este tipo de abono.

En el caso del contenido de sodio, los estiércoles (EP1 y EP2) presentaron los mayores valores, el cual puede ser reflejado en los valores altos de conductividad eléctrica discutida con anterioridad y que puede manifestarse como problemas fitotóxicos (Pascual, 1997). Tendencias similares en estos resultados encontró Zambrano (2005) para los estiércoles (0,66% Na) y para la cachaza (0,10% Na).

Los contenidos de los microelementos en los abonos orgánicos se presentan en la Tabla 4.1.3.2. Desde el punto de vista agrícola, el uso de materiales orgánicos puede estar limitado por las concentraciones de estos

elementos presentes en ellos, ya que por encima de determinados niveles pueden resultar tóxicos para las plantas.

Tabla 4.1.3.2. Contenido de microelementos en los abonos orgánicos.

Elementos	Abonos orgánicos		
	Estiércol gallinaza (EP1)	Estiércol gallinaza (EP2)	Cachaza (CA)
Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	35,8	30,2	4,31
Zinc (mg.kg <sup>-1</sup> )	48,7	44,2	18,9
Hierro (mg.kg <sup>-1</sup> )	62,9	47,3	24,0
Manganeso (mg.kg <sup>-1</sup> )	24,5	19,2	21,9

Las concentraciones de cobre y zinc, fueron más altas en los abonos de origen animal, EP1 y EP2, con respecto a la cachaza, esto puede estar relacionado a la alimentación del animal, que generalmente le adicionan cobre y zinc utilizados como factores de crecimiento, y que son eliminados fundamentalmente en las heces (Mercedes, 2001), lo que hace que los valores encontrados sean muy superiores en comparación a los abonos orgánicos de origen vegetal.

El hierro fue el elemento más abundante en las enmiendas orgánicas, este resultado es coincidente con el encontrado por Zambrano (2005) en su trabajo de caracterización de diferentes enmiendas orgánicas.

#### **4.1.4. Fraccionamiento de las sustancias húmicas**

En la Tabla 4.1.4 se presentan los resultados del fraccionamiento de la materia orgánica de los abonos estudiados, de acuerdo al método propuesto por Ciavata *et al.*, (1990), donde se evaluaron los porcentajes de carbono total (COT), carbono total extraíble (COE) y el carbono de los ácidos húmicos (C<sub>AH</sub>), ácidos fúlvicos (C<sub>AF</sub>) y sustancias no húmicas (C<sub>SNH</sub>), así como el índice de humificación (IH) y grado de humificación (GH).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que el contenido de carbono de los ácidos húmicos y fúlvicos es mayor para EP2, seguido por EP1 y menor para la CA, mientras que el menor porcentaje de sustancias no húmicas lo obtuvo este último.

La variable IH es considerada como el índice del grado de humificación de los materiales orgánicos. Sequi *et al.* (1986) señalan valores alrededor de 0,32 para materiales ya maduros, en este sentido la CA resulta ser una enmienda orgánica más estable en comparación a los estiércoles cuyos valores están por encima de 1.

Tabla 4.1.4. Carbono orgánico total (COT), carbono orgánico extraíble (COE) y parámetros de humificación de los abonos orgánicos

<b>Abono Orgánico</b>	<b>%COT</b>	<b>%COE</b>	<b>%C<sub>AH</sub></b>	<b>%C<sub>AF</sub></b>	<b>%C<sub>SNH</sub></b>	<b>IH</b>	<b>GH</b>
	13,71	2,12	0,88	0,31	0,40	0,34	56,1
<b>Cachaza (CA)</b>	15,66	1,99	0,78	0,36	0,36	0,31	57,0
	16,46	1,99	0,83	0,31	0,45	0,39	57,3
<b>Valor medio</b>	<b>15,28</b>	<b>2,03</b>	<b>0,83</b>	<b>0,33</b>	<b>0,40</b>	<b>0,35</b>	<b>56,8</b>
	18,40	9,00	1,48	0,45	2,48	1,29	21,4
<b>Estiércol de gallinaza (EP1)</b>	17,70	9,00	1,54	0,36	2,48	1,31	21,0
	21,16	8,29	1,48	0,49	2,33	1,18	23,8
<b>Valor medio</b>	<b>19,09</b>	<b>8,77</b>	<b>1,50</b>	<b>0,43</b>	<b>2,43</b>	<b>1,26</b>	<b>22,1</b>
	17,12	8,29	1,25	0,49	2,05	1,18	21,0
<b>Estiércol de gallinaza (EP2)</b>	19,21	8,52	1,14	0,59	2,26	1,31	20,2
	20,10	7,84	1,14	0,54	2,05	1,22	21,4
<b>Valor medio</b>	<b>18,81</b>	<b>8,22</b>	<b>1,18</b>	<b>0,54</b>	<b>2,12</b>	<b>1,23</b>	<b>20,9</b>

Ciavata *et al.* (2001) señalan que el GH se incrementa en la medida que la enmienda se estabiliza, considerando un material orgánico maduro aquel cuyo valor esté por encima del 70%. A este respecto, se aprecia que la mayor concentración de ácidos húmicos fue para los estiércoles de gallinaza con moderada concentración de ácidos fúlvicos y una elevada concentración de sustancias no húmicas, esto determina un GH alrededor de 21-22%, indicativo

de que el proceso de maduración puede no estar concluido, mientras que la cachaza, quien presenta niveles similares de  $\%C_{AH}$ ,  $\%C_{AF}$  y  $\%C_{SNH}$ , obtiene un GH de 56,8%, lo que significa una mayor madurez o estabilización que los estiércoles de gallinaza.

Acorde con los resultados se tiene que la cachaza presenta menor porcentaje de humedad con respecto a los estiércoles de gallinaza. Los valores altos de pH de los estiércoles pueden llevar a problemas de alcalinidad sobre todo en suelos de pH entre 6,0 y 7,5. De igual forma, la presencia de sodio mayor en los estiércoles de gallinaza determina que el abono de la cachaza es una enmienda orgánica potencialmente menos contaminante en comparación a las otras dos, además de presentar mayor homogeneidad en las características evaluadas. Otra ventaja que favorece la utilización del abono orgánico industrial cachaza (CA) fue que presentó un mayor grado de humificación (GH), lo que determina un mayor grado de estabilidad en su materia orgánica.

### 4.1.5. Caracterización físico química de los suelos

En la siguiente Tabla 4.1.5 se ilustran los resultados de las características físicas y químicas de los suelos para los años 2002 y 2003. Estos fueron tomados en cuenta para el establecimiento de las dosis básicas de fertilizantes inorgánicas N, P y K con la ayuda de las tablas de doble entrada de fertilización para cereales en el estado Yaracuy (Carrero *et. al.*, 1986).

Se observa que, el pH del suelo Alcalino entre el año 2002 y el siguiente presentó una ligera disminución en su valor, mientras que en el caso de los valores de pH en el suelo ácido, se encontró un ligero aumento de un año a otro.

De acuerdo a los valores considerados como adecuados y según la clase textural de estos suelos (franco Arenoso), los contenidos de materia orgánica en ambos suelos y en los dos años fueron bajos.

Las concentraciones de fósforo en el suelo Alcalino fueron medias en el primer año y bajas en el año 2003. En cuanto al suelo ácido, los valores de

fósforo estuvieron por debajo de los valores adecuados en los dos años de estudio.

Tabla 4.1.5. Características físicas y químicas de los suelos.

Características/año	Suelo alcalino		Suelo ácido		Valores Adecuados
	2002	2003	2002	2003	
pH	7,6	7,3	4,8	5,0	-
% arena	53,1	58,4	64,4	66,4	-
% limo	32,5	27,2	27,2	21,2	-
% Arcilla	14,4	14,4	8,4	12,4	-
CE (dS.m <sup>-1</sup> a 25 °C)	0,07	0,11	0,06	0,06	< 0,75*
Materia Orgánica (%)	1,27	0,90	0,78	0,95	2,00 - 4,00*
Fósforo (ppm)	15	10	4	10	13 – 25*
Potasio (ppm)	120	76	99	80	51 – 100*
Calcio (ppm)	710	628	120	180	200 – 400*
Magnesio (ppm)	142	110	15	20	100 – 150*
Zinc (ppm)	1,20	0,80	0,52	0,60	1,6 - 3,0**
Cobre (ppm)	0,78	0,40	0,74	0,91	0,9 -1,5**
Manganeso (ppm)	8	12	45	44	9 – 24***
Hierro (ppm)	4	18	19	25	12 – 24 ***

\*Fuente Brito *et al.*, (2004), \*\*Arrieché y Ramírez (1997), \*\*\* Rodrigo (1998)

Por su parte el elemento potasio varió de alto a medio de un año a otro en el suelo Alcalino y en el suelo ácido mantuvo sus niveles medios en ambos años.

Los contenidos de calcio fueron altos en el suelo Alcalino y por debajo de los valores adecuados en el suelo ácido en los dos años.

Estos dos suelos no presentaron problemas de salinidad, reflejados en sus valores obtenidos en conductividad eléctrica.

Las concentraciones de los microelementos para suelos cultivados con maíz, se consideraron bajos para el zinc y cobre en ambos suelos, mientras que los niveles de manganeso y hierro resultaron altos en el suelo ácido y

bajos en el suelo Alcalino, lo cual se explica por la condición de acidez en el primero con respecto al segundo, donde estos microelementos aumentan su solubilidad (López, 1998).

#### **4.1.6. Efecto de la aplicación de los abonos orgánicos sobre los suelos en la experimentación de los años 2002-2003.**

Todos los resultados obtenidos para las variables medidas: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro y manganeso, en los suelos bajo estudio después de la aplicación de los tratamientos (testigo, EP1, EP2 y CA), y durante el ciclo del cultivo de maíz 2002 y 2003, se señalan en las tablas AP1.1 (suelo alcalino) y AP1.2 (suelo ácido) del apéndice 1. A estos resultados se les realizó un análisis de componentes multivariados (Rolhf F. 2004), con la finalidad de observar si los abonos orgánicos presentaron comportamientos diferentes con las distintas variables medidas en los suelo.

##### **4.1.6.1. Suelo alcalino.**

Las pruebas de normalidad de los resultados obtenidos para este suelo durante los ciclos 2002 y 2003 del cultivo maíz se indica en la tabla 4.1.6.1.

En esta tabla se aprecia que los datos de las variables medidas siguieron una distribución normal, excepto para el cobre en el ciclo del cultivo 2002, y de acuerdo a las pruebas estadísticas de Kolmogorov – Simornov y Shapiro y Wilk, cuyos valores deben ser mayores que 0,05 para el cumplimiento normal de distribución.

Tabla 4.1.6.1. Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el suelo alcalino. Ciclos 2002 - 2003.

Variable	Media	Mediana	Varian.	Desv.	% CV	Min	Max	Ks	Sw
<b>Ciclo 2002</b>									
<b>pH</b>	7,8	7,8	0,0	0,2	2,0	7,5	8,1	0,20	0,51
<b>MO (%)</b>	1,4	1,4	0,1	0,3	13,5	1,0	2,0	0,20	0,90
<b>CE (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	0,1	0,1	0,0	0,0	22,5	0,1	0,1	0,20	0,27
<b>P (ppm)</b>	29,2	28,5	152	12,3	20,2	12	52	0,20	0,81
<b>K (ppm)</b>	278,8	282,0	1605	40,1	9,1	200	330	0,19	0,38
<b>Ca (ppm)</b>	946,0	776,0	156359	395,4	21,2	578	1830	0,14	0,20
<b>Mg (ppm)</b>	131,7	135,0	1015	31,9	23,6	80	170	0,20	0,60
<b>Zn (ppm)</b>	1,2	1,2	0,1	0,2	27,2	0,9	1,7	0,20	0,42
<b>Cu (ppm)</b>	0,8	0,8	0,0	0,1	10,2	0,5	0,9	0,03	0,08*
<b>Fe (ppm)</b>	3,5	3,5	0,1	0,4	8,6	2,9	4,0	0,20	0,46
<b>Mn (ppm)</b>	8,9	8,7	3,0	1,7	23,3	5,9	11,8	0,20	0,99
<b>Ciclo 2003</b>									
<b>pH</b>	7,32	7,30	0,04	0,21	2,22	7,0	7,70	0,20	0,69
<b>MO (%)</b>	1,31	1,30	0,02	0,15	9,05	1,1	1,55	0,20	0,42
<b>CE (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	0,06	0,06	0,0001	0,011	17,35	0,04	0,08	0,20	0,56
<b>P (ppm)</b>	19,25	19,5	21,7	4,65	18,33	0,08	27	0,20	0,67
<b>K (ppm)</b>	146,67	151,0	314,4	17,73	7,84	112	172	0,20	0,44
<b>Ca (ppm)</b>	817	825,0	33507,1	183,05	15,13	528	1100	0,20	0,80
<b>Mg (ppm)</b>	27,92	27,0	31,0	5,57	19,30	20	39	0,20	0,68
<b>Zn (ppm)</b>	1,06	1,07	0,03	0,17	10,36	0,83	1,34	0,20	0,61
<b>Cu (ppm)</b>	0,79	0,78	0,008	0,089	13,76	1,34	0,95	0,20	0,46
<b>Fe (ppm)</b>	28,85	29,22	0,73	2,96	11,50	23	33	0,20	0,71
<b>Mn (ppm)</b>	12,13	11,83	5,16	2,27	16,22	9,24	15,4	0,17	0,14

\*Variable sin distribución normal de los datos. Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

### **pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO)**

Los resultados del análisis de la varianza de pH, CE y MO y por tratamiento y bloque para cada ciclo del cultivo se presentan en la tabla 4.1.6.1a.

Tabla 4.1.6.1a. Resultados del análisis de la varianza para pH, CE y MO por tratamiento y bloque en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>pH</b>									
2002 NS	7,6b	7,7ab	7,9ab	8,0a	7,8	7,8a	7,8a	7,9a	NS
2003 *	7,1b	7,2ab	7,5a	7,5a	7,3	7,4a	7,3a	7,3a	NS
Media NS	7,37a	7,48a	7,67a	7,71a	7,56***				
<b>CE (ds.m<sup>-1</sup>)</b>									
2002 NS	0,06a	0,06a	0,07a	0,08a	0,06	0,07a	0,06a	0,07a	NS
2003 *	0,05a	0,06a	0,06a	0,07a	0,06	0,06a	0,06a	0,06a	NS
Media NS	0,06a	0,06a	0,07a	0,08a	0,06NS				
<b>MO (%)</b>									
2002 NS	1,27a	1,32a	1,42a	1,53a	1,39	1,38ab	1,23b	1,55a	NS
2003 *	1,15a	1,30a	1,33a	1,47a	1,31	1,34a	1,35a	1,25a	NS
Media NS	1,20a	1,30a	1,38a	1,50a	1,34NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS:No significativo.

Se aprecia que el pH del suelo se elevó ligeramente con la incorporación del material orgánico, siendo estadísticamente significativo en el ciclo 2003, resultados similares obtuvieron Hernández, *et. al.*, (2007), a los 60 y 120 días del cultivo, cuando utilizaron cachaza como fertilización orgánica en suelos alcalinos cultivados con caña de azúcar.

Al comparar entre ciclos se consiguió una media anual estadística altamente significativa, esto significó que el promedio anual en el suelo del ciclo 2003, obtuvo una disminución del pH en comparación al ciclo del cultivo 2002.

Por su parte la conductividad eléctrica no presentó cambios significativos lo que indica muy poca modificación en el contenido de sales en el suelo durante el ciclo del cultivo maíz, en los dos años de experimentación.



La materia orgánica presentó ligeros incrementos con el aporte de los tratamientos orgánicos, pero estadísticamente no fueron significativos tanto en el análisis individual de cada ciclo como entre ellos, esta no significancia, hace suponer que la dosis establecida fue insuficiente para poder observar una respuesta en relación al testigo. En el ciclo 2002 se registraron diferencias significativas en los valores de MO entre bloques, debido a que en la bloque 3 se obtuvo un mayor incremento en los contenidos de MO con la aplicación de cachaza (Figura 4).

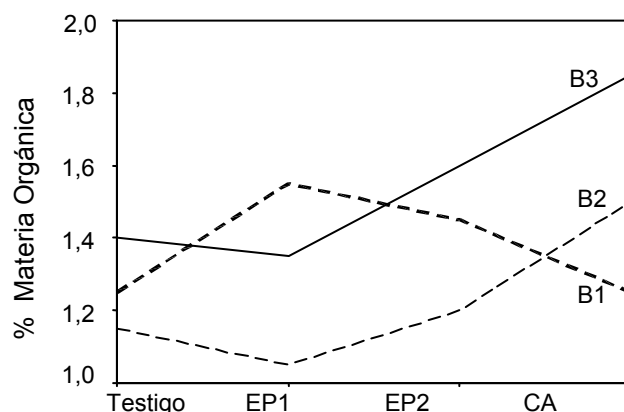


Figura 4. Contenido de materia orgánica por tratamiento y bloque para el suelo alcalino. Ciclo 2002

### **Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)**

El tratamiento estadístico de los datos de los macronutrientes (P, K, Ca, Mg) del suelo alcalino por tratamiento, bloque por cada ciclo y entre ellos se indican en la tabla 4.1.6.1b.

Tabla 4.1.6.1b. Resultados del análisis de la varianza para P, K, Ca, Mg por tratamiento y bloque, en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Fósforo (ppm)</b>									
2002 **	15b	24b	40a	37a	29	30a	25a	32a	NS
2003 *	13b	21a	20a	23a	19	19a	19a	19a	NS
Media ***	14b	22b	30a	30a	24*				
<b>Potasio (ppm)</b>									
2002 NS	294a	277a	290a	254a	279	244b	275ab	318a	NS
2003 *	124b	144a	156a	163a	147	144a	150a	147a	NS
Media NS	209a	211a	223a	208a	213**				
<b>Calcio (ppm)</b>									
2002 NS	710a	869a	1331a	1240a	1038	952a	850a	1312a	NS
2003 NS	622c	737bc	924ab	985a	817	874a	726a	813a	NS
Media NS	666b	803b	1128a	1113a	927NS				
<b>Magnesio (ppm)</b>									
2002 NS	103a	143a	160a	120a	132	125a	130a	141a	NS
2003 NS	25a	24a	29a	33a	28	28a	28a	28a	NS
Media NS	64a	84a	95a	77a	80***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).  
 \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%,  
 \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

Se observa en la tabla anterior, aumento en la concentración de fósforo en todos los tratamientos donde fueron aplicados los abonos orgánicos, siendo estadísticamente significativos en relación al testigo con los abonos compostados con polienzimas en el ciclo del cultivo 2002, y con todos ellos en el ciclo 2003. Cuando se comparan con los tratamientos por año, el contenido de fósforo fue mayor y significativo al 5% en el año 2002 con respecto al 2003. Esto puede estar asociado a la liberación de fósforo disponible cuando se incorporan materiales orgánicos al suelo (Erich *et. al.*, 2002), y en particular a

que el uso de polienzimas en la preparación del compost tiende a mejorar la solubilidad del elemento (Madrid y Castellano, 1998).

Con relación al potasio, sus contenidos siempre fueron altos en todos los tratamientos, no existiendo significación estadística entre tratamiento por año, tampoco para el ciclo 2002. Cuando se comparó la media anual, se evidenció una disminución del elemento para el ciclo 2003, la cual fue estadísticamente significativa.

Por otro lado en el ciclo del cultivo 2002, hubo diferencias entre los bloques (bloques) no significativas, pero en forma parecida a lo que ocurrió en la materia orgánica, se debió al alto contenido del elemento en la bloque 3, con el abono orgánico de la cachaza. (Figura 5).

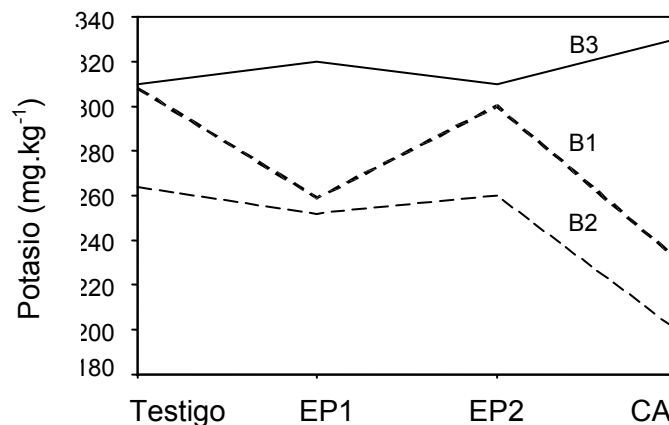


Figura 5. Contenido de K por tratamiento y bloque en el suelo alcalino. Ciclo 2002.

Los contenidos de los nutrientes calcio y magnesio se incrementaron con la incorporación de los abonos orgánicos al suelo, sin embargo no fue significativo con ningún tratamiento en los ciclos, ni de un ciclo al siguiente.

Por otra parte la media anual, del magnesio fue estadísticamente significativa, con una disminución en su contenido en el año 2003 en comparación al año 2002, pasando inclusive a la clasificación de niveles bajos, esto supone que la disminución del pH del suelo en ese año afectó la concentración del elemento.

Estos resultados pueden estar asociados con la degradación que están presentando el suelo desde un punto de vista químico reflejada en la variabilidad del pH conseguida en el terreno de un año a otro, y a los valores bajos del contenido de materia orgánica.

### **Zinc (Zn), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Hierro (Fe)**

El análisis de varianza correspondiente al comportamiento de los microelementos Zn, Cu, Mn, y Fe, después los tratamientos aplicados al suelo alcalino, se reflejan en la Tabla 4.1.6.1c.

Se observa en la tabla que el elemento zinc, obtuvo respuesta estadísticamente significativa con la cachaza para el ciclo 2003, y aún cuando no hubo significancia en el año 2002, incrementó su contenido con todos los abonos orgánicos al comparar con el testigo. La aportación por tratamiento por año fue no significativa al igual que la media general por año.

Con el micronutriente cobre, los datos del ciclo del 2002 no siguieron una distribución normal, y para el ciclo del cultivo del 2003 no se obtuvieron respuesta estadísticamente significativas, cuando se aplicaron los abonos orgánicos.

En lo que respecta a los contenidos de manganeso, no se presentaron variaciones al aplicar los abonos que fueran estadísticamente significativos en cada ciclo y en los tratamientos por ciclo, sin embargo hubo un aumento en el contenido de manganeso anual que fue estadísticamente significativo para el año 2003, probablemente relacionado en la disminución del pH en este período.

Tabla 4.1.6.1c. Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, por tratamiento y bloque, en el suelo alcalino. Ciclos 2002-2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Zinc (ppm)</b>									
2002 NS	0,99a	1,25a	1,36a	1,35a	1,24	1,22a	1,35a	1,15a	NS
2003 *	0,93b	0,95b	1,08ab	1,26a	1,03	1,05a	1,12a	0,99a	NS
Media NS	0,96b	1,09a	1,22a	1,30a	1,15NS				
<b>Cobre (ppm)</b>									
2002 NS	0,64b	0,80a	0,81a	0,74a	0,76	0,79a	0,73a	0,76a	NS
2003 NS	0,74a	0,82a	0,78a	0,82a	0,79	0,77a	0,79a	0,81a	NS
Media NS	0,69b	0,81a	0,80a	0,80a	0,76NS				
<b>Manganeso (ppm)</b>									
2002 NS	8a	9a	9a	10a	9NS	9a	9a	9a	NS
2003 NS	10a	13a	12a	14a	12NS	13a	13a	11a	NS
Media NS	9a	11a	10a	12a	11**				
<b>Hierro (ppm)</b>									
2002 NS	3,1b	3,6ab	3,9a	3,4ab	3,5	3,6a	3,4a	3,6a	NS
2003 NS	27a	28a	30a	30a	29	29a	28a	29a	NS
Media **	15a	16a	17a	17a	16***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).  
 \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%-

El hierro por su parte, siguió el mismo comportamiento que el Mn, destacándose los valores más altos en su concentración durante el ciclo del cultivo 2003 al compararse con el ciclo 2002, esto puede deberse a la disminución del pH del suelo lo que tiende a aumentar la disponibilidad del elemento (Fassbender, 1980).

**4.1.6.2. Suelo ácido**

En la tabla 4.1.6.2., se presentan los parámetros estadísticos de los datos obtenidos para el estudio de la normalidad de este suelo.

Tabla 4.1.6.2. Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el suelo ácido. Años 2002 y 2003

Variable	Media	Mediana	Varianza	Desv.	% CV	Min	Max	Ks	Sw
<b>2002</b>									
<b>pH</b>	5,01	5,00	0,02	0,15	0,58	4,70	5,20	0,09	0,35
<b>MO (%)</b>	1,30	1,25	0,02	0,15	5,97	1,10	1,55	0,11	0,38
<b>CE (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	0,05	0,05	0,00	0,01	27,37	0,03	0,08	0,01	0,04*
<b>P (ppm)</b>	13,08	12,50	6,08	2,47	15,55	10,00	18	0,20	0,46
<b>K (ppm)</b>	90,67	94,00	178,42	13,36	13,70	64,00	108	0,20	0,55
<b>Ca (ppm)</b>	126,08	129,00	660,45	25,70	13,67	80,00	162	0,20	0,50
<b>Mg (ppm)</b>	20,67	21,00	21,33	4,62	16,61	13,00	29	0,20	0,75
<b>Zn (ppm)</b>	0,59	0,60	0,01	0,10	17,36	0,40	0,82	0,20	0,35
<b>Cu (ppm)</b>	0,63	0,65	0,01	0,10	12,29	0,44	0,74	0,15	0,35
<b>Fe (ppm)</b>	34,48	35,10	47,29	6,87	18,32	25,00	45,4	0,20	0,48
<b>Mn (ppm)</b>	44,34	43,60	12,98	3,60	7,72	39,40	50,3	0,20	0,49
<b>2003</b>									
<b>pH</b>	4,62	4,55	0,0548	0,23	5,25	4,3	4,1	0,16	0,23
<b>MO (%)</b>	0,90	0,88	0,02	0,15	13,92	0,75	1,2	0,20	0,19
<b>CE (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	0,05	0,05	0,0002	0,014	35,77	0,03	0,07	0,15	0,10
<b>P (ppm)</b>	11,50	12,50	19,9	4,46	17,93	5,00	18	0,15	0,31
<b>K (ppm)</b>	97,33	97,00	268,4	16,39	15,70	76,00	132	0,20	0,55
<b>Ca (ppm)</b>	73,67	74,00	297,0	17,23	14,30	43,00	403	0,20	0,99
<b>Mg (ppm)</b>	13,00	13,00	8,5	2,92	21,03	8,00	18	0,20	0,92
<b>Zn (ppm)</b>	0,77	0,60	0,31	0,56	15,32	0,18	1,7	0,20	0,05*
<b>Cu (ppm)</b>	0,72	0,72	0,006	0,075	10,79	0,61	0,85	0,20	0,76
<b>Fe (ppm)</b>	113,44	108,40	754,90	27,48	16,79	71,00	154	0,20	0,41
<b>Mn (ppm)</b>	16,72	16,17	20,78	0,46	18,97	9,46	23	0,20	0,43

\* Variable sin distribución normal de los datos. Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

Las variables que no tuvieron una distribución normal fueron la conductividad eléctrica en el año 2002 y el contenido de zinc en el año 2003.

**pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO)**

Los resultados para el análisis de varianza para las variables pH, CE y MO por tratamiento y bloque para cada ciclo y entre los ciclos se presentan en la Tabla 4.1.6.2a.

Tabla 4.1.6.2a. Resultados del análisis de la varianza para pH, CE y MO, por tratamiento y bloque en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>pH</b>									
2002 *	4,8b	5,1a	5,0a	5,1a	5,01	5,1a	4,9a	5,0a	NS
2003 NS	4,5a	4,6a	4,7a	4,7a	4,63	4,5a	4,6a	4,8a	NS
Media NS	4,65a	4,87a	4,87a	4,89a	4,82**				
<b>Conductividad eléctrica (ds.m<sup>-1</sup>)</b>									
2002 NS	0,06a	0,04a	0,04a	0,05a	0,05	0,05a	0,05a	0,05a	NS
2003 NS	0,06a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05	0,05a	0,05a	0,05a	NS
Media NS	0,06a	0,04a	0,05a	0,05a	0,05NS				
<b>Materia Orgánica (%)</b>									
2002 **	1,15b	1,20b	1,47a	1,37a	1,30	1,31a	1,02a	1,20a	NS
2003 NS	0,93a	0,83a	0,88a	0,97a	0,90	0,84b	0,84b	1,04a	NS
Media NS	1,04a	1,02a	1,20a	1,17a	1,10***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).  
 \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%.  
 \* Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

Se observa que en el pH hubo pequeños incrementos con todos los abonos orgánicos, siendo estadísticamente significativos en el primer ciclo. Los valores no significativos y más bajos de pH obtenidos en el año 2003 estuvieron inducidos por el período seco presentado en este año, lo que supone que hubo menor interacción entre abono orgánico y las formas ácidas presentes en el suelo. Se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa por año con un descenso en el pH para el ciclo 2003, confirmando la suposición anterior.

En cuanto a la conductividad eléctrica, al igual que en el caso del suelo alcalino, no reflejaron ninguna diferencia con los abonos orgánicos.

La materia orgánica por su parte, se incrementó con los tratamientos de los abonos orgánicos, y fueron mayores y significativos con aquellos compostados con polienzimas, es decir, EP2 y CA en el año 2002, igualmente entre ciclo el contenido de MO fue significativamente mayor en este mismo año, en relación al 2003.

En el siguiente ciclo, el porcentaje de MO se incrementa con la cachaza, pero además de no ser estadísticamente significativo hubo diferencias entre bloques (Figura 6). Este comportamiento estuvo influenciado por un mayor contenido de MO en la bloque 3, posiblemente debido a la variabilidad presentada en los contenidos iniciales en materia orgánica de los suelos.

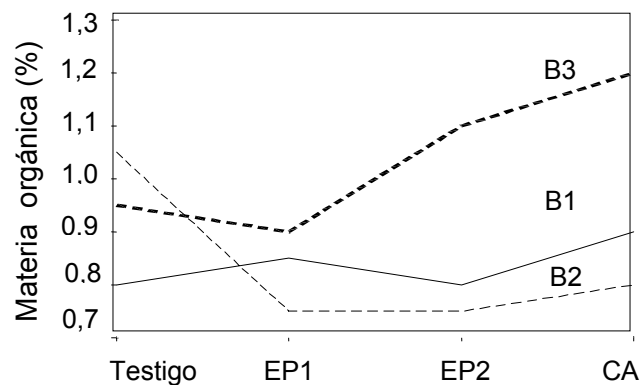


Figura 6. %MO por tratamiento y bloque en el suelo ácido. Ciclo 2003

**Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).**

En la Tabla 4.1.6.2b, se observan la influencia de los abonos orgánicos sobre los contenidos de los nutrientes P, K, Ca y Mg aplicados sobre el suelo ácido.



Tabla 4.1.6.2b. Resultados del análisis de la varianza para P, K, Ca, Mg, por tratamiento y bloque, en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Fósforo (ppm)</b>									
2002 NS	11b	12ab	14ab	15a	13	14a	13a	13a	NS
2003 **	11b	5c	14ab	15a	11	13a	10a	12a	NS
Media **	11b	9b	14a	15a	12NS				
<b>Potasio (ppm)</b>									
2002 NS	99a	97a	87a	80a	91	98a	87a	87a	NS
2003 NS	84b	96ab	95ab	114a	98	98a	93a	102a	NS
Media NS	91a	97a	91a	97a	94NS				
<b>Calcio (ppm)</b>									
2002 NS	100b	140a	115ab	149a	126	138a	124a	117a	NS
2003 NS	55b	66b	86a	88a	74	72a	70a	70a	NS
Media **	77a	103a	101a	118a	100***				
<b>Magnesio (ppm)</b>									
2002 NS	18a	20a	24a	20a	21	19b	19b	25a	NS
2003 NS	12a	12ab	12a	16a	13	12a	14a	13a	NS
Media NS	15a	16a	18a	18a	17***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).  
 \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%.  
 NS: No significativo.

El contenido de fósforo en este suelo se elevó con todos los tratamientos y fue estadísticamente significativo en el 2003, al igual que entre los tratamientos por cada ciclo, con un mayor comportamiento en el abono orgánico CA. En cuanto al promedio global por año no hubo un aporte significativo de este elemento al suelo por parte de los abonos.

Con relación al elemento potasio, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas con la aplicación de los abonos, manteniendo los niveles de medio a alto de un ciclo al siguiente.

Todos los abonos orgánicos tuvieron un aporte importante en el contenido de calcio, lo cual sirve para corregir la deficiencia del elemento debida a la acidez del suelo, este contenido fue mayor con la cachaza, y estadísticamente significativo por tratamiento por ciclo de cultivo; sin embargo al evaluar la media anual, el aporte de calcio por parte de los abonos orgánicos, fue en promedio mayor para el ciclo del 2002 y estadísticamente significativo. Estos resultados ratifican la influencia que tuvo el déficit hídrico ocurrido en el 2003 sobre las propiedades químicas del suelo y sus interacciones con los abonos orgánicos.

El magnesio por su parte, obtuvo diferencias entre bloques en el ciclo del 2002, debido a que la bloque 3 presento mayor contenido en los tratamientos con los abonos orgánicos (Figura 7).

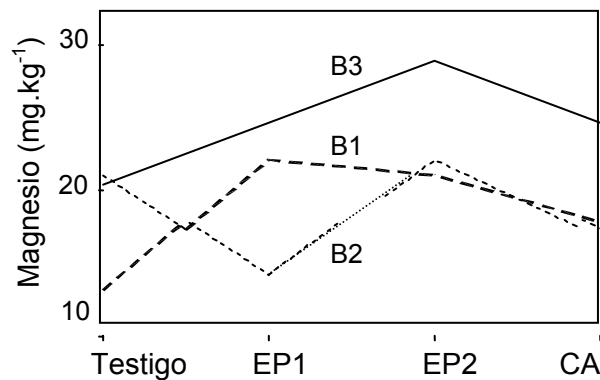


Figura 7. Contenido de Mg por tratamiento y bloque en el suelo ácido. Ciclo 2002.

### **Zinc (Zn), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Hierro (Fe)**

El análisis de varianza de los datos obtenidos para los micronutrientes en el suelo ácido, después de la aplicación de los tratamientos se presenta en la tabla 4.1.6.2c.

Tabla 4.1.6.2c. Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, por tratamiento y bloque, en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Zinc (ppm)</b>									
2002 NS	0,52a	0,60a	0,66a	0,70a	0,60	0,55a	0,60a	0,63a	NS
2003 ***	0,27c	0,80b	0,39c	1,61a	0,77	0,75a	0,80a	0,75a	NS
Media NS	0,40b	0,70a	0,48b	1,14a	0,67**				
<b>Cobre (ppm)</b>									
2002 NS	0,52b	0,60ab	0,68a	0,70a	0,63	0,67a	0,60a	0,61a	NS
2003 NS	0,72a	0,71a	0,69a	0,77a	0,72	0,68a	0,73a	0,76a	NS
Media **	0,62a	0,65a	0,68a	0,73a	0,67*				
<b>Manganeso (ppm)</b>									
2002 NS	45a	46a	44a	42a	45	42a	44a	47a	NS
2003 NS	19a	15a	16a	17a	17	13b	17ab	21a	*
Media NS	32a	31a	30a	30a	31***				
<b>Hierro (ppm)</b>									
2002 NS	32a	36a	40a	30a	34	32a	33a	38a	NS
2003 NS	27a	33a	28a	30a	29	35a	29ab	24b	*
Media NS	29a	35a	34a	30a	32NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%, \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

Como se puede observar, se obtuvo un ligero aumento en la concentración del zinc con la aplicación de los abonos orgánicos en relación al testigo, que fue significativo para el ciclo del cultivo del 2003 y cuyo valor aumentó en un 130% en relación al testigo, esto fue altamente significativo con la cachaza. De igual forma al comparar entre ciclo, se evidencia que en ese año 2003, hubo un aporte del elemento estadísticamente significativo en relación al 2002. Estos resultados coinciden con los de Shuman (1999), en el sentido que los materiales orgánicos tienen más influencia sobre la absorción

del zinc para suelos arenosos que para suelos de textura fina, y además señala que la mayoría de los materiales orgánicos aumenta la absorción del zinc, siempre y cuando el contenido de carbono soluble en el abono no sea alto ya que disminuye su absorción, como en el caso de la cachaza.

En este suelo no hubo respuesta significativa con los tratamientos aplicados en cada ciclo para el elemento cobre. No obstante existe un aumento en el contenido significativo por tratamientos por año en relación al testigo. Cuando se compararon los dos años, se consiguió un valor estadísticamente significativo, mayor para el año 2003 que en el año 2002, es decir que el aporte del elemento al suelo fue mayor durante el ciclo del cultivo 2003

En el manganeso no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en ningún ciclo, tampoco entre tratamiento por ciclo. Hubo interacción entre bloques para el 2003 y fue estadísticamente significativa (Figura 8). Igual tendencia siguió el hierro para ese mismo año (Figura 9).

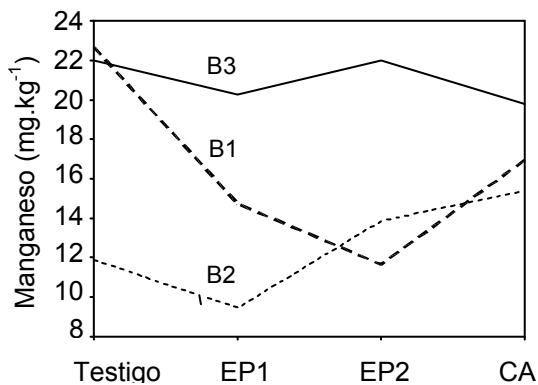


Figura 8. Contenido de Mn por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclo 2003

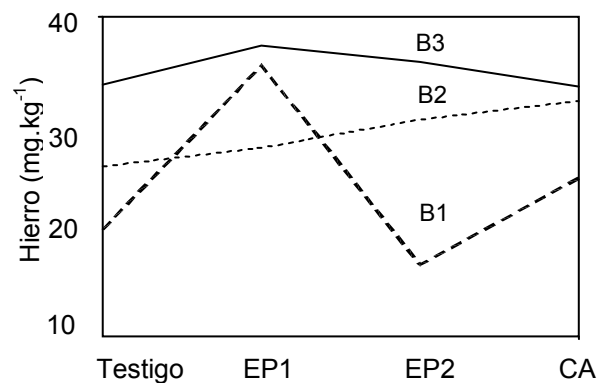
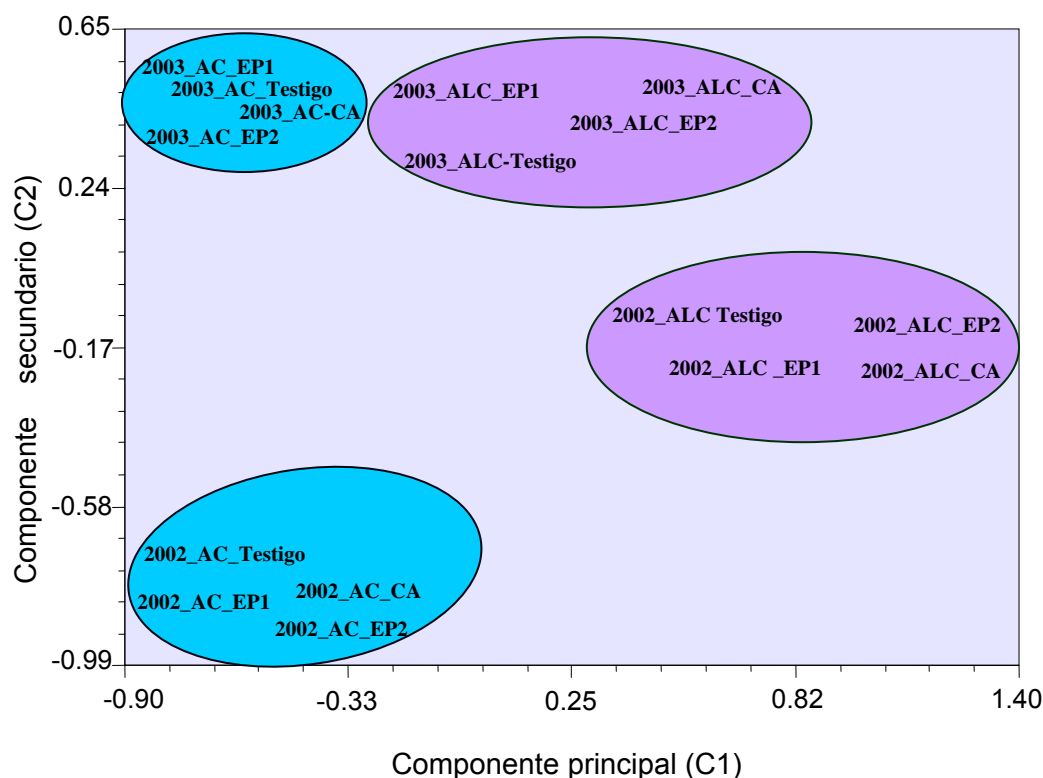


Figura 9. Contenido de Fe por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclo 2003

#### **4.1.6.3. Análisis de componentes de las variables químicas de los dos suelos: Alcalino (ALC) y ácido (AC).**

Con la finalidad de realizar una evaluación global del comportamiento y respuesta de los abonos orgánicos aplicados en los dos suelos y en los dos ciclos del cultivo, se aplicó un análisis de componentes multivariados a 11 parámetros medidos en los suelos (pH, CE, MO, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn).

El resultado estadístico obtenido se observa en el siguiente esquema, se aprecia que el análisis de los dos componentes (principal y secundario), arrojo en primer lugar un agrupamiento por tipo de suelo y año de experimentación y, en segundo lugar, dentro del suelo Alcalino igual tendencia de los abonos EP2 y CA con respecto a EP1 y el testigo.



De igual forma con este análisis estadístico se obtienen los porcentajes de cada parámetro del suelo en C1 y en C2 (Tabla 4.1.6.3).

Tabla 4.1.6.3. Variabilidad (%) de cada parámetro por componente en el análisis estadístico por tratamiento, suelo y año de experimento.

Comp	pH	CE	MO	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
<b>C1</b>	0,91 *	0,81 *	0,69	0,91	0,93 *	0,96 *	0,89 *	-0,30	-0,43	-0,28	-0,41
<b>C2</b>	0,12	0,26	-0,47	0,01	0,01	0,13	-0,17	-0,94 *	-0,87 *	0,92 *	0,89 *

\*Valores absolutos mayores de 0,80

Los mayores valores en términos absolutos, representan la variable que está produciendo la separación por tipo de suelo y año de experimento, así se tiene que en C1 los elementos que producen estas diferencias son: el Ca seguido del K, pH y P, esto quiere decir que consistentemente durante los dos años se consiguió una diferenciación entre el testigo y EP1, con respecto a los

abonos CA y EP2 en lo que concierne a las variables mencionadas. Cuando se analiza el segundo componente (C2), destacan los elementos minoritarios Cu, Fe, Mn y Zn, como los elementos que producen las diferencias de agrupamientos entre los suelos y años. En términos generales los abonos tienen un comportamiento similar, siendo las diferencias encontradas debidas más a factores naturales como lo son el tipo de suelo y las variables de climatología de un año al siguiente, además se confirma que los abonos orgánicos compostados con polienzimas tienen un mejor aprovechamiento por parte del suelo que aquellos que no lo contienen.

De la influencia de los diferentes abonos orgánicos sobre los dos suelos se desprende que:

- Con relación al comportamiento de los tipos de abonos orgánicos, tuvieron mayor influencia los que agregan polienzimas en el proceso de preparación (EP2 y CA), destacándose mayores contenidos de materia orgánica y fósforo con un mejor aprovechamiento por parte de ambos suelos y en particular con el abono orgánico de cachaza.
- Elementos como el potasio, magnesio, cobre, hierro y manganeso, no tienen respuestas consistentes y significativas estadísticamente, en los suelos estudiados.
- La disponibilidad de los nutrientes como el zinc y el calcio, mejoraron con la incorporación de los abonos orgánicos, tanto en el suelo alcalino como en el suelo ácido.

#### **4.1.7. Efecto de la aplicación de los abonos orgánicos sobre el cultivo.**

Con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de los abonos orgánicos sobre la productividad del suelo, se midieron los parámetros: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, zinc, manganeso en el tejido foliar de maíz en los dos experimentos (suelo alcalino y suelo ácido) y en los dos años de ensayos: 2002 y 2003.

Los resultados de los análisis químicos de los nutrientes, y realizados en las plantas de maíz cosechadas en el suelo alcalino y en el suelo ácido, después de 60 días de la aplicación de los tratamientos (testigo, EP1, EP2 y

CA) y en los dos ciclos: 2002 y 2003, se presentan en las Tablas AP1.3 y AP1.4 del Apéndice 1.

#### 4.1.7.1. Suelo alcalino

Los parámetros estadísticos con sus pruebas de normalidad respectivas para los resultados del suelo alcalino se indican en la tabla 4.1.7.1.

Tabla 4.1.7.1. Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el tejido foliar. Suelo alcalino. Ciclo 2002 y 2003.

Variable	Media	Mediana	Varia.	Desv.	% CV	Min	Max	Ks	Sw
<b>2002</b>									
<b>N (%)</b>	2,13	2,10	0,01	0,11	5,24	2,01	2,33	0,20	0,48
<b>P (%)</b>	0,25	0,25	0,001	0,04	16,88	0,17	0,30	0,20	0,69
<b>K (%)</b>	1,63	1,66	0,07	0,26	16,98	1,09	2,25	0,01	0,05*
<b>Ca (%)</b>	0,64	0,66	0,003	0,06	8,67	0,54	0,73	0,20	0,70
<b>Mg (%)</b>	0,33	0,26	0,02	0,14	13,71	0,21	0,56	0,01	0,01*
<b>Zn (ppm)</b>	31,58	31,60	27,13	5,21	11,03	23,80	39,40	0,20	0,48
<b>Cu (ppm)</b>	18,45	17,85	12,29	0,51	24,15	11,90	23,00	0,20	0,53
<b>Fe (ppm)</b>	15,89	12,47	147,35	12,14	10,85	9,86	53,89	0,06	0,17
<b>Mn (ppm)</b>	36,74	34,70	92,4	9,61	17,69	18,30	49,50	0,20	0,38
<b>2003</b>									
<b>N (%)</b>	2,30	2,24	0,04	0,19	4,42	2,07	2,64	0,02	0,41
<b>P (%)</b>	0,21	0,21	0,00	0,05	15,87	0,15	0,30	0,20	0,45
<b>K (%)</b>	2,06	2,13	0,18	0,42	19,66	1,38	2,79	0,20	0,81
<b>Ca (%)</b>	0,34	0,35	0,001	0,03	6,15	0,28	0,38	0,20	0,29
<b>Mg (%)</b>	0,09	0,09	0,00	0,02	16,36	0,07	0,12	0,20	0,08
<b>Zn (ppm)</b>	21,92	21,98	8,25	2,87	13,74	17,70	27,89	0,20	0,77
<b>Cu (ppm)</b>	13,21	12,99	6,52	2,54	14,97	9,97	19,67	0,20	0,11
<b>Fe (ppm)</b>	13,24	13,16	6,87	2,62	5,35	9,14	17,07	0,20	0,45
<b>Mn (ppm)</b>	59,79	61,38	38,22	6,18	5,24	50,84	70,03	0,20	0,50

\* Variable sin distribución normal de los datos. Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

Las variables medidas en el tejido foliar del cultivo maíz que resultaron con distribución no normal, fueron el potasio y el magnesio en el ciclo 2002; posiblemente debido a un manejo inadecuado de las muestras en el campo, o en el tratamiento previo para el análisis químico en el laboratorio, como por ejemplo exceso de lavado, por el contrario en el ciclo 2003 las variables medidas siguieron una distribución normal de sus datos.

**Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)**

La medición del contenido de estos elementos N, P, K, se realizó con la finalidad de determinar el efecto de los abonos orgánicos sobre sus concentraciones en el tejido foliar de las plantas de maíz (Tabla 4.1.7.1a).

Tabla 4.1.7.1a. Resultados del análisis de la varianza para N, P, K, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Nitrógeno (%)</b>									
2002 **	2,07c	2,21bc	2,40ab	2,49a	2,29	2,30a	2,30a	2,28a	NS
2003 *	2,15b	2,14b	2,40a	2,49a	2,30	2,31a	2,21a	2,37a	NS
Media ***	2,11b	2,18b	2,40a	2,50a	2,29NS				
<b>Fósforo (%)</b>									
2002 NS	0,23a	0,24a	0,26a	0,28a	0,25	0,26a	0,25a	0,25a	NS
2003 NS	0,19a	0,21a	0,23a	0,23a	0,21	0,18b	0,21ab	0,26a	*
Media NS	0,21a	0,22a	0,25a	0,26a	0,23NS				
<b>Potasio (%)</b>									
2002 NS	1,41a	1,64a	1,64a	1,84a	1,63	1,56a	1,67a	1,65a	NS
2003 NS	1,68b	2,10ab	2,01ab	2,45a	2,06	1,99a	2,14a	2,06a	NS
Media NS	1,54b	1,87b	1,82b	2,15a	1,85*				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo

Los valores de la Tabla muestran un aumento estadísticamente significativo en cada ciclo con el elemento nitrógeno, en particular con los abonos orgánicos EP2 y CA, es decir, los compostados con polienzimas. Asimismo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos por año que ilustran el aprovechamiento del elemento por la planta



con los abonos orgánicos, siendo mayor con la cachaza. No fue significativo el aporte global de N de un año a otro.

Se aprecia igualmente, que el elemento fósforo en el tejido foliar no presentó diferencias estadísticamente significativa entre los tratamientos aplicados durante el ciclo 2002. En el ciclo 2003, se presentaron diferencias entre las bloques, debido a que los abonos EP2 y CA, tuvieron una mayor respuesta en la bloque 3 (Figura 10). No hubo diferencias entre tratamientos por ciclo, tampoco entre años.

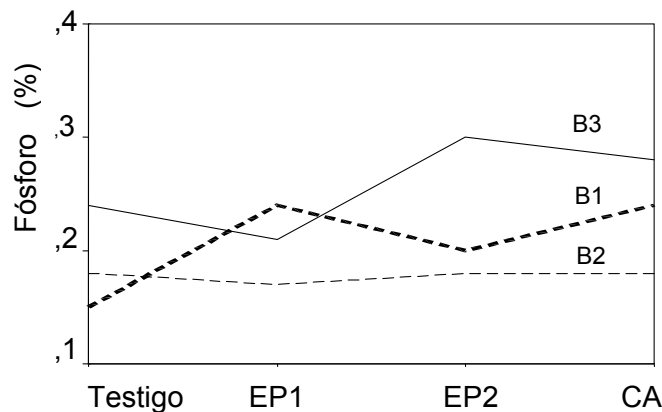


Figura 10. Contenido de P por tratamiento y bloque en el tejido foliar del maíz. Suelo alcalino. Ciclo 2003

En cuanto al potasio no tuvo diferencias estadísticamente significativas con relación al testigo en el ciclo 2002, sin embargo en el ciclo 2003, hubo un incremento importante en particular con el abono orgánico de la cachaza, aunque no fue estadísticamente significativo. Entre los ciclos se obtuvo que el contenido del potasio fue en promedio mayor significativamente para el año 2003 con respecto al año 2002.

Todos los contenidos (%) de N, P y K en el tejido foliar de maíz resultaron ser suficiente en promedio, cuando fueron comparados con valores encontrado en la literatura (Jones *et. al.*, 1991).

### **Calcio (Ca) y magnesio (Mg)**

El análisis de varianza de los análisis químicos de Ca y Mg en el suelo alcalino se indican en la Tabla 4.1.7.1b.

Tabla 4.1.7.1b. Resultados del análisis de la varianza para Ca, Mg en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo alcalino. Ciclos 2002-2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Calcio (%)</b>									
2002 NS	0,68a	0,66a	0,61a	0,61a	0,64	0,61a	0,65a	0,66a	NS
2003 NS	0,34a	0,31a	0,36a	0,35a	0,34	0,32a	0,34a	0,37a	NS
Media NS	0,51a	0,48a	0,49a	0,48a	0,49***				
<b>Magnesio (%)</b>									
2002 ***	0,31b	0,24b	0,23b	0,56a	0,33	0,36a	0,33a	0,31a	NS
2003 NS	0,08a	0,09a	0,09a	0,11a	0,09	0,09a	0,08a	0,11a	NS
Media NS	0,19a	0,16a	0,16a	0,34a	0,21NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. NS: No significativo.

El contenido del calcio no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en cada ciclo del cultivo, tampoco en los tratamientos por ciclo. Sin embargo la media anual, determino una significancia estadística mayor para el año 2002 con respecto al 2003, lo que supone que el déficit hídrico del año 2003, afectó la absorción del elemento por parte de la planta de maíz.

Los niveles de magnesio en el ciclo del cultivo 2002, no siguieron una tendencia normal, mientras que para el 2003 no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

**Zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe)**

Los resultados de los análisis de varianza obtenidos de los micros Zn, Cu, Mn y Fe, medidos en las muestras foliares del ensayo en el suelo Alcalino, se muestran en la Tabla 4.1.7.1c., por tratamiento, bloque y ciclo del cultivo.

Tabla 4.1.7.1c. Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Zinc (ppm)</b>									
2002 NS	27a	31a	33a	36a	32	35a	31a	28a	NS
2003 NS	21a	20a	22a	24a	22	22a	21a	22a	NS
Media NS	24a	25a	28a	30a	27***				
<b>Cobre (ppm)</b>									
2002 NS	13a	18a	19a	19a	19	20a	17a	18a	NS
2003 *	13b	13b	11b	19a	13	13a	13a	13a	NS
Media NS	15a	15a	15a	18a	16***				
<b>Manganeso (ppm)</b>									
2002 NS	43a	36a	46a	35a	39	41a	39a	38a	NS
2003 NS	57a	59a	57a	56a	60	55b	60a b	64a	NS
Media NS	50a	48a	50a	50a	50***				
<b>Hierro (ppm)</b>									
2002 NS	11a	12a	13a	13a	12	11b	12a b	14a	NS
2003 ***	10d	12c	16a	15b	13	13a	13a	13a	NS
Media ***	11b	12b	15a	14a	13NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

Esta tabla refleja en primer lugar que el promedio anual del zinc fue estadísticamente significativo, siendo mayor su absorción para el año 2002. Por ciclo individual, y entre ciclo por tratamiento no se detectaron respuestas significativas del elemento; sin embargo cuando se comparó la media anual por año, esta fue estadísticamente significativa en el 2002.

El cobre por su parte, tuvo un incremento estadísticamente significativo con la cachaza en el ciclo del cultivo del 2003, y al comparar los dos años en promedio se produjo un incremento en la absorción del cobre mayor en el año 2002 con respecto al 2003 y esto fue altamente significativo.

En cuanto al manganeso, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el ciclo 2002. En el ciclo 2003, existieron interacciones no significativas entre bloques, por lo que las comparaciones del contenido medio del manganeso entre ciclo resultaron no ser válidas (Figura 11).

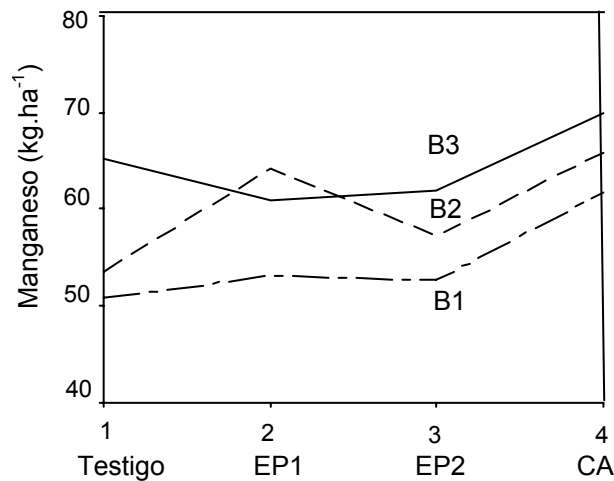


Figura 11. Contenido de Mn por tratamiento y bloque en el tejido foliar del maíz. Suelo alcalino. Ciclo 2003

En el caso del hierro, solo fue importante estadísticamente en el ciclo 2003 y entre ciclo por tratamiento, con una mayor concentración del elemento con los abonos orgánicos EP2 y CA.

#### **4.1.7.2. Suelo ácido**

En la Tabla 4.1.7.2 se muestran los parámetros estadísticos con sus pruebas de normalidad respectivas para los datos obtenidos en el análisis químico de las plantas de maíz en el suelo ácido.

Tabla 4.1.7.2. Parámetros estadísticos de normalidad para las variables medidas en el tejido foliar. Suelo ácido. Ciclo 2002 y 2003.

Variable	Media	Mediana	Varia.	Desv.	% CV	Min	Max	Ks	Sw
<b>2002</b>									
<b>N (%)</b>	1,59	1,63	0,016	0,13	5,21	1,34	1,73	0,13	0,14
<b>P (%)</b>	0,25	0,25	0,0005	0,02	11,92	0,22	0,29	0,20	0,38
<b>K (%)</b>	1,94	1,86	0,06	0,25	14,60	1,59	2,27	0,02	0,05*
<b>Ca (%)</b>	0,42	0,35	0,020	0,14	6,32	0,30	0,68	0,0004	0,01*
<b>Mg (%)</b>	0,18	0,18	0,002	0,045	24,15	0,11	0,27	0,20	0,95
<b>Zn (ppm)</b>	33,1	26,9	305,9	17,5	15,51	19,4	80,1	0,20	0,48
<b>Cu (ppm)</b>	21,7	22,4	9,7	3,1	17,97	16,9	26,0	0,20	0,62
<b>Fe (ppm)</b>	21,3	19,7	45,24	6,7	18,98	13,8	32,5	0,20	0,18
<b>Mn (ppm)</b>	61,9	64,4	116,4	10,8	14,71	46,3	77,8	0,20	0,47
<b>2003</b>									
<b>N (%)</b>	1,69	1,71	0,014	0,12	3,97	1,47	1,85	0,20	0,64
<b>P (%)</b>	0,19	0,19	0,002	0,04	31,90	0,12	0,24	0,20	0,52
<b>K (%)</b>	1,84	1,89	0,304	0,55	15,92	1,03	2,89	0,20	0,43
<b>Ca (%)</b>	0,16	0,16	0,001	0,03	22,21	0,11	0,21	0,20	0,66
<b>Mg (%)</b>	0,06	0,06	0,001	0,01	18,64	0,04	0,07	0,04	0,19
<b>Zn (ppm)</b>	12,44	11,90	3,07	1,75	11,93	9,97	14,92	0,20	0,24
<b>Cu (ppm)</b>	11,41	10,94	2,55	1,60	10,80	9,56	14,75	0,12	0,17
<b>Fe (ppm)</b>	113,4	108,4	754,9	27,5	18,52	71,0	153,8	0,20	0,68
<b>Mn (ppm)</b>	123,03	121,3	1044	32,3	22,11	60,1	168,4	0,20	0,67

\* Variable sin distribución normal de los datos. Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

Las variables medidas que resultaron con distribución no normal, fueron el potasio y el calcio en el ciclo 2002, motivado probablemente a las mismas razones que en el caso del suelo Alcalino para ese mismo año, manejo inadecuado de las muestras. Por el contrario en el ciclo 2003 las variables medidas siguieron una distribución normal de sus datos.

### **Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)**

En la Tabla 4.1.7.2a, se muestran los resultados del análisis de varianza de los contenidos N, P y K, medidos en las muestras foliares de maíz del experimento del suelo ácido.

Tabla 4.1.7.2a. Resultados del análisis de la varianza para N, P, K, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Nitrógeno (%)</b>									
2002 *	1,41b	1,62bc	1,61ab	1,71a	1,58	1,55a	1,60a	1,60a	NS
2003 **	1,53b	1,68b	1,77a	1,77a	1,69	1,66a	1,69a	1,72a	NS
Media ***	1,47b	1,69a	1,69a	1,69a	1,63NS				
<b>Fósforo (%)</b>									
2002 NS	0,23a	0,25a	0,25a	0,26a	0,25	0,26a	0,24a	0,25a	NS
2003 NS	0,14a	0,19a	0,21a	0,20a	0,19	0,21a	0,19a	0,15a	NS
Media NS	0,19a	0,22a	0,24a	0,23a	0,22***				
<b>Potasio (%)</b>									
2002 NS	1,84a	1,89a	1,96a	2,08a	1,94	1,87a	1,87a	2,09a	NS
2003 **	1,34b	1,39b	2,20a	2,43a	1,84	1,77a	1,85a	1,90a	NS
Media **	1,65b	1,61b	2,04b	2,26a	1,90NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo

El elemento nitrógeno aumenta su contenido con todos los abonos orgánicos aplicados y son estadísticamente significativos en los dos ciclos del cultivo, observándose una mejor respuesta con los tratamientos EP2 y CA. Se evidenció de igual forma una mayor absorción del N por tratamiento al incluir los dos ciclos con los abonos orgánicos, muestras que al comparar con la media anual ésta no fue significativa, manteniendo niveles por debajo de los considerados como adecuados, esto puede estar influenciando por la condición ácida del suelo que impide un mejor aprovechamiento del nitrógeno por parte de la planta (Ampueda *et. al.*, 2002).

En el fósforo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los ciclos, con valores bajos del elemento.

Tampoco por tratamiento por año. Sin embargo la concentración promedio en el año 2002 fue estadísticamente significativa y mayor que para el año 2003.

Los resultados del potasio, indican que hubo más respuesta significativa con los abonos EP2 y CA, en el ciclo 2003; igual comportamiento ocurrió en el ciclo 2002, aunque estadísticamente no fue significativo además de que los datos no siguieron una distribución normal.

### **Calcio (Ca) y magnesio (Mg)**

En la tabla 4.1.7.2b se ilustran los valores obtenidos en el análisis de varianza obtenido para el calcio y magnesio en las plantas de maíz después de la aplicación de los abonos orgánicos sobre el suelo ácido.

Se aprecia en estos resultados, en primer lugar que el contenido del calcio en el primer año (2002) decrece su concentración con cada abono orgánico aplicado al suelo al comparar con el testigo, esta disminución pudiera ser explicada por el hecho que cuando se agregan los abonos orgánicos en medio ácido, se solubilizan las formas de fósforo aprovechables por las plantas y estas a su vez, se precipitaron con el calcio presente en el suelo, encontrándose valores bajos en las plantas, lo que no ocurrió con el testigo. Entre años se obtuvo una alta significancia estadística para el 2002 en comparación con el 2003, pero de poca importancia práctica porque no es debida a los abonos orgánicos.

En el ciclo 2003, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en el calcio entre tratamientos, resaltan valores absolutos muy por debajo de lo establecido como suficientes, debido al período de stress en el cultivo ocurrido en este año, y a los valores bajos de pH del suelo, ya que el calcio en ese medio puede precipitar como fosfato, y producir una disminución en la absorción del elemento por parte de la planta (Fassbender, 1994).

Tabla 4.1.7.2b. Resultados del análisis de la varianza para Ca, Mg en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Calcio (%)</b>									
2002 ***	0,65a	0,33b	0,37b	0,35b	0,42	0,42a	0,40a	0,45a	NS
2003 NS	0,15a	0,14a	0,16a	0,17a	0,16	0,16a	0,14a	0,16a	NS
Media NS	0,40a	0,23a	0,26a	0,26a	0,29***				
<b>Magnesio (%)</b>									
2002 NS	0,23a	0,16a	0,18a	0,16a	0,18	0,17a	0,19a	0,18a	NS
2003 NS	0,05a	0,06a	0,06a	0,05a	0,06	0,06a	0,06a	0,06a	NS
Media NS	0,14a	0,11a	0,12a	0,10a	0,12***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. NS: No significativo

En el caso del magnesio, solamente hubo respuesta estadísticamente significativa al 0,1% de probabilidad entre años, presentando un % de Mg mayor en el 2002 con respecto al 2003, sin embargo la disminución ocurrida en el año 2002, que también se presentó con el calcio, hacen suponer errores al aplicar los tratamientos orgánicos en el campo ó que la condición de acidez de este suelo produce una reacción que favorece la precipitación o la inmovilización de estos elementos al entrar en contacto con los abonos orgánicos, disminuyendo la absorción de los elementos por parte de la planta. Los valores obtenidos de magnesio en general, estuvieron muy por debajo de los valores normales o suficientes para las plantas de maíz.

**Zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe)**

En la Tabla 4.1.7.2c, se exponen los datos del análisis de varianza obtenidos de los micronutrientes Zn, Cu, Mn y Fe, medidos en las muestras foliares de maíz para el suelo ácido por cada año de experiencia.

En este suelo, con relación al Zn en las plantas de maíz, solo se presentaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los dos



años con la media anual, con un aumento en la absorción del elemento en el año 2002.

Tabla 4.1.7.2c. Resultados del análisis de la varianza para Zn, Cu, Mn, Fe, en el tejido foliar de maíz por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
<b>Zinc (ppm)</b>									
2002 NS	21a	20a	23a	24a	22	23a	21a	21a	NS
2003 NS	11b	12ab	13ab	14a	12	12a	13a	13a	NS
Media NS	16a	16a	18a	19a	17***				
<b>Cobre (ppm)</b>									
2002 *	21b	29ab	27ab	36a	28	27a	29a	29a	NS
2003 NS	11a	10a	12a	13a	11	11a	11a	12a	NS
Media NS	16a	20a	19a	25a	20***				
<b>Manganeso (ppm)</b>									
2002 NS	72a	54a	63a	59a	62	64a	66a	56a	NS
2003 NS	118ab	86b	143a	146a	123	127a	120a	122a	NS
Media NS	95,2a	70a	102,5a	102a	92***				
<b>Hierro (ppm)</b>									
2002 *	16b	30a	18b	22ab	21	24,a	22a	18a	NS
2003 *	138a	80b	119a	117a	113	106a	118a	115a	NS
Media NS	77a	55a	69a	69a	67***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

El cobre por su parte arrojó un comportamiento similar que el zinc, en cuanto a la significancia entre años, aunque para el ciclo del cultivo 2002 se presentó una mayor absorción con la cachaza que fue significativa estadísticamente.

Se observaron diferencias estadísticas significativas con el hierro para el ciclo 2002, 2003 y entre los años, con un mayor contenido en el tejido foliar con el tratamiento EP1 en el ciclo 2002. En el ciclo 2003 sucedió lo contrario, es decir el menor contenido del elemento lo arrojó el abono orgánico EP1. Al comparar entre tratamiento por ciclo no hubo significancia estadística mientras que la absorción promedio del hierro de un año al siguiente fue mayor para el 2003.

Estos resultados reflejan poca o ninguna correlación existente entre la incorporación de abonos orgánicos y la medición de los micronutrientes en el tejido foliar en un ciclo corto, como lo es en este caso el cultivo de maíz.

#### **4.1.8. Influencia de los abonos orgánicos sobre el rendimiento del maíz.**

Con la finalidad de comparar si la aplicación de abonos orgánicos sobre los suelos pudieran favorecer el incremento de la producción del maíz, se evaluó en cada tratamiento aplicado el rendimiento en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en ambos ensayos: suelo Alcalino y suelo ácido, y para los dos años de estudios: 2002 y 2003. Los datos obtenidos por tratamiento aplicados: testigo, EP1, EP2, CA y bloques se señalan en la Tabla AP1.5 del Apéndice 1.

##### **4.1.8.1. Suelo alcalino**

Los parámetros estadísticos y la prueba de normalidad para los rendimientos del maíz obtenidos en este suelo, se reseñan en la Tabla 4.1.8.1a; donde puede observarse que todos los datos tuvieron una distribución normal de acuerdo a la prueba estadística de Shapiro y Wilk.

Tabla 4.1.8.1a. Parámetros estadísticos de normalidad para el rendimiento del maíz en el suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Rendimiento (Kg.ha <sup>-1</sup> )									
Ciclo	Media	Mediana	Varianza	Desv.	% CV	Min.	Max.	Ks	Sw
2002	6272	6045	457484	676	8,8	5462	7461	0,15	0,08
2003	6326	6824	2377243	1542	12,7	3422	8491	0,20	0,32

Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

El análisis de varianza de los datos de rendimiento por tratamiento, bloque, ciclo del cultivo y año de ensayo, en la Tabla 4.1.8.1b.

Tabla 4.1.8.1b. Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo maíz en kg.ha<sup>-1</sup> por tratamiento y bloque. Suelo alcalino. Ciclos 2002 y 2003.

Rendimiento (Kg.ha <sup>-1</sup> )									
Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media anual	Bloque			Sig.
						1	2	3	
2002 *	5748b	6391ab	5904ab	7044ab	6272	6388a	6300a	6128a	NS
2003 **	4224b	6268a	7021a	7790a	6326	6040a	6187a	6751a	NS
Media ***	4986c	6330b	6462ab	7417a	6299NS				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%. \*Diferencias estadísticas al 5%. NS: No significativo.

En la Tabla se observa que en los dos años de ensayos hubo un incremento en el rendimiento con todos los tratamientos de los abonos orgánicos, y estos fueron mayores con el abono orgánico de la cachaza y estadísticamente significativo tanto en el ciclo del cultivo del 2002, como en el ciclo del cultivo del 2003. De igual forma es estadísticamente significativa al 0,1%, al considerar la media por tratamiento por ciclo, con un mayor incremento con el abono orgánico CA. Este resultado coincide con el de Escalona (2002) para el cultivo de cebolla y pimentón en suelos Alcalinos de la

región occidental de Venezuela, y con el conseguido por Matheus, (2004) con el cultivo del maíz, quienes usaron cachaza como abono orgánico. Por otro lado no se obtuvieron cambios significativos en promedio de un año con respecto al anterior.

#### **4.1.8.2. Suelo ácido**

Los resultados de la prueba de normalidad (Tabla 4.1.8.2a), señalan que los datos del rendimiento para el ciclo del 2003 no presentaron una distribución normal en la variable del rendimiento del cultivo.

Tabla 4.1.8.2a. Parámetros estadísticos de normalidad para el rendimiento del maíz en el suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

<b>Rendimiento (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>									
<b>Ciclo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desv.</b>	<b>% CV</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Ks</b>	<b>Sw</b>
<b>2002</b>	4642,3	4816,0	190993	437,0	11,89	3968	5213	0,07	0,09
<b>2003</b>	561,1	440,8	118735	344,6	21,79	251	1281	0,06	0,05*

\*Variable sin distribución normal de los datos. Ks = Prueba estadística de Kolmogorov – Simornov. Sw = Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal).

El ANAVAR (Tabla 4.1.8.2b), muestra que en el suelo ácido se presentó un incremento del rendimiento del maíz con el estiércol de gallinaza (EP2) y la cachaza (CA) para el año 2002. En este caso y a diferencia del ciclo del 2003, las precipitaciones favorecieron la germinación de la semilla (Rodríguez, 2001).

En el experimento del 2003 en virtud que los datos no presentaron una distribución normal la comparación estadística tanto durante el ciclo como en la media de tratamiento por ciclo y la media anual no resultan válidas. Este resultado se debió principalmente a que las precipitaciones de este año en la fase inicial del cultivo ( diez días después de la siembra), afectó bastante al número de planta al experimento del ensayo de La Virgen donde estaba ubicado el suelo ácido, de tal forma que aunque las lluvias posteriores fueron mayores, la disminución de los rendimientos fueron considerables cuando el estrés se presentó, lo que a su vez está relacionado con la disminución de la

rata de fotosíntesis, demostrado por los experimentos de Shaw, (1983), ya que es el período donde se define el número de granos/planta.

Las limitaciones de acidez del suelo condujeron a que las plantas de maíz tuvieran poco desarrollo y mucha variabilidad entre los tratamientos, diagnosticados in situ durante la experiencia.

Tabla 4.1.8.2b. Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo maíz en Kg.ha<sup>-1</sup> por tratamiento y bloque. Suelo ácido. Ciclos 2002 y 2003.

Rendimiento (Kg.ha <sup>-1</sup> )									
Ciclo	Testigo	EP1	EP2	CA	Media	Bloque			
						1	2	3	Sig.
2002 NS	4514b	4556b	4697a	4800a	4642	4727a	4696a	4504a	NS
2003 **	255b	377b	577b	1034a		561	587a	408a	689a
Media NS	2385a	2467a	2637a	2917a	2602 ***				

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). \*\*\*Diferencias estadísticas al 0,1%. \*\*Diferencias estadísticas al 0,5%. NS: No significativo.

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando de la influencia que tiene la incorporación de los abonos orgánicos sobre el tejido foliar y el rendimiento del maíz se deriva lo siguiente:

- Las concentraciones de los macro y microelementos del tejido foliar del maíz después de los tratamientos en ambos suelos no se incrementaron por encima de los valores teóricos encontrados en la literatura como óptimos (Tabla 4.1.8.2).

Tabla 4.1.8.2c. Contenido de macro y micronutrientes del maíz en el estado reproductivo de emisión de estigmas, encontrados en la literatura.

<b>Nutriente</b>	<b>Optimo</b>	<b>Suficiente</b>	<b>Críticos</b>
<b>N</b>	2,77 *	2,70 - 3,50**	1,40 ***
<b>P</b>	0,30 *	0,20 - 0,40**	0,20***
<b>K</b>	0,96 *	1.70 – 2,50**	1,20***
<b>Ca</b>	0,37 *	0,40 - 1,00**	0,20***
<b>Mg</b>	0,29 *	0,20 - 0,40**	0,09***
<b>Zn</b>	15-130 *	—	—
<b>Cu</b>	3-15 *	—	—
<b>Mn</b>	20-250 *	—	—
<b>Fe</b>	50-200 *	—	—

\*Jones *et. al.*, (1991), \*\*Solórzano, (1997), \*\*\* Casanova, (1996).

- Los abonos orgánicos compostados con polienzimas (EP2 y CA), incrementa los contenidos del nitrógeno en el tejido foliar.
- Los macroelementos P, K, Ca y Mg no presentaron un comportamiento consistente entre años y tipos de suelos, al mismo tiempo los microelementos no mostraron correlación alguna con los tratamientos de abonos orgánicos utilizados.
- De acuerdo a la estimación del rendimiento del cultivo, se deduce que el mejor comportamiento se produjo con la cachaza, con una respuesta consistente en el suelo alcalino y sólo para el año 2002 con el suelo ácido.

#### **4.2. OBTENCIÓN DE DOSIS ÓPTIMA Y ECONÓMICA DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO MAÍZ**

En el marco de los resultados obtenidos en los estudios preliminares del año 2002, se seleccionó al abono orgánico de la cachaza por sus ventajas relativa para llevar a cabo la segunda fase del trabajo, en la cual se evaluó la mineralización del nitrógeno del abono, y su aplicación combinada con fertilizantes inorgánicos (NPK) en ensayos de campo, en dos suelos ubicados en las localidades del Rodeo y La Virgen, utilizando diseños experimentales de

superficie de respuesta, con la finalidad de obtener las dosis óptima y económica de NPK y CA que generen una respuesta en el rendimiento del cultivo del maíz.

#### **4.2.1 Mineralización del nitrógeno en el suelo con cachaza.**

Con la finalidad de examinar la tasa de descomposición del nitrógeno contenido en el abono orgánico (cachaza) y evaluar su disponibilidad para las plantas de maíz, se incubó el residuo con los dos suelos (La Virgen y El Rodeo).

La incubación se llevo a cabo durante diez semanas (75 días), período en el cual se midió la evolución del nitrógeno que viene dado, como se describió en el capítulo de materiales y métodos, por el nitrógeno amoniacal (fácilmente mineralizable) y el nitrógeno nítrico. Los datos para los suelos El Rodeo y La Virgen en las Tablas AP2.1, AP2.2 del apéndice 2, respectivamente.

A continuación se presentan la evolución de las formas minerales del nitrógeno, la mineralización de los dos suelos bajo estudio, así como su mineralización neta y tasa de mineralización.

##### **4.2.1.1. Evolución de las formas minerales del nitrógeno**

###### **Suelo El Rodeo**

En la siguiente tabla 4.2.1.1a, se indican los valores obtenidos para el nitrógeno amoniacal y nítrico de las muestras de suelo El Rodeo incubadas con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA).

Tabla 4.2.1.1a. Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) y nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ) a lo largo de 10 semanas para el suelo El Rodeo sin cachaza (SCA) y sin cachaza (CCA).

Tiempo (semanas)	Nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^{+1}$ ) ( $\text{mg.kg}^{-1}$ SS)		Nitrógeno nítrico ( $\text{N-NO}_3^{-1}$ ) ( $\text{mg.kg}^{-1}$ SS)	
	SCA	CCA	SCA	CCA
0	9,9 (0,1)	251,2 (3,6)	4,3 (0,1)	66,2 (0,8)
1	10,0 (1,1)	207,9 (1,2)	5,2 (0,2)	68,9 (1,0)
2	9,9 (0,3)	110,0 (0,9)	8,5 (0,1)	99,9 (1,2)
4	3,7 (0,3)	46,5 (0,9)	23,9 (0,1)	139,2 (0,8)
6	3,8 (0,2)	43,7 (1,2)	33,2 (1,5)	256,9 (3,8)
10	5,5 (0,4)	49,7 (1,2)	26,9 (1,0)	126,3 (3,4)

Los valores entre paréntesis se refieren a la desviación estándar.

En la tabla se aprecia que el  $\text{N-NH}_4^+$ , después de un aumento inicial ( $251,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  SS) comienza un descenso hasta alcanzar valores de  $49,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  SS, como consecuencia de su eventual volatilización y oxidación a las formas de  $\text{N-NO}_3$  y  $\text{N-NO}_2$  ( Barberis y Nappi, 1995), esto se evidencia en la tendencia contraria que sigue el nitrógeno nítrico ( $\text{N-NO}_3$ ), es decir bajo al comienzo ( $66,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) hasta alcanzar valores de  $126,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  SS al cabo de 10 semanas (Figuras 12 y 13) respectivamente. La liberación de nitrógeno es considerable en el suelo incubado con cachaza (CCA) con respecto al suelo testigo (SCA) y es mayor en la sexta semana de incubación.

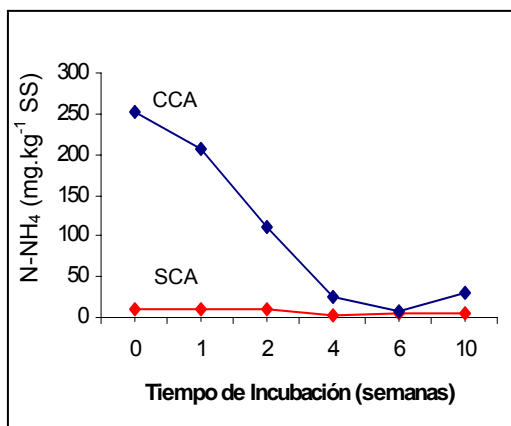


Figura 12. Evolución del  $\text{N-NH}_4$  en el suelo El Rodeo incubado con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA)

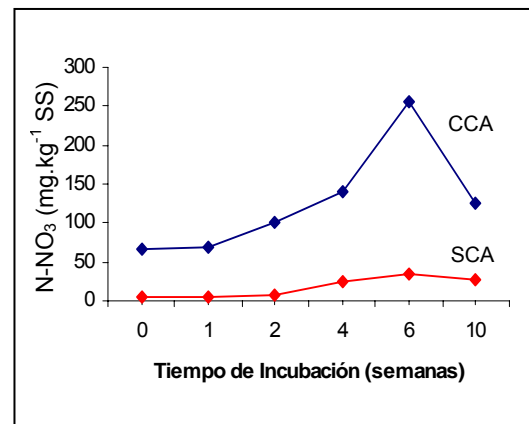


Figura 13. Evolución del  $\text{N-NO}_3$  en el suelo El Rodeo con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA).



**Suelo La Virgen**

En la tabla 4.2.1.1b, se muestran los valores de las formas de nitrógeno amoniacal y nítrico para el suelo La Virgen durante la incubación con la cachaza (CCA) y sin ella (SCA).

Tabla 4.2.1.1b. Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) y nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ) a lo largo de 10 semanas para el suelo La Virgen sin cachaza (SCA) y con cachaza (CCA).

Tiempo (semanas)	Nitrógeno amoniacal (N- $\text{NH}_4^{+1}$ ) (mg.Kg <sup>-1</sup> SS)		Nitrógeno nítrico (N- $\text{NO}_3^{-1}$ ) (mg.Kg <sup>-1</sup> SS)	
	SCA	CCA	SCA	CCA
0	5,8 (0,6)	76,4 (0,4)	4,3 (0,1)	29,4 (0,4)
1	11,5 (0,2)	117,9 (1,7)	4,4 (1,7)	42,2 (2,3)
2	3,0 (0,1)	111,1 (3,7)	7,4 (0,1)	55,7 (0,7)
4	2,2 (0,1)	66,3 (0,7)	9,3 (0,1)	75,4 (2,4)
6	1,6 (0,1)	40,7 (1,7)	6,3 (0,3)	97,3 (1,6)
10	4,4 (0,2)	18,4 (1,0)	4,3 (0,2)	66,5 (3,1)

Los valores entre paréntesis se refieren a la desviación estándar.

Se observa que las concentraciones de  $\text{N-NH}_4^+$  fueron mayores en el suelo en la primera y segunda semana de incubación, mientras que el valor más alto del  $\text{N-NO}_3^-$  disponible en el suelo se produjo en la sexta semana de incubación, resalta los menores contenidos en todo el proceso cuando se compara con el suelo Alcalino. Gráficamente el comportamiento puede apreciarse en las Figuras 14 y 15 respectivamente.

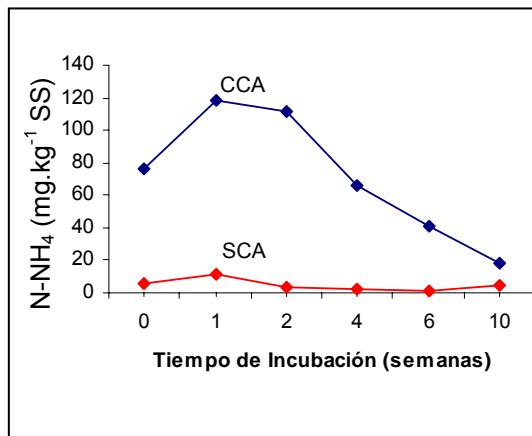


Figura 14. Evolución  $\text{N-NH}_4$  en el suelo La Virgen con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA)

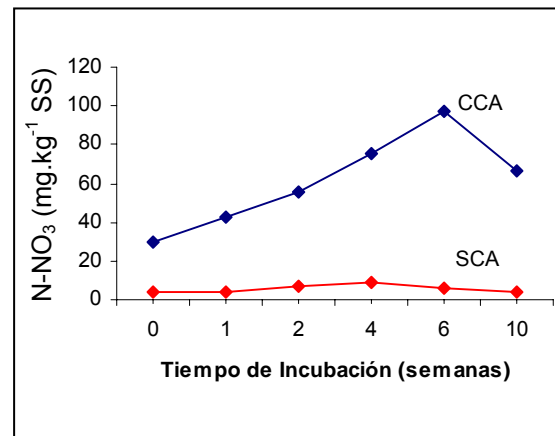


Figura 15. Evolución  $\text{N-NO}_3$  en el suelo La Virgen con cachaza (CCA) y sin cachaza (SCA)

Se demuestra que el abono orgánico incorpora nitrógeno en sus formas disponibles al suelo, esta incorporación es mayor en el suelo El Rodeo al comparar con el suelo La Virgen, y la disponibilidad al cultivo es mayor en la sexta semana, lo cual explica las mejores respuestas encontradas en la primera fase en el suelo El Rodeo.

#### 4.2.1.2. Mineralización del nitrógeno de las muestras incubadas

La Tabla 4.2.1.2 señala la mineralización del nitrógeno de las muestras de los dos suelos (El Rodeo y La Virgen) incubadas con cachaza, determinada tomando en cuenta como indicador las formas de mineralización nítricas de las mezclas de suelos mas residuo, menos los valores obtenidos en los suelos sin incubas (Barriocanal, 2006).

Se observa que la mineralización del abono orgánico tiene una misma tendencia en los dos suelos bajo estudio y que el proceso se ve afectado por la condición de acidez del suelo ya que los valores en el suelo La Virgen, son inferiores cuando se compara con la correspondiente semana con el suelo El Rodeo.

Tabla 4.2.1.2. Evolución de la mineralización del nitrógeno ( $\text{mg N-NO}_3^{-1}/\text{kg}$  suelo seco (SS)) a lo largo de las 10 semanas de incubación.

Tiempo (semana)	Mineralización del nitrógeno ( $\text{mg N-NO}_3^{-1}/\text{Kg}$ suelo seco)	
	Suelo El Rodeo	Suelo La Virgen
1	63,76	37,8
2	91,36	48,5
4	115,35	66,1
6	123,73	91,0
10	96,09	56,7

La representación gráfica de esta mineralización podemos apreciarla en la Figura 16. En la sexta semana se produce un máximo de mineralización del nitrógeno de la cachaza en los dos suelos, tiempo en que el cultivo maíz presenta 12 hojas totalmente emergidas, de los nudos inferiores brotan

verticilos radicales que penetran en el suelo y absorben de manera eficaz los nutrimentos aunque muy particularmente el fósforo; en esta fase una deficiencia puede reducir el tamaño potencial de la mazorca (Cabrera, 2001).

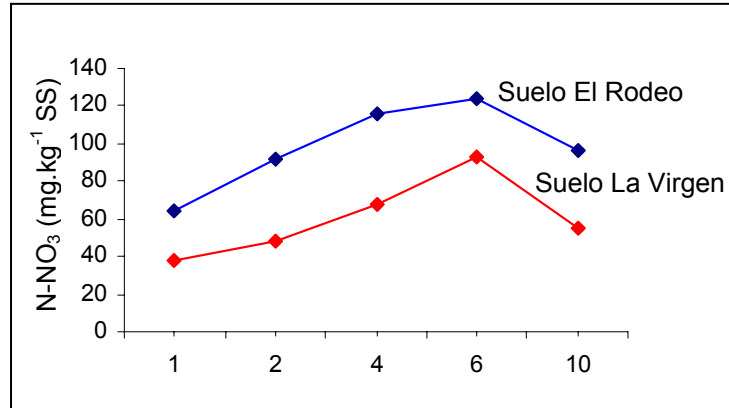


Figura 16. Mineralización del nitrógeno ( $\text{mg.kg}^{-1}$  SS) durante el tiempo de incubación (semana) para el suelo El Rodeo y suelo La Virgen

#### 4.2.1.3. Mineralización neta del nitrógeno de las muestras incubadas

La mineralización neta del nitrógeno de los suelos incubados con cachaza, que tiene lugar al cabo de la incubación, se determinó restando la cantidad de nitrógeno en formas de nitratos al inicio de la incubación de la que aparece al final de las diez semanas de incubación. De esta forma se obtiene para el suelo El Rodeo una mineralización neta de  $61,99 \text{ mg N-NO}_3^{-1}$  por kg de suelo seco y para el suelo La Virgen de  $53,18 \text{ mg N-NO}_3^{-1}$  por kg de suelo seco, los cuales se corresponden con  $198,4 \text{ kg.ha}^{-1}$  y  $172,2 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Estos valores fueron más altos que los conseguidos por Delgado (2001) para el nitrógeno mineralizado de  $79,3 \text{ kg.ha}^{-1}$  a las seis semanas de incubación, además que en su investigación utiliza incubación con fertilización inorgánica y la compara con suelo sin cultivar, donde concluye que la fertilización nitrogenada permitió una mayor mineralización del nitrógeno nativo del suelo.

Estas diferencias en los valores de la mineralización neta entre ambos suelos determinan que el proceso de interacción con el abono orgánico induce a la mineralización en mayor proporción en un suelo de pH alcalino que en uno de pH ácido como La Virgen, lo que implica una mayor disponibilidad del nitrógeno en el primero.

**4.2.1.4. Tasa de mineralización del nitrógeno**

El modelo cinético para la descripción de la tasa de mineralización del nitrógeno que mide las cantidades de nitrógeno en forma nítrica que aparecen en el suelo mezclado con los abonos a lo largo de las diez semanas de incubación se ha ajustado a un modelo cinético de primer orden.

El modelo describirá un proceso de mineralización del nitrógeno exponencial y permitirá calcular el nitrógeno potencialmente mineralizable ( $N_0$ ) y la constante de mineralización ( $k$ ) que representará la capacidad potencial de mineralización. Además se puede conocer la cantidad de  $N-NO_3^{-1}$  por kg de suelo seco que se mineraliza semanalmente ( $N_0 \times k$ ). Las constantes de la mineralización de nitrógeno para las muestras estudiadas se presentan en la presente Tabla 4.2.1.4.

Modelo cinético de primer orden:  $Nm = N_0(1 - e^{-kt})$

Tabla 4.2.1.4. Valores de los parámetros  $N_0$  y  $k$  que definen las ecuaciones de cada modelo cinético y coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Parámetros	Tipo de suelo	
	El Rodeo	La Virgen
$N_0$ (mg $N-NO_3^{-1}$ /Kg suelo seco)	124,5	96,5
$k$ (semanas <sup>-1</sup> )	0,69	0,37
$N_0 \times k$ (mg $N-NO_3^{-1}$ /Kg SS x semana)	87,84	48,92
$R^2$ (%)	0,85	0,95

La capacidad potencial de mineralización ( $k$ ) de la cachaza en el suelo El Rodeo es mucho mayor que en el suelo ácido, 0,69 y 0,37 semanas<sup>-1</sup> respectivamente. Con este parámetro se puede inferir que la fracción orgánica del abono requiere menor tiempo para degradar su nitrógeno potencialmente mineralizable cuando interactúa con el suelo El Rodeo que cuando lo hace con el suelo La Virgen. Asimismo los valores de  $k$ , fueron mas altos a los encontrados por Barriocanal, (2005), los cuales van desde 0,197 a 0,409 semana<sup>-1</sup> para distintos abonos orgánicos.

Autores como Gagnon y Simard (1999), encontraron que el contenido de nitrógeno mineral en el suelo al final de la incubación con abonos orgánicos era mucho más alto en aquellos compost estabilizado que en abonos frescos.

Se puede resumir que el pH del suelo influye en la mineralización del nitrógeno, en este caso El Rodeo presentan mayor mineralización puesto que en la sexta semana de incubación la tasa de mineralización supera el 100%, y en el caso del cultivo maíz es importante ya que es el momento de mayor requerimiento del elemento por parte de la planta para el desarrollo completo de la mazorca.

### **4.2.2. Ensayos de superficie de respuesta**

Como se menciona en capítulos anteriores los ensayos de superficie de respuesta tienen como propósito la obtención de dosis óptimas y económicas de fertilizantes en experimentos de campos donde se manejan múltiples variables. Los resultados obtenidos y pruebas de normalidad de los diseños Central Rotable de los años 2003 y 2004, se señalan en el apéndice 3: Tablas AP3.1, AP3.2, AP3.3, AP3.4, AP3.5 y AP3.6 para el suelo El Rodeo y, en el apéndice 4: Tablas AP4.1, AP4.2, AP4.3, AP4.4, y AP4.5 para el suelo La Virgen.

#### **4.2.2.1. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas del suelo El Rodeo**

##### **Año 2003**

En la Tabla 4.2.2.1a se presentan el análisis de varianza (ANAVAR) con los niveles codificados y niveles reales de fertilizantes para el tratamiento de nitrógeno, para las variables en el suelo con distribución normal: materia orgánica (MO), fósforo (P), cobre (Cu) y zinc (Zn).

En la tabla se observa que los contenidos de MO fueron mayores con los tratamientos de nitrógeno más altos, los nutrientes P, Cu y Zn no obtuvieron ninguna variación con este tratamiento.

Tabla 4.2.2.1a. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de nitrógeno. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real (Kg.ha <sup>-1</sup> )	MO %	P ppm	Cu ppm	Zn ppm
<b>N</b>	-2	0	1,18b	14a	0,82a	2,14a
	-1	80	1,26ab	18a	0,90a	1,55a
	0	160	1,39ab	21a	0,95a	1,55a
	1	240	1,42a	27a	0,94a	1,52a
	2	320	1,45a	23a	1,10a	1,74a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Con respecto al tratamiento de fósforo, se encontraron incrementos en los valores de materia orgánica con la dosis de 120 y 240 kg.ha<sup>-1</sup>, y en los valores del nutriente fósforo con esta última dosis. No hubo respuesta con los micro Cu y Zn (Tabla 4.2.2.1b).

Tabla 4.2.2.1b. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de fósforo. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real (Kg.ha <sup>-1</sup> )	MO %	P ppm	Cu ppm	Zn ppm
<b>P</b>	-2	0	1,13b	15b	0,92a	1,85a
	-1	60	1,32ab	19ab	0,89a	1,49a
	0	120	1,41a	20ab	0,97a	1,59a
	1	180	1,36ab	22ab	0,96a	1,57a
	2	240	1,38a	33a	0,93a	1,70a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Con la aplicación del potasio en este suelo, solo hubo una respuesta del elemento cobre con la mayor dosis, es decir, 160 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.2.1c).

Tabla 4.2.2.1c Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de potasio. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real (Kg.ha <sup>-1</sup> )	MO %	P ppm	Cu ppm	Zn ppm
<b>K</b>	-2	0	1,18a	25a	1,05ab	1,37a
	-1	40	1,34ab	22a	0,92b	1,52a
	0	80	1,39ab	19a	0,89b	1,62a
	1	120	1,33ab	20a	0,92b	1,54a
	2	160	1,45a	30a	1,26a	2,05a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

El tratamiento del abono orgánico, cachaza, de 3000 kg.ha<sup>-1</sup>, aumento la materia orgánica del suelo y fue diferente con respecto al resto de los tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticas significativas con el P, Cu y Zn (Tabla 4.2.2.1d).

Tabla 4.2.2.1d. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo El Rodeo para el tratamiento de cachaza. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real (Kg.ha <sup>-1</sup> )	MO %	P ppm	Cu ppm	Zn ppm
<b>CA</b>	-2	0	1,33b	14a	1,06a	1,86a
	-1	1000	1,22ab	24a	0,92a	1,67a
	0	2000	1,38ab	21a	0,93a	1,63a
	1	3000	1,46a	28a	0,93a	1,39a
	2	4000	1,33ab	25a	1,01a	1,49a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

A manera de resumen se puede indicar que los tratamientos de nitrógeno y cachaza aplicados en este suelo tuvieron un efecto significativo y positivo sobre la materia orgánica, de acuerdo a los resultados de la significancia estadística del análisis de la varianza realizado a la totalidad de los datos (Tabla 4.2.2.1e), de igual forma lo hizo el tratamiento del fósforo sobre los contenidos del mismo nutriente en el suelo.

Tabla 4.2.2.1e. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos de las variables químicas del suelo El Rodeo. Año 2003

Tratamiento	pH	MO %	P ppm	Cu ppm	Zn ppm
<b>N</b>	0,22	0,01*	0,12	0,43	0,44
<b>P</b>	0,24	0,07	0,03*	0,52	0,96
<b>K</b>	0,16	0,31	0,14	0,10	0,19
<b>CA</b>	0,28	0,00*	0,06	0,65	0,52

Análisis no para métrico de Kruskal-Wallis (\*p ≤ 0,05 significativos)

**Año 2004**

En esta año el único elemento que estadísticamente significativo fue el zinc, y en este caso incremento su concentración con las mayores dosis de nitrógeno, es decir, 255 y 320 kg.ha<sup>-1</sup>. El resto de las variables en el suelo incluyen la materia orgánica no obtuvieron ninguna respuesta (Tabla 4.2.2.1f).

Tabla 4.2.2.1f. Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de nitrógeno. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
<b>N</b>	-1,68	0	1,28a	20a	108a	529a	33a	0,81a	6,38a	0,73b	13a
	-1	65	1,29a	26a	110a	291a	23a	1,02a	5,25a	0,91ab	13a
	0	160	1,45a	16a	88a	551a	49a	0,89a	5,40a	0,89ab	16a
	1	255	1,24a	18a	94a	548a	45a	0,87a	4,37a	0,94a	14a
	1,68	320	1,45a	26a	106a	459a	40a	1,09a	7,27a	1,14a	9a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan (p ≤ 0,05).

Las distintas dosis aplicadas de fósforo no produjeron ninguna variación en los contenido de materia orgánica y nutrientes del suelo (Tabla 4.2.2.1g).



Tabla 4.2.2.1g. Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de fósforo. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
<b>P</b>	-1,68	0	1,38a	16a	82a	589a	36a	0,91a	8,31a	0,73a	17a
	-1	41	1,25a	20a	90a	412a	32a	1,01a	4,87a	0,99a	13a
	0	100	1,41a	17a	94a	551a	49a	0,86a	5,16a	0,93a	14a
	1	160	1,28a	24a	114a	427a	36a	0,88a	4,75a	0,87a	14a
	1,68	200	1,53a	25a	106a	395a	36a	1,14a	6,56a	0,96a	19a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Los tratamientos de CA no afectaron los contenidos de nutrientes en el suelo (Tabla 4.2.2.1h). Se incrementó la MO con la dosis de 4000 Kg.ha<sup>-1</sup>, pero no fue estadísticamente significativo. Hubo un efecto sobre el hierro, valores bajos con las aplicaciones de CA en relación al tratamiento cero; las sustancias húmicas del abono orgánico pueden recubrir los óxidos de hierro y aluminio presentes en el suelo, disminuyendo así su disponibilidad, esto a su vez favorece la liberación de fósforo (Rivero, 1993).

Tabla 4.2.2.1h. Resultados del ANAVAR de las características del suelo El Rodeo para el tratamiento de cachaza. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
<b>CA</b>	-1,68	0	1,35a	14a	82a	456a	24a	0,89a	8,04a	0,75a	18a
	-1	811	1,18a	18a	81a	403a	38a	0,93a	2,75b	0,99a	12a
	0	2000	1,42a	18a	94a	550a	51a	0,88a	5,36ab	0,91a	14a
	1	3189	1,35a	16a	123a	435a	30a	0,97a	6,87a	0,86a	15a
	1,68	4000	1,50a	23a	104a	532a	39a	1,08a	5,79ab	1,05a	14a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Durante el ciclo de cultivo 2004 las características del suelo experimental fueron muy homogéneas y no hubo efecto significativo de la

aplicación de los tratamientos sobre las características químicas del suelo (Tabla 4.2.2.1i).

Tabla 4.2.2.1i. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas del suelo El Rodeo. Año 2004.

Tratamiento	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
<b>N</b>	0,650	0,284	0,346	0,199	0,624	0,479	0,614	0,421	0,486
<b>P</b>	0,893	0,816	0,450	0,503	0,873	0,390	0,577	0,625	0,532
<b>CA</b>	0,487	0,513	0,137	0,624	0,383	0,918	0,104	0,705	0,863

(\*p ≤ 0,05 significativos)

#### **4.2.2.2. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas foliares y el rendimiento del cultivo maíz en el suelo El Rodeo.**

##### **Año 2003**

En la Tabla 4.2.2.2a, se aprecia que la aplicación del nitrógeno no presenta diferencias en el tejido foliar en ningún tratamiento, mientras que en el rendimiento del cultivo mejora los rendimientos con todos los tratamientos que incluyen nitrógeno con respecto al tratamiento (-2) de 0 nitrógeno.

Tabla 4.2.2.2a. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo El Rodeo. Año 2003.

Tr	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	K %	Ca %	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>N</b>	-2	0	2,40a	2,30a	0,57a	14a	54a	147a	3770b
	-1	80	2,07a	2,10a	0,65a	13a	52a	157a	6803a
	0	160	2,20a	2,22a	0,72a	13a	59a	154a	6869a
	1	240	2,01a	2,38a	0,64a	13a	62a	140a	6891a
	2	320	2,12a	2,06a	0,76a	14a	63a	131a	6167a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan (p ≤ 0,05).

Las aplicaciones de fósforo mejora el aprovechamiento del nitrógeno por parte de la planta con la dosis central, es decir, 120 kg.ha<sup>-1</sup>. Mientras que el

rendimiento se incrementa con las dosis 1, central y -1, es decir, 180 kg.ha<sup>-1</sup> 120 kg.ha<sup>-1</sup> y 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente (Tabla 4.2.2.2b).

Tabla 4.2.2.2b. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo El Rodeo. Año 2003.

Tr	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	K %	Ca %	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>P</b>	-2	0	1,87b	1,78a	0,51a	12a	50a	119a	4748b
	-1	60	2,02ab	2,28a	0,61a	14a	54a	152a	6800a
	0	120	2,29a	2,28a	0,74a	13a	60a	149a	6854a
	1	180	2,06ab	2,21a	0,68a	13a	59a	144a	6893a
	2	240	2,06ab	2,24a	0,67a	14a	62a	184a	5272ab

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Los tratamientos de potasio no tuvieron influencia sobre los contenidos de nutrientes de la planta. El rendimiento por su parte se incremento y fue estadísticamente significativo con las dosis entre 40 y 120 kg.ha<sup>-1</sup>, encontrándose en valor absoluto mayor para esta última dosis (Tabla 4.2.2.2c).

Tabla 4.2.2.2c. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de potasio. Suelo El Rodeo. Año 2003.

Tr	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	K %	Ca %	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>K</b>	-2	0	2,29a	2,30a	0,54a	13a	57a	127a	4311b
	-1	40	2,09a	2,40a	0,61a	13a	60a	162a	6779a
	0	80	2,24a	2,19a	0,76a	13a	59a	159a	6848a
	1	120	1,99a	2,09a	0,68a	13a	53a	135a	6915a
	2	160	1,99a	2,22a	0,55a	12a	56a	123a	5746ab

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

El abono orgánico cachaza (CA) tampoco incidió sobre las concentraciones foliares (Tabla 4.2.2.d), sin embargo en el rendimiento se presentó un aumento importante y significativo estadísticamente con las dosis de 2000 y 3000 kg.ha<sup>-1</sup>, siendo esta última la que produjo un mayor rendimiento en términos absolutos.

Tabla 4.2.2.d. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo El Rodeo. Año 2003.

Tr	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	K %	Ca %	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
CA	-2	0	2,32a	2,27a	0,68a	12a	47b	126a	4321b
	-1	1000	1,98a	2,06a	0,67a	12a	57ab	135a	6001ab
	0	2000	2,21a	2,16a	0,69a	13a	59ab	153a	6802a
	1	3000	2,11a	2,43a	0,62a	14a	56ab	162a	7692a
	2	4000	2,15a	2,44a	0,81a	14a	67a	156a	6015ab

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En la experimentación del ciclo 2003, se encontró un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo con las aplicaciones de N,P,K y CA; el cual al analizar el conjunto de datos en forma global es estadísticamente significativo con el abono orgánico (Tabla 4.2.2.e).

Tabla 4.2.2.e. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en suelo El Rodeo. Año 2003.

Tratamiento	N %	K %	Ca %	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
N	0,38	0,40	0,79	0,77	0,41	0,58	0,113
P	0,01*	0,25	0,32	0,49	0,76	0,29	0,314
K	0,47	0,47	0,08	0,64	0,43	0,31	0,491
CA	0,54	0,24	0,31	0,29	0,49	0,60	0,012*

(\* $p \leq 0,05$  significativos)

**Año 2004**

En este año los tratamientos de nitrógeno destaca una incidencia sobre el rendimiento del maíz estadísticamente significativa con las dosis de 255 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.2.2f).

Tabla 4.2.2.2f. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo El Rodeo. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>N</b>	-1,68	0	2,49a	0,85a	0,43a	8,24a	140ab	16b	61a	3610b
	-1	65	1,53b	0,83a	0,42a	7,08a	132b	26a	55a	5646ab
	0	160	2,30a	0,92a	0,49a	8,53a	139ab	20ab	55a	5739ab
	1	255	1,26b	0,85a	0,46a	6,63a	132b	21ab	58a	6256a
	1,68	320	2,15a	0,80a	0,51a	7,26a	164a	22ab	42a	5544ab

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Por su parte las dosis aplicadas de fósforo incrementaron el rendimiento del maíz obteniendo valores similares con las máximas dosis de fósforo aplicadas (Tabla 4.2.2.2g).

Tabla 4.2.2.2g. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo El Rodeo. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>P</b>	-1,68	0	2,44a	0,72b	0,39a	5,79a	125a	14b	58a	3465b
	-1	41	1,43b	0,89ab	0,47a	7,98a	135a	25a	55a	5847a
	0	100	2,36a	0,95a	0,51a	8,92a	144a	21a	55a	5663a
	1	160	1,36b	0,79ab	0,40a	5,72a	129a	22a	57a	6055a
	1,68	200	1,94ab	0,74ab	0,42a	7,77a	150a	20ab	42a	6067a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Las aplicaciones de cachaza mejoraron los contenidos de los nutrientes cobre y zinc, y con la dosis de 3189 kg.ha<sup>-1</sup> se obtuvo el mayor rendimiento del cultivo (Tabla 4.2.2.2h).

Tabla 4.2.2.2h. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo El Rodeo. Año 2004.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>CA</b>	-1,68	0	2,18a	0,67c	0,52a	5,06b	130a	17b	54a	3305c
	-1	811	1,44b	0,89ab	0,46a	8,65a	138a	23ab	55a	4884bc
	0	2000	2,41a	0,96a	0,47a	8,75a	145a	20ab	56a	5849ab
	1	3189	1,35b	0,79abc	0,42a	5,74ab	127a	24a	57a	7017a
	1,68	4000	1,93ab	0,75bc	0,50a	8,64a	142a	22ab	43a	5299bc

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

El análisis de varianza de los datos indicó un efecto estadísticamente significativo del abono orgánico sobre las concentraciones del calcio y el cobre, y fueron mayores con la aplicación de las dosis centrales de CA. Asimismo hubo efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo (Tabla 4.2.2.2i).

Tabla 4.2.2.2i. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en el suelo El Rodeo. Año 2004.

Tr.	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>N</b>	0,677	0,975	0,713	0,379	0,358	0,253	0,932	0,453
<b>P</b>	0,748	0,081	0,168	0,136	0,667	0,219	0,981	0,343
<b>CA</b>	0,475	0,039*	0,544	0,035*	0,578	0,858	0,975	0,013*

(\* $p \leq 0,05$  significativos)

**4.2.2.3. Dosis óptima y económica de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y CA en el diseño Central Rotable para el suelo El Rodeo.**

**Año 2003**

El análisis estadístico de regresión múltiple de la variable rendimiento para este suelo (Tabla 4.2.2.3a), determinó un efecto lineal significativo ( $P \leq 0,5$ ) para la variable CA, resultando no significativo para los tratamientos y las interacciones de los demás elementos. En ocasiones esta no significancia puede estar asociada a las cantidades de los elementos ya existentes en el suelo antes de la siembra sobre todo en los niveles de fósforo y potasio (Chacín, 1991), y a los requerimientos del híbrido.

Tabla 4.2.2.3a Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y su significancia para el suelo El Rodeo. Año 2003.

<b>Parámetros</b>	<b>Parámetros estimados</b>	<b>T students</b>
Constante	7575	24,7**
CA	746	4,2**
CA <sup>2</sup>	-216	-1,3 NS
K	168	0,95 NS
K <sup>2</sup>	-285	-1,8 NS
KCA	49	0,24 NS
N	313	1,77 NS
N <sup>2</sup>	290	-1,84 NS
NCA	136	0,66 NS
NK	-348	-1,68 NS
NP	430	2,08 NS
P	169	0,95 NS
P <sup>2</sup>	-45	-0,28 NS
PCA	53	0,26 NS
PK	112	0,54 NS

\*\* Diferencias estadísticas al 1%. NS: No significativo.

La ecuación general de regresión polinomial cuadrática resultante obtuvo un coeficiente de determinación del 76%, lo cual se considera óptimo (Chacín, 1998).

**Ecuación del modelo:**

$$Y = 7575 + 746CA - 216CA^2 + 168K - 285K^2 + 49K.CA + 313N - 291N^2 + 136N.CA - 348N.K + 430N.P + 169P - 45P^2 + 53P.CA + 112P.K$$

Parámetros estadísticos:  $r = 0.87$   $B2 = 0,76$   $Sigf. = 0,01$   $\% CV = 12,8$

Para el establecimiento de las dosis máximas y las óptimas sobre el rendimiento se procedió a graficar el rendimiento en función de cada tratamiento aplicado de N, P, K y CA; partiendo de la ecuación general de regresión anterior. De esta forma se obtuvieron las siguientes ecuaciones de predicción:

- Nitrógeno (Figura 17):  $Y = 7575 + 313N - 291N^2$
- Fósforo (Figura 18):  $Y = 7575 + 169 P_2O_5 - 45 (P_2O_5)^2$
- Potasio (Figura 19):  $Y = 7575 + 168K_2O - 285(K_2O)^2$
- Cachaza (Figura 20):  $Y = 7575 + 746CA - 216CA^2$

**Dosis Máximas**

Para el nitrógeno, la respuesta no fue estadísticamente significativa, sin embargo se obtuvo una respuesta biológica y comercial importante, el rendimiento máximo se alcanza con una dosis de 200 kg.ha<sup>-1</sup> produciéndose luego un descenso del rendimiento (Figura 17).

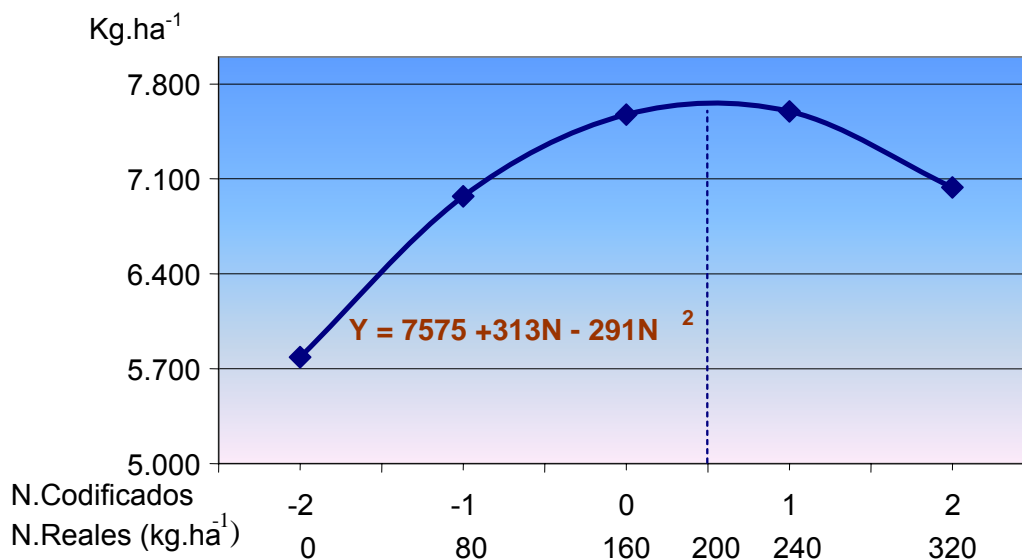


Figura 17. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2003



Esta repuesta del N, sugiere que estos suelos requieren mayor cantidad de este elemento posiblemente debido a los contenidos iniciales de N mineral y de materia orgánica del suelo (Delgado y Cabrera de Bisbal, 1998), a la mayor absorción de N por los híbridos (Delgado *et al*, 2004) y a la inmovilización del N por parte de la cachaza (Zerega, 1993).

En la Figura 18 se observa que la repuesta a la aplicación de fósforo es muy débil, por consiguiente no es posible establecer las dosis: óptima y económica, ya que los rendimientos entre la dosis central, fueron casi iguales, el rendimiento máximo fue obtenido con 240 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

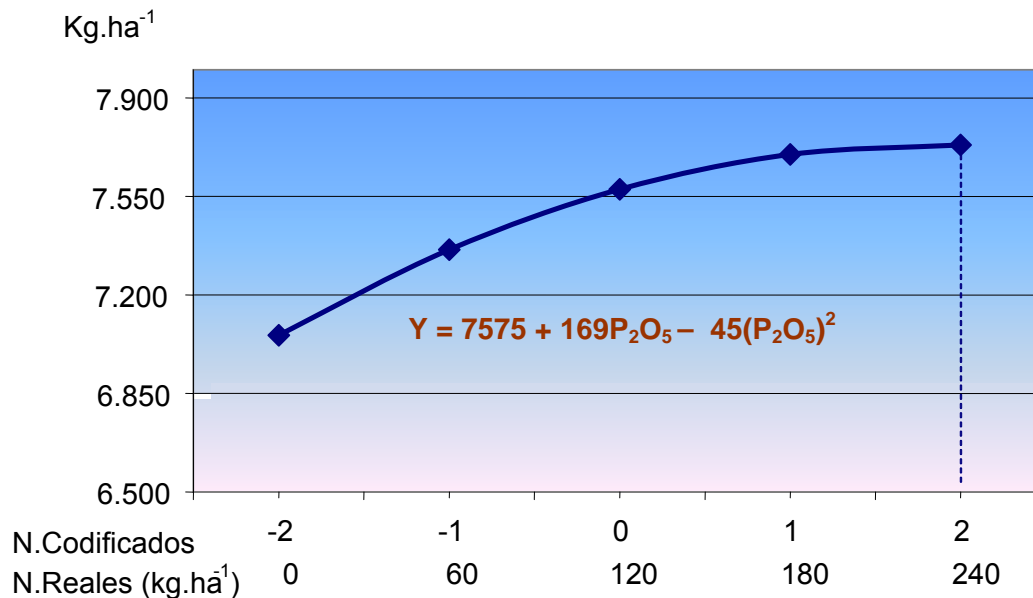


Figura 18. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2003

La repuesta del potasio fue no significativa, al igual que el nitrógeno causo cambios importantes en el rendimiento (Figura 19). Se observa que la dosis se ubicó en el nivel central, es decir, 80 kg.ha<sup>-1</sup>, de K<sub>2</sub>O.

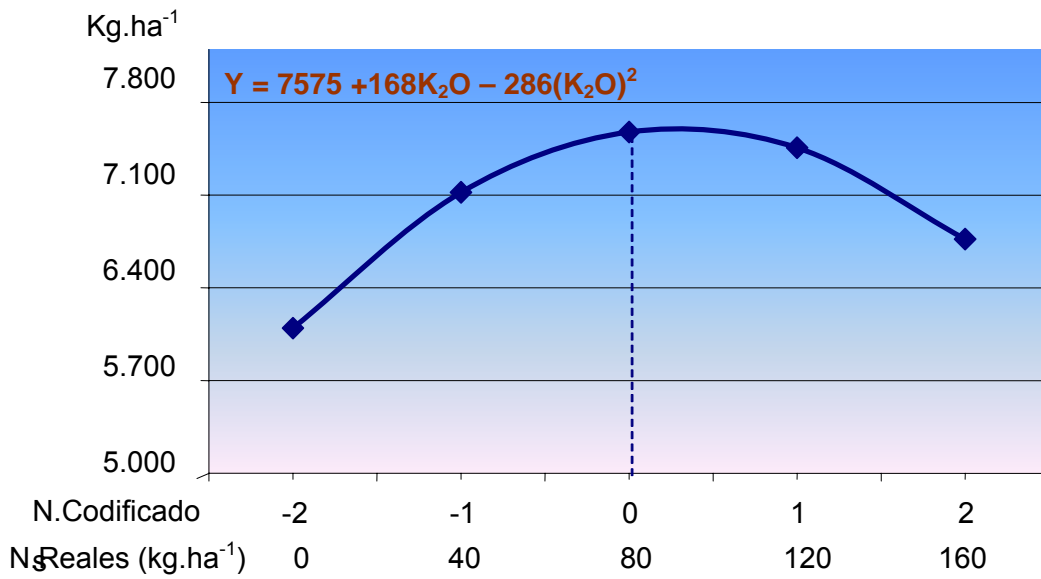


Figura 19. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs Niveles codificados y reales de potasio aplicado. Año 2003

La Figura 20, muestra que la cachaza tiene una respuesta máxima de rendimiento con la aplicación entre 3000 y 4000 kg.ha<sup>-1</sup> de CA al suelo, lo cual se encuentra por encima de lo recomendado por las empresas productoras de fertilizantes (CENTRAL LA PASTORA).

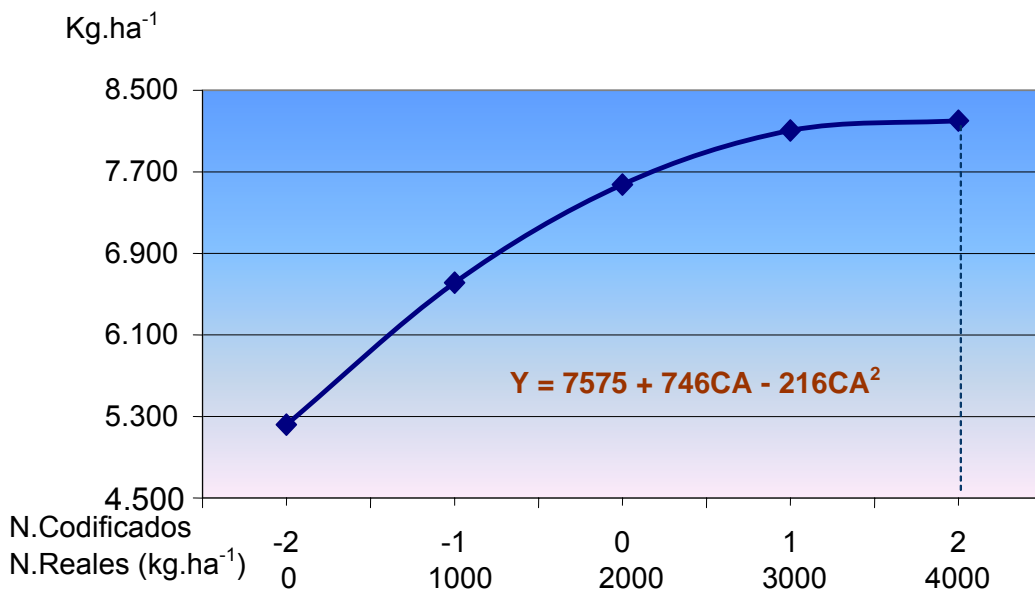


Figura 20. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2003

**Dosis óptimas y económicas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y CA**

Para obtener los valores de las dosis óptimas económicas se realizó la primera derivada del rendimiento con respecto a cada factor (CA, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O), en el caso de la dosis óptima se igualó a cero, como se mencionó en el capítulo de materiales y métodos.

En la tabla 4.2.2.3b, se señalan las dosis óptimas y económicas resultantes para este suelo en el año 2003, las cuales fueron bastante similares.

Tabla 4.2.2.3b. Dosis óptimas y económicas del suelo El Rodeo. Año 2003

Fertilizante	Unidad codificada para dosis óptima	Dosis óptima (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Costo fertilizante / costo Kg maíz	Unidad codificada para dosis económica	Dosis económica (Kg.ha <sup>-1</sup> )
N	0,54	203	1,27	0,54	203
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,88	233	2,78	1,85	231
K <sub>2</sub> O	0,29	92	2,50	0,29	92
CA	1,73	3730	0,16	1,72	3720

Las dosis de nitrógeno y fósforo resultaron mayores que las establecidas en las tablas de recomendaciones de fertilización para este tipo de suelo (Arenas y Rodríguez, 2002); mientras que las dosis del potasio se correspondieron con los valores reseñados en la tabla de recomendación de fertilización para el cultivo del maíz.

En cuanto a la cachaza, el resultado de 3720 Kg.ha<sup>-1</sup>, determina que la dosis requerida por el suelo está por encima de lo recomendado por la empresa CENTRAL LA PASTORA (2000 Kg.ha<sup>-1</sup>).

**Año 2004**

En la Tabla 4.2.2.3c, se señalan los resultados del análisis estadístico de regresión múltiple de la variable rendimiento para el suelo con sus respectivos estimadores y significancia estadística para el suelo El Rodeo en el diseño Central Rotable, año 2004.

Tabla 4.2.2.3c. Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo El Rodeo. Año 2004

Parámetros	Parámetros estimados	T students
Constante	6241	17,1 **
CA	721	3,1 **
CA <sup>2</sup>	-413	-1,7 NS
N	260	1,1 NS
N <sup>2</sup>	218	-0,91 NS
NCA	-263	-0,87 NS
NP	517	1,72 NS
P	307	1,31 NS
P <sup>2</sup>	-85	-0,352 NS
PCA	-86	-0,287 NS

\*\* Diferencias estadística al 1%. NS: no significativo.

De igual forma que para el año 2003, el rendimiento en el cultivo del maíz, solamente fue significativo para el efecto lineal de la variable cachaza, no hubo respuesta con las variables de nitrógeno (N) y fósforo (P) en sus formas lineales y cuadráticas, tampoco se presentaron interacciones entre los elementos, y entre ellos y la cachaza.

El modelo general de regresión resultante obtenido fue:

Modelo: $Y = 6241 + 722CA - 413CA^2 + 260N - 218N^2 - 263N.CA + 517N.P + 307P - 85P^2 - 86P.CA$
---

Parámetros estadísticos: $r = 0,84$ $B2 = 0,71$ $Sigf. = 0,03$ $\%CV = 17.0$
--

Las ecuaciones del rendimiento para cada factor son los siguientes:

Nitrógeno (Figura 21):  $Y = 6241 + 260N - 218N^2$

Fósforo (Figura 22):  $Y = 6241 + 307 P_2O_5 - 85 (P_2O_5)^2$

Cachaza (Figura 23):  $Y = 6241 + 722CA - 413CA^2$

La respuesta al nitrógeno no fue significativa, sin embargo se observó una respuesta biológica importante alrededor de la dosis de 200 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 21).

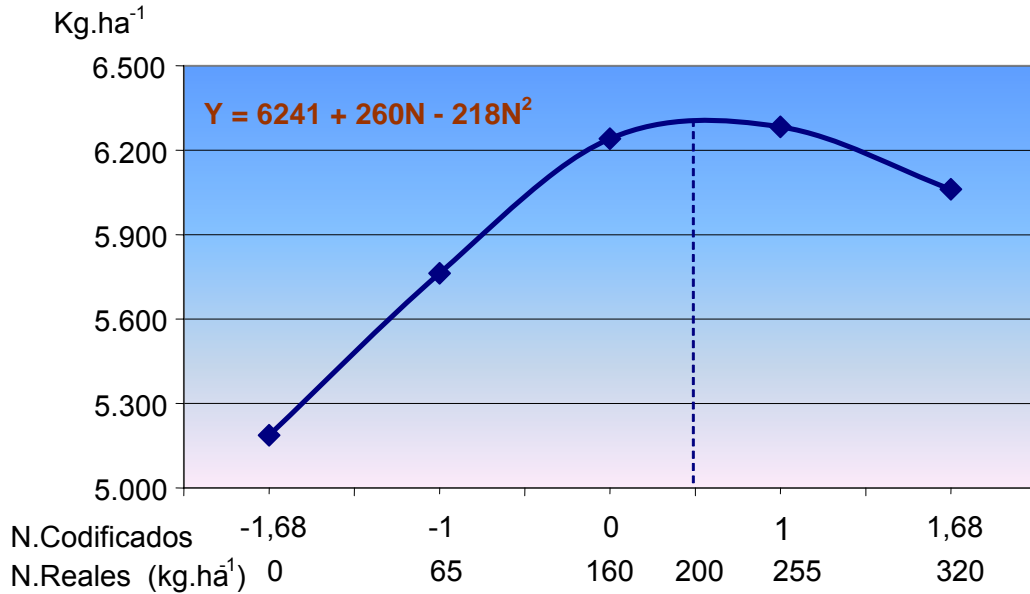


Figura 21. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2004

La respuesta del rendimiento del cultivo maíz para el elemento fósforo (Figura 22), presentó similar tendencia que en el caso del 2003 (Figura 18), la máxima dosis se ubica alrededor de 200 kg.ha<sup>-1</sup>, sin embargo para obtener la respuesta cuadrática que se esperaba se debe incluir una dosis mayor de 240 kg.ha<sup>-1</sup> para poder establecer la dosis de mayor rendimiento.

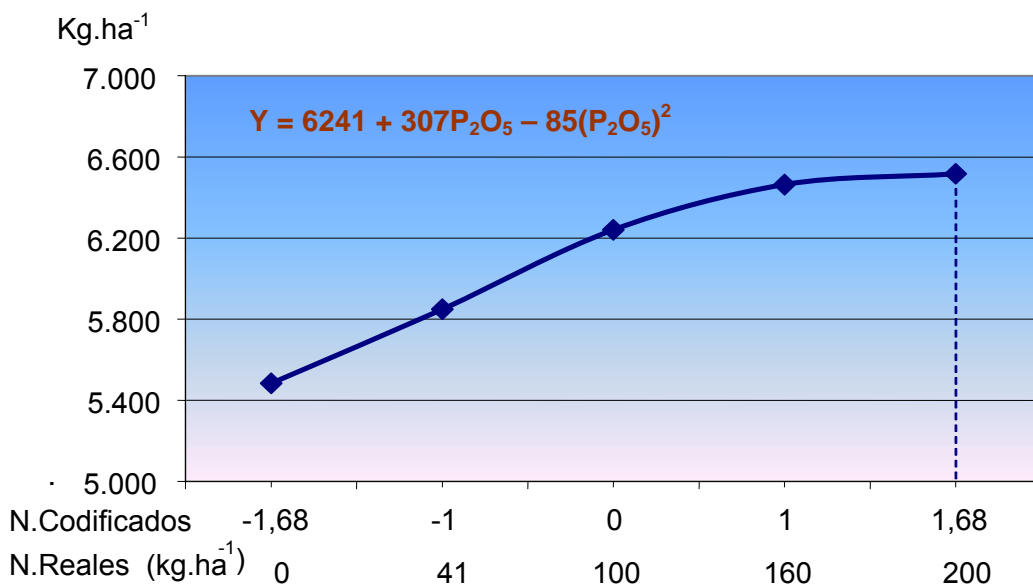


Figura 22. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2004

El valor máximo del rendimiento con el abono orgánico (cachaza) se consiguió con dosis entre 3000 y 3200 Kg.ha<sup>-1</sup>, este resultado coincidió con el encontrado en el año 2003 para este suelo (Figura 23).

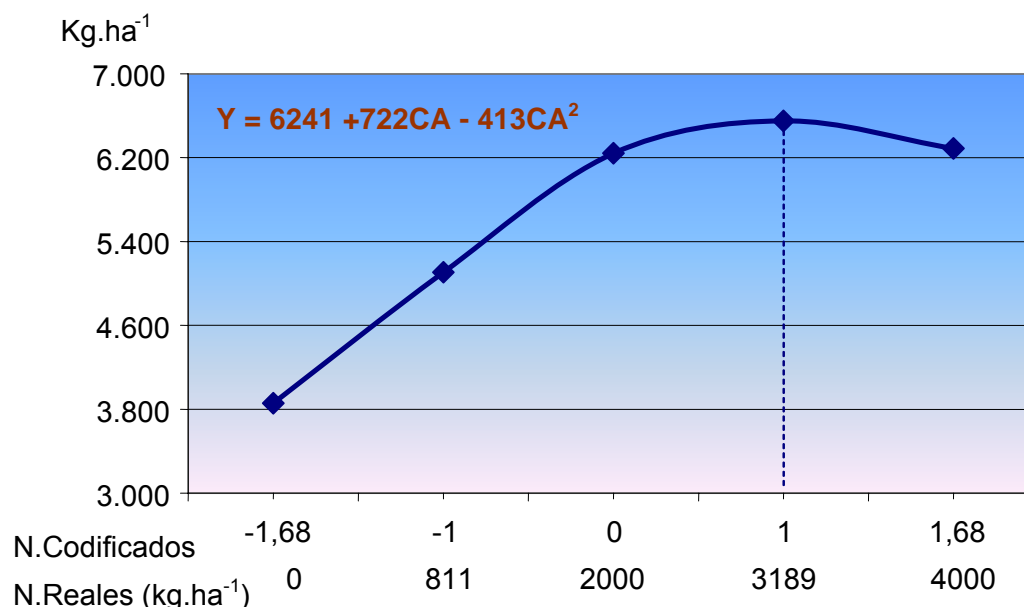


Figura 23. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo El Rodeo sus niveles codificados y reales de cachaza aplicado. Año 2004

### Dosis óptimas y económicas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CA

Los cálculos matemáticos condujeron a las dosis óptimas y económicas con sus respectivas unidades codificadas siguientes (Tabla 4.2.2.3d):

Tabla 4.2.2.3d. Dosis óptimas y económicas del suelo El Rodeo. Año 2004

Elemento	Unidad codificada para dosis óptima	Dosis óptima (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Costo fertilizante variable/ costo Kg maíz	Unidad codificada para dosis económica	Dosis económica (Kg.ha <sup>-1</sup> )
N	0,59	216	1,27	0,59	216
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.81	207	2,78	1,80	207
CA	0.87	3039	0,16	0,87	3039

Cuando se comparan los resultados del año 2003 con los obtenidos en al año 2004 para este suelo Alcalino, se verifica que la dosis optima y económica de la cachaza para el suelo corresponde a 3000 kg.ha<sup>-1</sup> y las dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> resultaron mayores que la central recomendada por el INIA. Estos resultados están de acuerdo al señalado por Casanova, (1996), quienes

recomienda dosis mayores de N y P para los nuevos híbridos comerciales de maíz en Venezuela.

**4.2.2.4. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas del suelo La Virgen.**

**Año 2003**

Los tratamientos de nitrógeno aplicados en este suelo, exceptuando para el K cuyo contenido se elevó con la mayor dosis (320 Kg.ha<sup>-1</sup>) y fue estadísticamente significativa, en el resto de las variables medidas no se apreció ningún cambio (Tabla 4.2.2.4a).

Tabla 4.2.2.4a. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de nitrógeno. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm
N	-2	0	4,85a	0,95a	19a	136a	95a
	-1	80	4,61a	0,94a	18a	125a	94a
	0	160	4,69a	0,99a	19a	129a	106a
	1	240	4,61a	1,01a	18a	138a	80a
	2	320	4,65a	0,95a	15a	134a	101a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
N	-2	0	20ab	1,00a	45a	76a	27a
	-1	80	16b	0,77a	51a	72a	19a
	0	160	19ab	0,84a	54a	78a	25a
	1	240	18ab	0,89a	55a	93a	22a
	2	320	23a	0,93a	46a	98a	22a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En el caso de las dosis aplicadas de fósforo solamente produjo un cambio estadísticamente significativo en el contenido de cobre en el suelo, y esto sucedió con la mayor dosis, es decir, 240 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.2.4b).

Tabla 4.2.2.4b. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de fósforo. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm
<b>P</b>	-2	0	4,70a	0,88a	12a	126a	80a
	-1	60	4,69a	0,96a	16a	148a	93a
	0	120	4,70a	1,01a	20a	130a	110a
	1	180	4,54a	0,99a	20a	114a	81a
	2	240	4,75a	0,93a	13a	140a	88a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
<b>P</b>	-2	0	16a	0,72ab	26b	72a	20a
	-1	60	18a	0,89ab	56a	95a	22a
	0	120	20a	0,85ab	55a	83a	25a
	1	180	16a	0,78ab	50a	70a	19a
	2	240	22a	1,04a	57a	72a	27a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En la Tabla 4.2.2.4c, se observa que las aplicaciones de potasio incidieron son las variables pH y Mn, pero los valores agronómicamente no son importante, ya que la condición ácida del suelo persiste y los contenidos de Mn se mantienen en niveles bajos.



Tabla 4.2.2.4c. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de potasio. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm
K	-2	0	4,51b	0,95a	16a	156ab	75a
	-1	40	4,70ab	0,96a	17a	126ab	72a
	0	80	4,69ab	0,99a	19a	121b	107a
	1	120	4,71ab	0,99a	19a	136ab	102a
	2	160	4,80a	1,00a	20a	168a	108a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
K	-2	0	17b	0,97a	51a	70a	27ab
	-1	40	15b	0,80a	53a	85a	20b
	0	80	19b	0,84a	50a	79a	24ab
	1	120	19b	0,86a	53a	80a	22ab
	2	160	28a	0,89a	66a	96a	29a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Las dosis aplicadas de abono orgánico (CA) sobre este suelo tampoco tuvo una influencia sobre las características químicas del suelo, produjo un cambio estadísticamente significativo en el contenido del magnesio con la mayor dosis de 4000 Kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4.2.2.4d).

Tabla 4.2.2.4d. Resultados del ANAVAR de las características química del suelo La Virgen para el tratamiento de cachaza. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm
CA	-2	0	4,75a	0,78b	19a	120a	86a
	-1	1000	4,55a	1,03a	19a	139a	92a
	0	2000	4,70a	1,02a	19a	134a	102a
	1	3000	4,68a	0,93a	17a	123a	82a
	2	4000	4,70a	0,93a	15a	122a	130a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
CA	-2	0	17b	0,89a	47a	65a	27a
	-1	1000	16b	0,83a	55a	82a	21a
	0	2000	19b	0,85a	53a	83a	24a
	1	3000	17b	0,84a	51a	83a	20a
	2	4000	28a	0,82a	51a	80a	23a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Al evaluar el total de los resultados mediante el ANAVAR (Tabla 4.2.2.4e), se tiene que la aplicación de CA tuvo un efecto positivo y significativo sobre el porcentaje de la materia orgánica del suelo.

Tabla 4.2.2.4e. Significancia estadística del análisis de varianza de las variables químicas del suelo La Virgen. Año 2003.

Tr.	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
N	0,354	0,536	0,882	0,710	0,795	0,367	0,240	0,612	0,422	0,150
P	0,282	0,643	0,140	0,071	0,491	0,242	0,051	0,108	0,293	0,127
K	0,075	0,634	0,631	0,021*	0,289	0,022*	0,668	0,361	0,850	0,193
CA	0,475	0,014*	0,823	0,195	0,460	0,065	0,891	0,915	0,913	0,544

(\* $p \leq 0,05$  significativos)

**Año 2004**

Para este año no se pudieron evaluar las características químicas del suelo La Virgen, porque al momento del muestreo el productor había pasado la rastra al campo, por lo que se perdió la información de ubicación de las parcelas.

**4.2.2.5. Efecto de los tratamientos sobre las características químicas foliares y el rendimiento del cultivo maíz en el suelo La Virgen.**

**Año 2003**

Con las dosis de 240 y 320 Kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno hubo un incremento importante en el rendimiento del cultivo y fue estadísticamente significativo con respecto al tratamiento cero nitrógeno, en el resto de los nutrientes no se apreció ningún efecto (Tabla 4.2.2.5a).

Tabla 4.2.2.5a. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Suelo La Virgen. Año 2003

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	P %	Ca %	Mg ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
N	-2	0	1,20a	0,24a	1,49a	0,26a	89a	879b
	-1	80	1,10a	0,20a	1,64a	0,30a	144a	1846ab
	0	160	1,36a	0,22a	2,07a	0,32a	121a	1912ab
	1	240	1,26a	0,24a	1,96a	0,33a	137a	2451a
	2	320	1,30a	0,15a	1,85a	0,36a	112a	3083a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En la Tabla 4.2.2.5b se señalan los valores obtenidos de las variables químicas por tratamiento de fósforo aplicado, el rendimiento se incrementó con las dosis de 180 y 240 Kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo y fue estadísticamente significativo, no se aprecian diferencias con los nutrientes medidos en el tejido foliar.

Tabla 4.2.2.5b. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Suelo La Virgen. Año 2003.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	P %	Ca %	Mg ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
P	-2	0	1,58a	0,23a	1,79a	0,30a	147a	785b
	-1	60	1,19a	0,22a	1,89a	0,36a	122a	1851ab
	0	120	1,31a	0,22a	2,04a	0,30a	110a	1936ab
	1	180	1,16a	0,22a	1,70a	0,30a	159a	2447a
	2	240	1,25a	0,15a	1,82a	0,44a	118a	3022a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Las diferentes dosis de potasio no produjeron efecto sobre ninguna de las variables medidas en las plantas de maíz, sin embargo los rendimientos obtuvieron un aumento importante con respecto a la dosis de cero aplicación (Tabla 4.2.2.5c).

Tabla 4.2.2.5c Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de potasio. Suelo La Virgen. Año 2003

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	P %	Ca %	Mg ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
K	-2	0	1,37a	0,14a	1,83a	0,35a	118a	948a
	-1	40	1,17a	0,22ab	1,69a	0,32a	131a	2172a
	0	80	1,37a	0,19ab	2,04a	0,29a	115a	2049a
	1	120	1,17a	0,25a	1,91a	0,31a	151a	2125a
	2	160	1,08a	0,26a	1,75a	0,42a	117a	2128a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En el caso de las dosis aplicadas de cachaza (Tabla 4.2.2.5d), se observa que el rendimiento fue mayor con las dosis de 2000 y 3000 Kg.ha<sup>-1</sup>, siendo mayor en términos absolutos con esta última dosis, los rendimientos se

incrementaron con respecto al tratamiento cero abono orgánico, lo que implica mejora en la condición del suelo cuando se incorpora la cachaza.

Tabla 4.2.2.5d. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Suelo La Virgen. Año 2003

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N %	P %	Ca %	Mg ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
CA	-2	0	0,84a	0,24a	1,19b	0,31a	119a	833b
	-1	1000	0,95a	0,22a	1,84a	0,31a	134a	1536ab
	0	2000	1,46a	0,22a	2,15a	0,31a	116a	2028a
	1	3000	1,40a	0,22a	1,76ab	0,33a	147a	2762a
	2	4000	1,00a	0,15a	1,67ab	0,32a	115a	1921ab

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

El análisis estadístico de varianza de los datos obtenidos en las variables químicas y en el rendimiento para este año en el suelo La Virgen muestran un efecto positivo y significativo sobre el rendimiento con la aplicación de cachaza, nitrógeno y fósforo (Tabla 4.2.2.5e).

Tabla 4.2.2.5e. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en el suelo La Virgen. Año 2003.

Tr.	N %	P %	Ca %	Mg Ppm	Fe ppm	Rend. kg.ha <sup>-1</sup>
<b>N</b>	0,842	0,771	0,510	0,158	0,627	0,041*
<b>P</b>	0,569	0,946	0,204	0,910	0,647	0,046*
<b>K</b>	0,899	0,222	0,269	0,888	0,967	0,659
<b>CA</b>	0,052	0,953	0,521	0,463	0,379	0,003*

(\* $p \leq 0,05$  significativos)

### **Año 2004**

La influencia de los tratamientos sobre los nutrientes foliares del maíz en el año 2004 se muestran en la Tabla 4.2.2.5f Al igual que en el año 2003, se elevó el rendimiento del cultivo con respecto al tratamiento cero nitrógeno, sin

embargo no fue estadístico significativo. Con respecto al contenido de nutrientes, existió una diferencia en el elemento fósforo con la dosis de 255 Kg.ha<sup>-1</sup>, y con el magnesio con la dosis central de 160 Kg.ha<sup>-1</sup>, el resto de los nutrientes no presentaron diferencias en su contenido.

Tabla 4.2.2.5f. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de nitrógeno. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
<b>N</b>	-1,68	0	1,80a	0,33b	2,15a	0,63a	0,36b
	-1	65	1,80a	0,38ab	2,85a	0,71a	0,56a
	0	160	1,93a	0,31b	2,60a	0,78a	0,56a
	1	255	1,68a	0,43a	2,97a	0,76a	0,49ab
	1,68	320	1,72a	0,33b	2,11a	0,69a	0,55a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
<b>N</b>	-1,68	0	20a	8,66a	244a	174a	1471a
	-1	65	20a	7,49a	112a	140a	2083a
	0	160	22a	7,12a	184a	184a	2307a
	1	255	23a	9,16a	144a	163a	1983a
	1,68	320	18a	2,87a	200a	170a	2296a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Con los tratamientos de fósforo (Tabla 4.2.2.5g), se encontró que la mayor concentración la produjo la dosis de 160 Kg.ha<sup>-1</sup> en el contenido del nutriente fósforo. No hubo respuesta con los otros nutrientes, excepto con los elementos hierro y manganeso donde estadísticamente se encontró significancia con el tratamiento cero de fósforo en relación a los otras dosis aplicadas, destacándose una disminución en la concentración que para el caso de este suelo, es importante, ya que los valores altos provocan baja

disponibilidad de otros nutrientes y toxicidad, que inhiben su absorción por la planta (Casanova, 2006). En lo que respecta al rendimiento no se encontraron diferencias estadísticamente significativa, no obstante en términos absolutos los valores son mayores con respecto al cero tratamiento.

Tabla 4.2.2.5g. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de fósforo. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
<b>P</b>	-1,68	0	1,70a	0,32b	2,47a	0,60a	0,43a
	-1	41	1,75a	0,39ab	2,15a	0,71a	0,53a
	0	100	1,96a	0,31b	2,64a	0,78a	0,54a
	1	160	1,73a	0,41a	2,97a	0,75a	0,52a
	1,68	200	1,68a	0,34ab	2,30a	0,69a	0,58a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
<b>P</b>	-1,68	0	20a	6,62a	365a	220a	1502a
	-1	41	22a	6,50a	125b	139b	2002a
	0	100	21a	7,34a	162b	178ab	2406a
	1	160	21a	10,15a	130b	173ab	2062a
	1,68	200	21a	3,81a	189b	152ab	1772a

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Las aplicaciones de las diferentes dosis de cachaza en el diseño de superficie de respuesta Central Rotable 2004 en el suelo La Virgen (Tabla 4.2.2.5h), indican diferencias estadísticamente significativas con los elementos nitrógeno, fósforo, calcio, sin embargo los resultados son inconsistente en cuanto a la dosis más adecuada. Destaca que con la dosis central de 100 Kg.ha<sup>-1</sup> y 160 Kg.ha<sup>-1</sup>, el rendimiento del cultivo fue considerablemente mayor y estadísticamente diferente de la dosis de 0 Kg.ha<sup>-1</sup>

Tabla 4.2.2.5i. Resultados del ANAVAR de las variables químicas foliares y rendimiento del cultivo maíz para el tratamiento de cachaza. Central Rotable 2004. Suelo La Virgen.

Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
CA	-1,68	0	1,34b	0,33ab	2,60a	0,59b	0,46a
	-1	41	1,52b	0,40a	2,86a	0,72ab	0,48a
	0	100	2,08a	0,31b	2,48a	0,75ab	0,54a
	1	160	1,96a	0,41a	2,26a	0,74ab	0,57a
	1,68	200	1,44b	0,35ab	2,99a	0,87a	0,58a
Tr.	Dosis Cod.	Dosis Real Kg.ha <sup>-1</sup>	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
CA	-1,68	0	20ab	6,63a	253a	159a	948b
	-1	41	18b	8,58a	125a	142a	1071b
	0	100	22ab	7,16a	207a	195a	2544a
	1	160	25a	8,07a	131a	161a	2995a
	1,68	200	20ab	4,71a	72a	129a	1632b

Medias de los tratamientos seguidas con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de media de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

De acuerdo a la Tabla 4.2.2.5j existe un efecto positivo significativo del abono orgánico (CA) sobre los contenidos de nitrógeno en la planta y en el rendimiento del cultivo maíz en el suelo La Virgen.

Tabla 4.2.2.5j. Significancia estadística del análisis de varianza con los datos obtenidos de las variables químicas y rendimiento del cultivo en el suelo La Virgen. Año 2004.

Tr.	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
N	0,661	0,617	0,121	0,519	0,372	0,305	0,555	0,791	0,679	0,511
P	0,894	0,949	0,230	0,471	0,971	0,774	0,545	0,226	0,206	0,378
CA	0,000*	0,888	0,172	0,171	0,819	0,082	0,972	0,378	0,148	0,000*

(\* $p \leq 0,05$  significativos)



**4.2.2.6. Dosis óptima y económica de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y CA en el diseño Central Rotable en el suelo La Virgen**

**Año 2003**

En la Tabla 4.2.2.6a se presenta el modelo de regresión para el rendimiento obtenido en el suelo La Virgen.

El modelo presentó una significancia con las variables cachaza (CA), nitrógeno (N) y fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en sus formas lineales. Las formas cuadráticas de las variables, así como las interacciones entre los elementos no fueron significativas estadísticamente.

Tabla 4.2.2.6a. Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo La Virgen. Año 2003

Parámetros	Parámetros estimados	T students
Constante	2141	8,11 **
CA	437	2,88 **
CA <sup>2</sup>	-178	-1,31 NS
K	0,10	0,06 NS
K <sup>2</sup>	-97	-0,72 NS
KCA	52	0,294 NS
N	416	2,74 **
N <sup>2</sup>	124	0,92 NS
NCA	245	1,38 NS
NK	129	0,72 NS
NP	290	-1,63 NS
P	335	2,21 **
P <sup>2</sup>	86	0,63 NS
PCA	138	0,78 NS
PK	20	0,12 NS

\*\*Diferencias estadísticas al 1%. NS: no significativo.

El modelo Central Rotable general resultante fue:

Modelo: $Y = 2141 + 437CA - 178CA^2 + 10K - 97K^2 + 52K.CA + 416N + 124N^2 + 245N.CA + 129N.K - 290N.P + 335P + 86P^2 + 138P.CA + 20P.K$
Parámetros estadísticos: $r = 0,81$ $B^2 = 0,66$ $Sigf. = 0,05$ $\%CV = 17.7$

Del modelo general anterior y siguiendo igual procedimiento para la obtención de las dosis máximas, óptimas y económicas para este suelo, se obtuvieron las siguientes ecuaciones cuadráticas:

Nitrógeno (Figura 24):  $Y = 2141 + 416N - 124N^2$

Fósforo (Figura 25):  $Y = 2141 + 335P - 86P^2$

Potasio (Figura 26):  $Y = 2141 + 10K - 97K^2$

Cachaza (Figura 27):  $Y = 2141 + 437CA - 178CA^2$

**Dosis Máximas**

La repuesta del nitrógeno fue estadísticamente significativa, sin embargo no se calcularon las dosis óptimas y económicas porque esta repuesta fue lineal en el rendimiento (Figura 24), esto puede ser atribuido a los requerimientos del híbrido y a los problemas de absorción de N en los suelos ácidos (Nelson, 1999); lo que significa que el establecimiento del rango de dosis a evaluar debió ser más amplio para obtener las dosis.

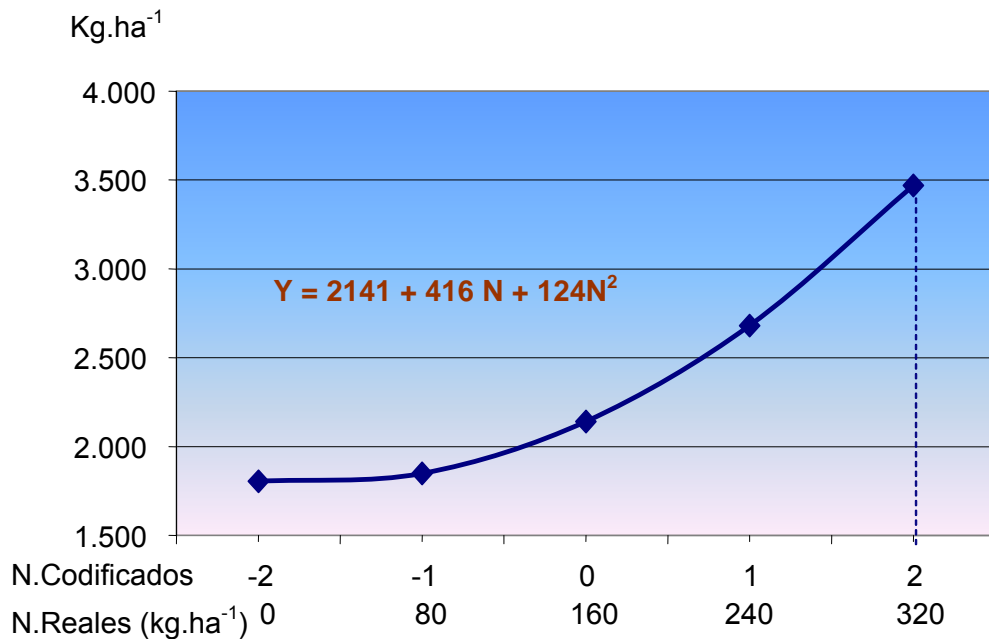


Figura 24. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2003

En la Figura 25 se aprecia que, al igual que en el caso del nitrógeno, la repuesta del rendimiento del fósforo fue lineal y estadísticamente significativa, en este caso debido a la fijación del elemento por la acidez del suelo la repuesta del

rendimiento a la aplicación de fósforo es lineal, y se requiere de mayores cantidades para satisfacer los requerimientos del cultivo.

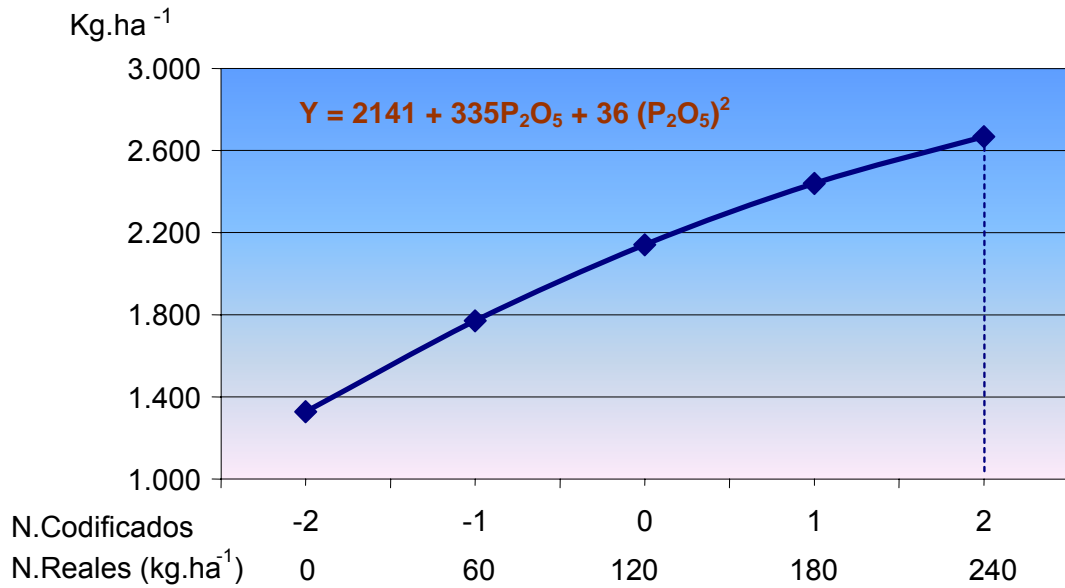


Figura 25. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2003

En el caso de las dosis de potasio, el rendimiento máximo del cultivo se alcanzó con la dosis de 80 Kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 26).

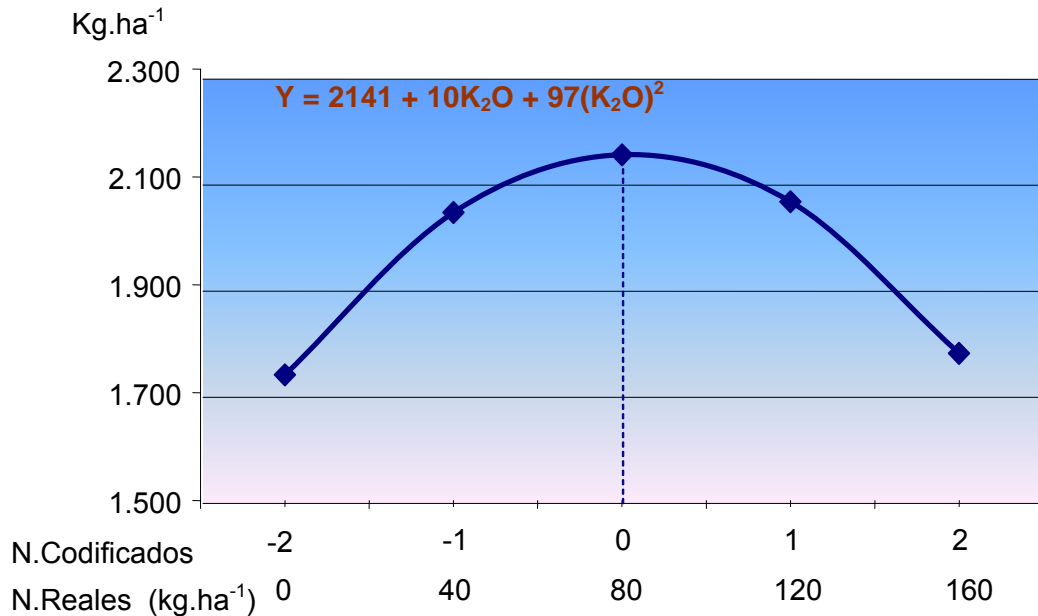


Figura 21. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de potasio aplicado. Año 2003

La influencia de la cachaza sobre el rendimiento del maíz máximo se alcanzó con la dosis de 3000 Kg.ha<sup>-1</sup> de cachaza (Figura 27).

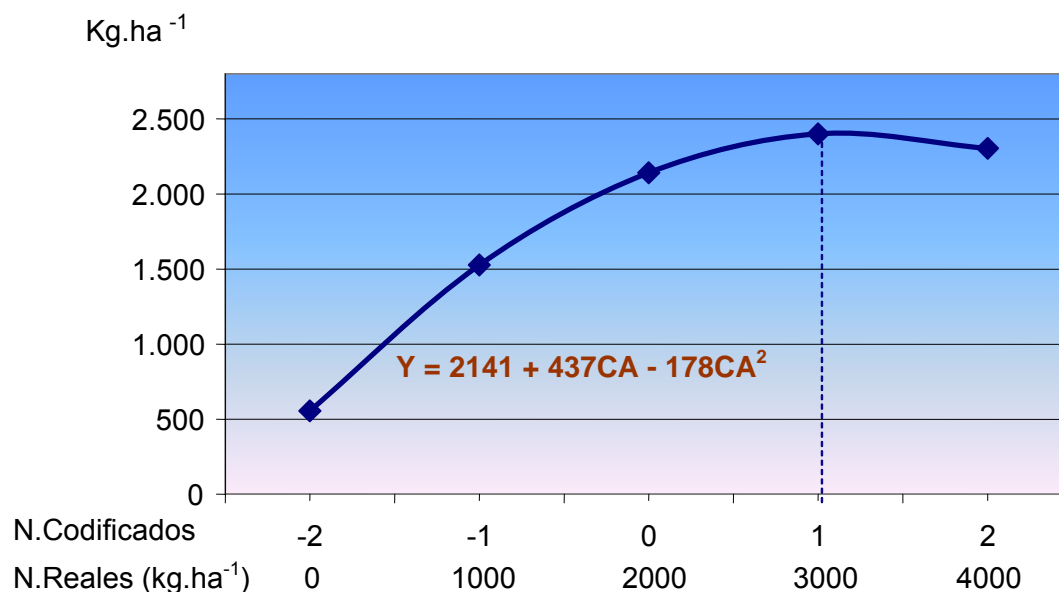


Figura 27. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2003

### **Dosis óptimas y económicas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CA**

Los valores absolutos de las dosis óptimas y económicas fueron calculados para los fertilizantes CA y K<sub>2</sub>O por presentar una tendencia cuadrática según el modelo de regresión (Tabla 4.2.2.6b), y estas fueron similares y se ubicaron en 3220 y 78 Kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Tabla 4.2.2.6b. Dosis óptimas y económicas del suelo La Virgen. Año 2003

Fertilizante	Unidad codificada para dosis óptima	Dosis óptima (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Costo fertilizante variable/costo Kg maíz	Unidad codificada para dosis económica	Dosis económica (Kg.ha <sup>-1</sup> )
CA	1,23	3230	0,16	1,22	3220
K <sub>2</sub> O	0,05	78	2,50	0,05	78

### **Año 2004**

En la Tabla 4.2.2.6c se presenta el modelo de regresión obtenido para el suelo La Virgen, con sus respectivos estimadores y significancia estadísticas, la respuesta del rendimiento fue significativo para el efecto lineal y cuadrático

de la variable cachaza, no hubo respuestas estadísticas con el resto de las variables, tampoco se presentaron interacciones entre los elementos.

Tabla 4.2.2.6c. Estimación de los parámetros de la ecuación de respuestas del rendimiento y significancia para el suelo La Virgen. Año 2004.

Parámetros	Parámetros estimados	T students
Constante	2675	11,23 **
CA	611	3,99 **
CA <sup>2</sup>	-439	-2,81 **
N	52	0,34 NS
N <sup>2</sup>	-19	-0,12 NS
NCA	99	0,51 NS
NP	101	0,51 NS
P	-37	-0,24 NS
P <sup>2</sup>	-194	-1,24 NS
PCA	113	0,58 NS

\*\*Diferencias estadísticas al 1%, NS: no significativa.

El modelo general obtenido fue:

$$\text{Modelo: } Y = 2675 + 611CA - 439CA^2 + 52N + 19N^2 + 99N.CA + 101N.P - 37P - 194P^2 + 113P.CA$$

Parámetros estadísticos:  $r = 0,84$      $B2 = 0,71$      $\text{Sigf.} = 0,03$      $\%CV = 14.7$

Los modelos de las ecuaciones cuadráticas obtenidos de cada factor fueron:

Nitrógeno (Figura 28):     $Y = 2675 - 9N - 38N^2$

Fósforo (Figura 29):     $Y = 2675 - 37P + 194 P_2O_5$

Cachaza (Figura 30):     $Y = 2675 + 611CA - 439CA^2$

La Figura 28 refleja que la dosis máxima para el nitrógeno de rendimiento del cultivo maíz se encontró entre 255 y 320 kg.ha<sup>-1</sup>.

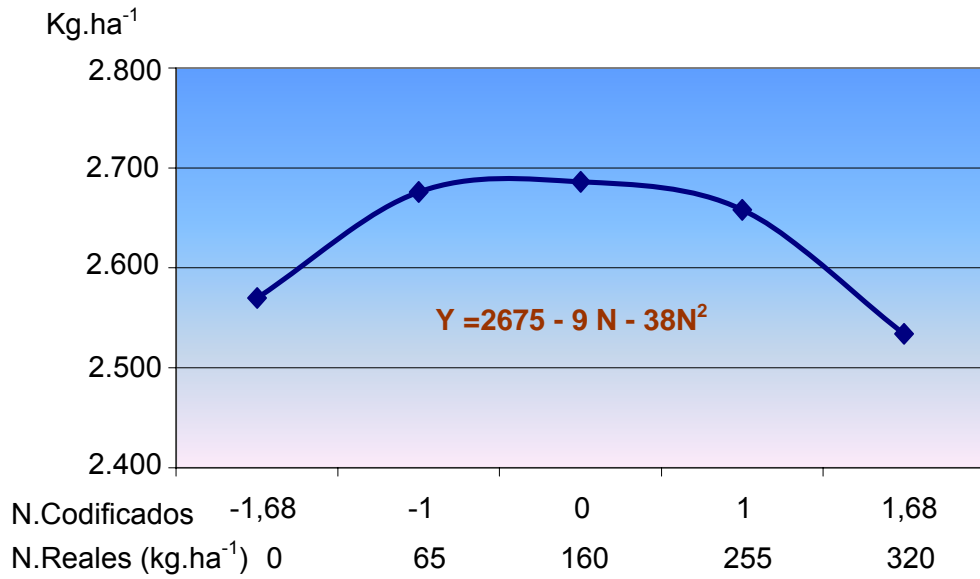


Figura 28. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de nitrógeno aplicado. Año 2004

Mientras que en la Figura 29, se observa el comportamiento del elemento fósforo, quien presentó un máximo rendimiento en la dosis central, es decir, en 100 kg.ha<sup>-1</sup>.

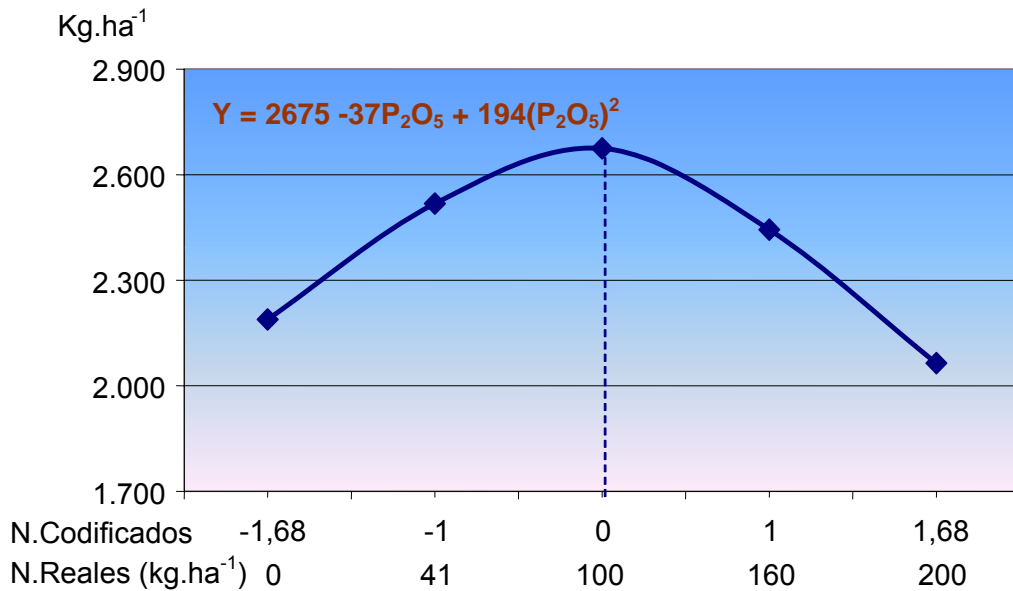


Figura 29. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen vs niveles codificados y reales de fósforo aplicado. Año 2004

En la Figura 30, se aprecia que el valor más alto del rendimiento del cultivo maíz, se alcanzó con dosis máximas de cachaza ,mayores a 2000 kg.ha<sup>-1</sup> y que comienza a descender a partir de 3189 kg.ha<sup>-1</sup>, y esto de acuerdo al modelo fue estadísticamente significativo, lo que implica una respuesta positiva a la incorporación del abono orgánico al suelo.

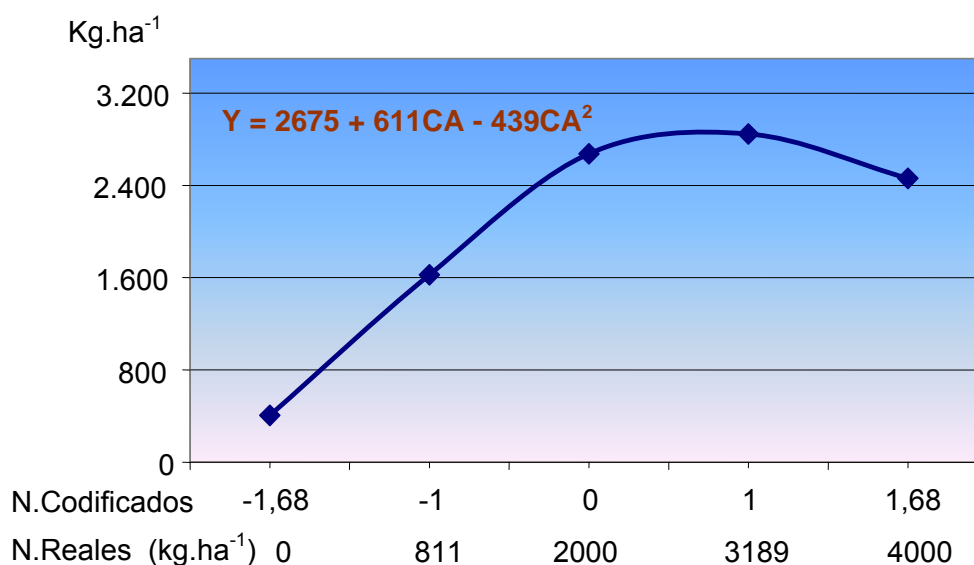


Figura 30. Rendimiento maíz (kg.ha<sup>-1</sup>) en el suelo La Virgen niveles codificados y reales de cachaza aplicada. Año 2004

### **Dosis óptimas y económicas de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CA**

Los valores de las dosis óptimas y económicas obtenidas para el suelo La Virgen se indican en la siguiente Tabla 4.2.2.6d.

Tabla 4.2.2.6d. Dosis óptimas y económicas del suelo La Virgen. Año 2004

Elemento	Unidad codificada para dosis óptima	Dosis óptima (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Costo fertilizante variable/ costo Kg. maíz	Unidad codificada para dosis económica	Dosis económica (Kg.ha <sup>-1</sup> )
N	1,35	193	1,27	1,33	191
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,095	100	2,78	-0,103	99
CA	0,70	2832	0,16	0,69	2820

Los resultados de los dos años de experimentos de superficies de respuestas, permiten inferir que:

- La influencia de las aplicaciones de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y CA, sobre los contenidos de los nutrientes en el suelo y en las plantas de maíz son

muy variables, de un año a otro y con respecto al tipo de suelo. No obstante existen mejoras en la materia orgánica con mayores dosis de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CA.

- La Materia orgánica eleva su contenido en ambos suelos con las aplicaciones de N y CA, sin superar los niveles de deficiencia. En algunos casos se presentan mejoras en los nutrientes fósforo, magnesio, cobre y zinc en el tejido foliar, aún cuando en el caso de los dos últimos se mantienen en valores bajos (Jones *et. al.*, 1991).
- Existió en los dos suelos bajo estudio una respuesta a la aplicación del abono orgánico (CA), sobre el rendimiento del cultivo, aumentando significativamente en el suelo de mejor condición, es decir, en el suelo Alcalino.
- Las dosis óptima y económica establecida por tipo de suelo y elemento en la Tabla 4.2.2.6e.

Tabla 4.2.2.6e. Rango de dosis óptimas y económicas (kg.ha<sup>-1</sup>) por tipo de suelo.

Fertilizante	Rango de dosis óptima/económica (kg.ha <sup>-1</sup> )	
	Suelo Alcalino	Suelo La Virgen
Cachaza (CA)	3000 - 3700	2820 -3220
Nitrógeno (N)	200 - 220	190
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	210 - 230	100
Potasio (K <sub>2</sub> O)	90	80

- La dosis óptima y económica de cachaza oscilaron en un rango entre 2800 y 3700 Kg.ha<sup>-1</sup>, esto destaca la necesidad que tienen estos suelos por elevar sus contenidos de materia orgánica, asimismo demandan mayores cantidades de nitrógeno y fósforo. En cuanto al



potasio en los dos suelos, no requiere de mayores cantidades a las dosis señaladas por las tablas de fertilización del INIA.

- Las cantidades de nutrientes o dosis de fertilizantes que se han sugerido para ser aplicadas al cultivo maíz en Venezuela, en función de los niveles de fertilidad del suelo, del potencial genético del cultivo y de las expectativas del agricultor, es decir, para obtener un aumento en el rendimiento entre 6000 y 8000 kg.ha<sup>-1</sup>, se han establecido alrededor de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 80 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 200 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Rengel, 2001) como dosis básicas de fertilización inorgánica.
- Destaca que en un estudio llevado a cabo por Martínez *et. al.*, (2007), con abonos orgánicos y fertilizantes NPK, sobre la producción de maíz forrajero en la Región Lagunera de México, la dosis de nitrógeno que reflejaba un incremento en el contenido de materia orgánica en el suelo es el que contenía 200 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, mientras que el mayor rendimiento lo consiguieron con el tratamiento que contenía 120 kg.ha<sup>-1</sup> de este elemento.
- Del presente estudio se desprende que, los valores encontrados para la dosis de nitrógeno se mantiene en 200 kg.ha<sup>-1</sup>, mientras que para el caso del fósforo es mayor en ambos suelos debido probablemente a las limitaciones de degradación persistente (contenidos de materia orgánica bajos y reacción del suelo (pH), ya que uno de los mecanismos de fijación de este elemento en el suelo mediante los cuales el nutriente pierde su disponibilidad, es la formación de precipitados insolubles al reaccionar con otros elementos en solución, tales como hierro y aluminio para el caso de los suelos ácidos; y calcio en suelos con tendencia alcalinas (Fasbender, 1980).
- Estos compuestos insolubles son llamados fosfatos estables y únicamente pueden hacerse disponibles con la utilización de enmiendas que aumenten o disminuyan el pH del suelo y/o incremente el contenido de la materia orgánica del suelo.

## **CONCLUSIONES**

### **I. CARACTERIZACIÓN DE LOS ABONOS ORGÁNICOS**

De la evaluación preliminar de los abonos orgánicos utilizados en el estudio: estiércoles de gallinaza (02) obtenidos bajo diferentes tratamiento y la cachaza, material residual compostado, producto del procesamiento de tallos de caña de azúcar, se concluye que:

- 1** Acorde con los resultados de las variables físicas evaluadas, se tiene que la cachaza presenta menor porcentaje de humedad con respecto a los estiércoles de gallinaza. Los valores altos de pH de los estiércoles pueden llevar a problemas de alcalinidad sobre todo en suelos de pH entre 6,0 y 7,5. De igual forma, los más altos valores de conductividad eléctrica y niveles de sodios encontrados en estas enmiendas podrían limitar su uso especialmente en suelos con conductividades eléctricas consideradas como altas.
- 2** En relación a las características de fertilidad de los abonos orgánicos se encontró que tanto los estiércoles de gallinaza como la cachaza presentaron importantes cantidades de elementos fertilizantes principalmente potasio y fósforo, y niveles de fertilidad similares, pudiendo ser consideradas como fuentes alternativas de nutrientes a los suelos.
- 3** Con base a las variables indicadoras medida que evaluaron la calidad de los abonos orgánicos como enmendantes, los tres abonos orgánicos de este estudio pueden ser aplicados a los suelos agrícolas, para la mejora de sus condiciones de degradación química, siendo el subproducto de la caña de azúcar quien presentó ventajas relativas de homogeneidad, menores contenidos de sodio y mayor grado de humificación de su materia orgánica, indicativo de un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de los suelos.

**II. SELECCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS APTO PARA EL SUELO Y EL CULTIVO**

- 1 La información generada permite indicar que la incorporación al suelo de residuos orgánicos de origen vegetal y animal, constituyen una forma de lograr mejoras en los niveles de pH observándose un efecto importante en el caso de los suelos ácido y con el uso de materiales compostados con polienzimas.
- 2 Los abonos aplicados en estos suelos en condición degradada, elevaron los contenidos de materia orgánica, aún cuando a nivel de la experiencia de campo no siempre fue estadísticamente significativo.
- 3 Las mejoras en suplencia de nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg y Zn resultaron evidentes en los dos suelos bajo estudio después de la aplicación de los abonos, e importante con el calcio en el suelo ácido, lo cual se convierte en alternativa para la corrección de acidez.
- 4 Los efectos observados sobre las distintas concentraciones de los microelementos evaluadas en el suelo, no presentaron un carácter consistente en ninguno de los suelos bajo estudio, por lo que se deduce que la práctica de incorporar residuos orgánicos deber ser sistemática, a los fines de garantizar un aporte permanente que permita mantener los beneficios que dicha práctica conlleva.
- 5 El comportamiento de los tres tipos de abonos orgánicos sobre la mayoría de los nutrientes del suelo, fue mas beneficiosos aquellos que utilizaron polienzimas en su preparación (EP2 y CA), siendo la cachaza la que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista estadístico.
- 6 Los análisis foliares permitieron determinar poca o ninguna relación entre la aplicación de los abonos orgánicos y el incremento de nutrimentos en las plantas de maíz. Se encontró poca consistencia en los resultados de un año al siguiente y en cada suelo. En algunos casos como en el suelo alcalino en la experiencia del 2003, se incrementaron los niveles de N, P y K y en otros, como en el suelo ácido se encontró un

incremento en ambos años, pero no suficientes como para ser considerados como normales para la planta. La cachaza, en los casos de los resultados favorables fue el abono orgánico con mejor comportamiento.

- 7 Los mayores rendimientos del cultivo del maíz estuvieron asociado con el abono orgánico de la cachaza de caña de azúcar, con respuestas similares en los dos años de experimentación en el suelo alcalino y, para el suelo ácido en el año donde las condiciones ambientales fueron más favorable. Los mayores incrementos en el rendimiento estuvieron ligados al abono orgánico la cachaza.
- 8 Con base a las consideraciones anteriores se concluyó que el abono orgánico, cachaza, fue el más ventajoso para el suelo y el cultivo del maíz, por tanto fue seleccionado para establecer las dosis óptimas y económicas de rendimiento del cultivo.

### **III. MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL ABONO SELECCIONADO (Cachaza)**

1. Las diferentes formas de mineralización del nitrógeno de la cachaza en los suelos bajos estudios está determinado por el pH de cada uno de ellos, y en este sentido la tasa de mineralización del suelo El Rodeo fue mucho mayor que en el caso del suelo La Virgen, y esto ocurrió en el momento de mayor requerimiento del elemento por parte del cultivo, lo cual es importante porque determina un mejor aprovechamiento del nutriente por parte del suelo y el cultivo.

### **IV. DOSIS ÓPTIMA Y ECONÓMICA DE NPK Y CA**

1. En general las aplicaciones de las dosis combinadas con cachaza produce cambios positivos sobre la fertilidad del suelo; mejora la suplenia de algunos nutrientes como el fósforo, magnesio, cobre y zinc. Estos resultados fueron menos apreciados en el suelo La Virgen como consecuencia de su condición ácida

2. La materia orgánica elevó su concentración en los suelos degradados estudiados con dosis combinadas de nitrógeno y cachaza, y se produjo un aumento en los contenidos de nitrógeno en la planta, de igual forma se incrementaron los rendimientos del cultivo significativamente con las aplicaciones de cachaza en los dos suelos.
3. Las dosis óptima y económica de NPK y CA para el suelo El Rodeo, fue de: 200-190-80 y 3350 Kg.ha<sup>-1</sup>; y de 200-100-80 y 3000 Kg.ha<sup>-1</sup> para el suelo La Virgen. Estos resultados sugieren una mayor demanda por parte de estos suelos, de los elementos nitrógeno, fósforo y de materia orgánica.

En esta investigación se demostró que la cachaza de caña de azúcar combinada con fertilizantes químico NPK, mejora las características de fertilidad de los suelos e incrementa significativamente el rendimiento del cultivo del maíz a nivel experimental, por lo que se recomienda transferir esta tecnología a nivel comercial a los productores afectados por la degradación de los suelos.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Abdennaceur H., Naceur J., Mohamed CH. Ali M'H., Abdelatif B., Oswald Van C.,** 1998. Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. *Bioresource Technology*. pp. 39-45.
- Aciego, J.** 1999. Efecto de la incorporación de un lodo de cervecería (crudo y compostado) sobre la biomasa microbiana de un suelo de baja fertilidad". *Memorias del XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. Lara, Venezuela. p 64.
- Acosta G.Y.** 2002. Mineralización del carbono, actividad enzimática y biomasa microbiana de un suelo de la región semi árida de Venezuela enmendado con residuos orgánicos. Tesis doctoral Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. 282p.
- Acosta Y., Paolini J., Benítez E.** 2004. Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)* 21:385-397.
- Adegbibi H.G., Briggs R.D.** 2003. Nitrogen mineralization of sewage sludge and composted poultry manure applied to willow in a greenhouse experiment. *Short communication in Biomass and Bioenergy* 25: 665-673.
- Adriano-Anaya L., Perezgrovas R., Rodríguez G.V., Salvador-Figueroa M.** 2007. Dinámica de la fertilidad del suelo bananero con la adición de materia orgánica. En *memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. León de Guanajuato, México. pp. 143-145
- Aguirre Y.C., Marrero M.** 1991. Efecto de la fertilización química y orgánica sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un diseño compuesto central rotatable a cinco niveles. Trabajo presentado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 151p.

- Akinola, A.A.** 1990. Organic-matter and soil fertility management in the humid tropics of Africa. Tropical Soils Program North Carolina State University. Department of Soil Science. U.S.A. pp. 232-243.
- Albaladejo J., Stocking M., Díaz E., Castillo V.** 1994. Land rehabilitation by urban refuse amendments in a semi-arid environment: effect on soil chemical properties. *Soil Technology* 7: 249-260.
- Altieri M., Nicholls C.I.** 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. México: PNUMA.
- Aluko, O.B., Koolen, A.J.** 2001. Dynamics and characteristics of pore space changes during the crumbling on drying of structured agricultural soils. *Soil & Tillage Research*. 58, 45-54.
- Ampueda J., Rivero C., Torres A., Cabrera E.** 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno". *Revista Agronomía Tropical*. Vol 32:14- 26.
- Anderson R.L., Nelson L.A.** 1971. Some problems in the estimation of single nutrients response functions. *Inst. of Statistics*. North Carolina State University. No. 244.
- Anez B., Espinoza W.** 2002. Fertilización química y orgánica invertida? Efectos interactivos o independientes sobre la producción de zanahoria. *Revista Forestal Venezolana*. 46(2): 47-54.
- Añez R.B.** 1979. El uso del estiércol en Los Andes. Monografía. I.I.A.P. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 14p.
- Anwar M., Patra D., Chand S., Kumar Alpesh, A. Naqvi, Khanuja S.P.S.** 2005. Effect of Organic Manures and Inorganic Fertilizer on Growth, Herb and Oil Yield, Nutrient Accumulation, and Oil Quality of French Basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 1737-1746.

- Araujo A. P., Pedingeiro B. M.** 1999. Caracterizacao de residuos organicos retirados de salinas e possibilidades de seu uso como fertilizante. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 23 (2). 433-440.
- Araujo M. G., Freitas L.J.R., Daniel, L.A.** 2002. Influencia do sistema de preparo sobre as características físicas de um latossolo vermelho. Memorias. XII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola y II Foro de la Agroindustria del Mezcal. Oaxaca, México.
- Arenas, S., Rodríguez, B.** 2002. Compendio de instructivos de fertilización del Ceniap. FONAIAP. Maracay. 62p.
- Argelia L. Escalona S.** 2002. Efecto de la aplicación de cachaza de caña y estiércol de pollo sobre el desarrollo de los cultivos de pimentón y cebolla en la zona de Quibor, estado Lara. Tesis Maestría Posgrado Horticultura. 110 p.
- Arrieche I., Ramirez R.** 1999. Absorción de zinc y su relación con la materia seca del maíz y el zinc del suelo. Revista Agronomía Tropical, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. 49(3):261-273.
- Arrieche I., Ramirez R.** 1997. Soil Test for Available Zinc in Acid Soils of Venezuela. Communication Soil Science and Plant Análisis. Vol. 28(17-18): 1471-1480.
- Arvidsson, J.** 1998. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. Soil & Tillage Research. 49, 159-170.
- Ayuso M., Pascual J.A., García C., Hernández T.** 1996. Evaluation of urban wastes for agricultural use. Soil Science Plant Nutrition. 42(1): 105-111.
- Bahman E.** 2002. Waste Management. Soil Properties as Influenced by Phosphorus- and Nitrogen-Based Manure and Compost Applications. Published in Agronomy Journal. Vol. 94:128-135.



- Baquero C., Toloza A., López A., García J., Torregroza G. Diaz O., Urbina A., López A., Montes M., Hessen F., Bracho L., Corredor G., Luna J.** 2000. Respuesta de la yuca a la fertilización química y orgánica en suelos de la región del Caribe. *Suelos Ecuatoriales*. 30(1) 1-7.
- Barbara Chaves B., De Neve S., Hofman G., Boeckx P., Van Cleemput O.** 2003. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. *European Journal of Agronomy*, Article in press. pp: 1-10.
- Barreto J.R.** 2004. Materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos. *Revista Tecnicaña*, primera actualización Norma Técnica Colombiana 5167. pp. 33-40.
- Barriocanal L.** 2006. Evaluación de la utilidad agronómica de productos obtenidos por transformación anaeróbica de bioresiduos. Tesis de Grado. Departamento de Producción Vegetal. Palencia. Universidad de Valladolid. España. 190p.
- Beloso S.M.** 1991. Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola. Tesis Doctoral. Postgrado en Biología. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. España. 313p.
- Bengtsson G., Bengtson P., Mansson K.** 2003. Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil biology & biochemistry*. 35(1); p. 143.
- Bernal M., Navarro A., Sanchez M., Roig A., Cegarra J.** 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil biology & biochemistry*. 30(3); p. 305.
- Bertoni J. Lombardi N.F.** 1985. Conservacao do solo. Piracicaba, Llivroceres, 392p.
- Boyle M., Paul E.A.** 1989. Carbon and nitrogen mineralization kinetics in soil previously attended with sewage sludge. *Soil Science Society of America Journal*; 53(1), pp. 99-103.

- Brito G., Arrieche I., Bisbal E., Alfonzo N., Navas M., Gómez N., Yanes P.** 2004. Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad) 2da. Versión. INIA. Venezuela.
- Brito G.J.** 1980. Caracteres de la materia orgánica de algunos suelos del estado Yaracuy. Revista Agronomía Tropical, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Vol. XXVI, pp. 337-351.
- Brito P., León C.** 1968. Estudio agrológico semidetallado del Valle medio del Río Yaracuy. Ceniap. MAC. Maracay, Venezuela. 147p.
- Cabrera M., Kissel D., Vigil, J.** 2005. Nitrogen mineralization from organic residues. Journal of Environmental Quality. Vol. 34 (1), pp. 75-79, In: Madison, USA; American Society of Agronomy.
- Cabrera S.** 2001. El desarrollo de la planta de maíz. Formación y tipos de granos. Etapas de crecimiento. Capítulo 1: Fisiología del Cultivo. VII Curso sobre producción de maíz, Araure, estado Portuguesa, Venezuela. Pp.1-13.
- Canet R., Pomares F., Estela M., Tarazona F.** 1998. Efecto de diferentes enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo de un huerto de cítricos. Agrochimica, Vol. XLII - N. 1 - 2. pp. 41-49.
- Carrero L., Brito J., Gonzáles R., López I., Pérez R., Ramírez R., Sanchez A.** 1990. Recomendaciones generales para la fertilización de cultivos Cereales. Ministerio de Agricultura y Cría, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. ISBN 980-6090-06-3, Serie D-No. 6-02. Maracay, Aragua. 54p.
- Carter M.R., Sanderson J.B., MacLeod J.A.** 2003. Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. Cánada Journal Soil Science 84: 211-218.

- Casanova E.** 1994. Introducción a la Ciencia del Suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. ISBN: 980-00-0484-X. 379p.
- Casanova E.** 1999. Fertilización, nutrición y sustentabilidad de sabanas. Revista Venesuelos, vol. 7, No. 1 y 2. ISSN 1315-0359. Pp.26-32.
- Casas R.** 2000. Disertación de la Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Argentina. Premio Antonio Prego. Instituto de Suelos. INTA Castelar.
- Castillo R.** 2002. Plagas importantes en el cultivo del maíz. Capítulo VII del IX Curso sobre producción de maíz. Araure, estado Portuguesa. Venezuela. Pp.249-260.
- Castillo R.P.** 2002. Plagas importantes en el cultivo del maíz. Capítulo VII del IX Curso sobre producción de maíz. Araure, estado Portuguesa. Venezuela. Pp.249-260.
- Cataño A.** 1993. Cachaza de Caña como alternativa de abonamiento. Revista La Era Agrícola No.18, Barquisimeto, estado Lara, Venezuela. pp. 14-16.0999
- Cataño A.** 1993. Un residuo agroindustrial usado en la agricultura biológica Cachaza de Caña como alternativa de abonamiento. La Era Agrícola, N° 18. 3 pp.
- Chacín F.** 1983. Comparación de algunos diseños de segundo orden utilizados en la exploración de superficies de respuestas en experimentos agrícolas. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 80p.
- Chacín F.** 1991. Planificación experimental y comercial (Diseño EXCO) para ensayos con fertilizantes. *En:* Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 36a. Simpósio de Estatística Aplicada á experimentação agrônômica, 4to. Goiânia Gaias (Brasil). Resúmenes. Goiânia. p.32.

- Chacín F.** 1998. Análisis de regresión y superficie de respuesta. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 274p.
- Chacín F.** 2000. Diseño y Análisis de Experimentos para generar superficies de Respuesta. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 348p.
- Chand S., Anwar M., Patra D.** 2006. Influence of Long-Term Application of Organic and Inorganic Fertilizer to Build Up Soil Fertility and Nutrient Uptake in Mint-Mustard Cropping Sequence. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37:63-76.
- Chirwa T.S., Mafongo P.L., Mbewe D.N., Chishala B.H.** 2004. Changes in soil properties and their effects on maize productivity following *Sesbania sesban* and *Cajanus caja* improved fallow systems in eastern Zambia. *Biol Fertil Soils*. 40: 20-27.
- Ciavatta C., Francioso O., Montecchio D., Cavani L., Grigatti M.** 2001. Use of organic wastes of agro-industrial and municipal origin for soil fertilization: quality criteria for organic matter. *Memorias del I Encuentro Internacional. Gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo*. Universidad de Navarra, España. Pp. 117-132.
- Ciavatta C., Govi M., Vittori Antisari L., Sequi P.** 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal of chromatography*. 509:141-146.
- Claassen V.P., Carey J.L.** 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using compost. *Compost Sci. & Util.* 12(2): 145-152.
- Costa F., García C., Hernández T. Polo A.** 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Edita CSIC. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia 30003. 181p.
- Crovetto C.** 1997. La cero labranza y la nutrición del suelo. p. 73-78. In 5º Congreso Nacional de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Mar del Plata, Argentina.

- Cubero D.** 1994. Manual de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. Pp. 104-107.
- Delgado M., Porcel A., Miralles R., Bellido N., Digeriego M., Beltran E., Calvo R.,** 1999. Mineralization of nitrogen originating from organic residues. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 15(1): 19 - 25.
- Delgado R.** 2001. Evaluación de la mineralización del N orgánico en un mollisol del estado Aragua mediante el método de incubación *in situ* y el N absorbido por el cultivo. *Revista Agronomía Tropical de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela*, 51(3): 421-437.
- Delgado R., Cabrera E.** 1998. Evaluación de la capacidad de suministro de nitrógeno en diferentes suelos de Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. Vol. 15: 401-413.
- Dexter, A.R., et al.,** 1983. Structure of a tilled soil as influenced by tillage, wheel cropping and rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 570-575.
- Díaz A., Morales F.** 1991. Efecto de diferentes niveles de fertilización química y orgánica sobre el rendimiento de remolacha (*Beta Vulgaris* L.) bajo un diseño compuesto central rotatable a cinco niveles. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 153p.
- Dominy C., Haynes R., Van Antwerpen R.** 2002. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biology Fertility Soils*. 36:350-356.
- Doran, J.W., Elliott, E.T., Paustian, K.** 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil & Tillage Research*. 49, 3-18.
- Doran, J.W., Elliott, E.T., Paustian, K.** 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil & Tillage Research*. 49, 3-18.

- Dumontet S., Dinel H., Schnitzer M., Paré T., Scopa A.** 2001. Composting organic residues: Trace metals and microbial pathogens. *Cánada Journal Soil Science*. 81: 357-367.
- Eghball B., Ginting D., Gillely J.** 2004. Residual Effects of Manure and Compost Applications on Corn Production and Soil Properties. *Pulished in Agron. J.* 96:442 - 447.
- Eghball, B.** 2002. Soil Properties as influenced by phosphorus and nitrogen based manure and compost applications. *Agronomy Journal*. 94:128-135.
- Erich M.S., Fitzgerald C.B., Porter G.A.** 2002. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. *Short Communication, Agriculture, Ecosystems and Environment Vol. 88:* 79-88.
- Erick M.S., Fitzgerald C.B., Porter G.A..** 2000. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. *Agriculture Ecosystems & Environment*. pp. 79-88.
- Escalona A.** 2002. Efecto de la aplicación de dosis altas de cachaza de caña y estiércol de pollo sobre el desarrollo de los cultivos de pimentón y cebolla en la zona de Quibor, estado Lara. Tesis de maestría presentada en el post-grado de horticultura de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA). Estado Lara, Venezuela. 87p.
- Espinoza, Y.** 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Revista Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia*, 21: 126-140.
- Fassbender H. W.** 1980. Propiedades químicas de suelo. En: *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina, parte II.* pp. 117-167.
- Ferreira E.** 2001. "Efectos residuales de desechos de basura sobre la fertilidad del suelo". *Memorias of 3rd. Internacional Conference on Land Degradation, Río de Janeiro – Brazil.*

- Fitts J.W.** 1955. Using soil tests to predict a probable response from fertilizer application. *Better Crops with Plant Food*. 39(3): 17-20.
- Flavel T.C., Murphy D.V.** 2006. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 35, Iss. 1. pp. 183-194.
- Flavel T.C., Murphy D.V., Lalor B.M., Fillery I.R.P.** 2005. Gross N mineralization rates after application of composted grape marc to soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 37: 1397-1400.
- Franzluebbers, A.J.** 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*. 66, 95-106.
- Gagnon B., Simard R.** 1999. Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial composts. Centre de Recherches et de développement sur les Sols et les Grandes Cultures, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Contribution no. 608, pp. 481-489.
- Gagnon B., Simard R., Goulet M., Robitaille R., Rioux R.** 1997b. Soil nitrogen and moisture as influenced by composts and inorganic fertilizer rate. *Canada Journal Soil Science* 79: 207-215.
- Gagnon B., Simard R., Robitaille R., Goulet M., Rioux R.** 1997a. Effect of composts and inorganic fertilizers on spring wheat growth and N uptake. *Canada Journal Soil Science* 77: 487-495.
- García C.** 1990. Estudio del Compostaje de residuos orgánicos. Valoración agronómica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.
- Gómez M.A., Schwentesius R., Gómez L., Arce I., Morán Y.M., Quintero M.** 2001. *Agricultura orgánica de México: datos básicos*. Ed. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agricultura y la Agricultura Mundial (CIESTAAM): Segunda edición. Chapingo, México. ISBN: 968-884-677-5.

- González C.** 2001. Estimación de cosecha en maíz. Capítulo 9, Manejo Post-cosecha del VII Curso sobre producción de maíz, Araure, estado Portuguesa, Venezuela. Pp. 354-359
- Griffin G.F., Laine A. F.** 1983. Nitrogen Mineralization in Soils Previously Amended with Organic Wastes. *Agronomy Journal*, Vol. 75, pp. 124-129.
- Hafidi M., Checkouri I., Kaemmerer M., Revel J.C., Bailly J.R.** 1997. Effect of humic substances on phosphorus absorption in italian Ray-Grass. *Agrochimica*, Vol. XLI - N. 1-2: 42-49.
- Hassen A., Jedidi N., Cherif M., M'Hiri A., Boudabous A., Van Cleemput O.** 1998. Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. *Bioresource Technology*. 64: 39-45.
- Hernández E., Cuevas A., Robledo E., Rubiños E.** 2007. Aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio Texcoco. En memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 895-897.
- Hernández G., Salgado S., Palma D., Lagunas L., Castelán M., Ruiz O.** 2007. Efecto de la Vinaza y Composta de Cachaza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo cultivado con caña de azúcar. En memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 241-244.
- Hirzel J.; Rodríguez N., Zagal E.** 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agricultura técnica (Chile)* 64(4): 365-374.
- Illera V., walter I., Cuevas G., Cala V.** 1999. Biosolid and municipal solid waste effects on physical and chemical properties of a degraded soil. *Agrochimica*, Vol. XLIII- N. 3-4.



- Izaurrealde, R.C., W.B. McGill, J.A. Robertson, N.G. Juma, and J.J. Thurston.** 2001. Carbon balance of the Breton Classical Plots over half a century. *Soil Science Society American Journal*. 65:431-441.
- Jones B.Jr., Wolf B., Mills H.** 1991. *Plant analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc. Georgia. USA. 213p.
- Juo Anthony S.R.** 1990. Maintenance and management of organic matter in tropical soil. Department of soil and crop sciences. Texas. USA. In *IBSRAM Proceedings No.10*.
- Keeney D.R., Nelson D.** 1982. Nitrogen-inorganic forms. En: *Methods of soil analysis*. Part. 2, 2<sup>nd</sup> Edition. Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney, D.R. (Eds.). Agronomy 9. American Society of Agronomy (SSSA). Madison, WI 53711, USA. Pp. 643-698.
- Koepf H.H.** 1976. *Bio-dynamica agriculture: an introduction*. New York: Anthroposophy Press.
- Kononova, M.M.** 1982. *Materia Orgánica del Suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. 1<sup>a</sup> edición en español. Editorial Oikos-Tau, S.A. Barcelona. España. 365 p.
- Kuehl R. O.** 2001. Diseños con superficies de respuestas. En *Diseños de Experimentos*, Internacional Thomson Editores S.A., 2a. edición. Capítulo 13, pp: 423-468.
- Lax A., Roig A., Costa F.** 1986. A method for determining the cation exchange capacity of organic materials. *Plant and soil* 94: 349-355.
- Lee I.B., Kim P.J., Chang K.W.** 2001. Evaluation of Stability of Compost Prepared with Korean Food Wastes. *Journal KOWREC*, pp 1-8.
- Lehoczky É., Debreczani K., Szalá T.** 2005. Available Micronutrient Contents of Soils in Long-Term Fertilization Experiments in Hungary. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36: 423 - 430.

- Leita L., De Nobili M., Mondini C., Muhlbachova G., Marchiol L., Bragato G., Contin M.** 1999. Influence of inorganic and fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and metal bioavailability. *Biology Fertility Soils*. 28: 371-376.
- Lema M., Rodríguez P., González S.** 2004. Bioavailability and bioaccumulation of some heavy metals in response to application of sewage sludge. *ITEA-Producción Vegetal*, Zaragoza, España. 100(1): 51-70.
- Levi-Minzi R., Saviozzi A., Riffaltdi R.** 1986. Organic matter and nutrients fresh and matures farmyard manure. *Agricultura Wastes*- 16: 225-236.
- Lindsay W.L., Norvell W.A.** 1978. A Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*. 42: 421-428.
- López Y.F.** 1998. Funciones e interacciones de los elementos menores. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientos en la agricultura*. Editor Francisco Silva M. ISBN: 958-96518-0-1. Bogotá D.C. Colombia. Pp: 1-12.
- Machado W., Chacín F., Ascanio M.** 1997. El diseño EXCO aplicado en la validación de ensayos de fertilización nitrogenada y densidad de siembra en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Facultad de Agronomía*. Universidad Central de Venezuela. 23: 61-67.
- Madriz C., Castellano Y.** 1998. Efecto de activadores sobre la calidad de compost elaborados con cachaza y bagazo de caña de azúcar. *Venesuelos* 6 (1-2): 22-28.
- Malavolta, E.; Vitti, G., DE Oliveira, S.** 1997. Avaliacao do estado nutricional das plants. Principios e aplicacoes. *Associacao Brasileira para pesquisa potassa e do fosfato*. Piracicaba. Brazil 201p.
- Manna M.C., Swarup A., Wanjari R.H., Singh Y.V., Ghosh P.K., Singh K.N., Tripathi A.K., Saha M.N.** 2006. Soil Organic Matter in a West Bengal Inceptisol after 30 Years of Multiple Cropping and Fertilization. *Soil Sciencie American Journal*. 70 :121-129.

- Marcano, F., et al.** 1994. Efecto de la labranza y del nitrógeno en algunos componentes del rendimiento, macroporosidad del suelo, densidad radical y producción del maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Trop.* 44:1, 5-22.
- Marelli, H., de Mir, B., Arce, J., Lattanzi, A.** 1984. Evaluación de la erosión hídrica en suelo labrado. Ciencia del Suelo. 2:1, 69-77.
- Marinari S., Masciandaro G., Ceecanti R., Grego S.** 2006. Evolution of soil organic matter, Changes usig pyrolysis and metabolic indices: A comparison betwenn, organic and mineral fertilization. *Science Direct – Bioresource Tecchnology*: Available online 24 october.
- Martelló M.** 1995. Los análisis probabilística y las imágenes de satélites en el pronóstico de lluvias en Venezuela. En: *II Curso de actualización del maíz*. Fundación para la Investigación Agr
- Martínez, P., López J.** 2007. Producción de maíz forrajero usando abonos orgánicos en la comarca Lagunera, México. En *memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo, mesa Fertilidad*, León Guanajuato, México. Pp. 5-7.
- Matheus, J.E.L.** 2004. Evaluación Agronómica del uso de compost de residuo de la industria azucarera (Biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea Mays* L.) Nota Técnica en *Revista Bioagro de la Escuela de Agronomía de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, estado Lara*, 16(3):219-224.
- Mathur S.P.** 1991. Composting Processes. In *Bioconversion of waste materials to industrial products*. A.M. Martín, ed. Elsevier; London, New Cork. Pp. 147-186.
- Mathur S.P., Owen G., Dinel H., Schnitzer M.** 1993. Dtermination of compost biiomaturaty. I. *Literatura Rewiew. Biological Agricultura and Horticultura*. Vol. 10, pp. 65-85.

- Matus F.J., Maire G.C.R.**, 2000. Relación entre la materia orgánica y textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura-Técnica*. 60(2): 112-126.
- Mendoza S., Valera G., Ohep C.** 1983. Estudio de suelos preliminar del Eje Morón – Barquisimeto – La Lucía – Estado Falcón, Carabobo, Yaracuy y Lara. MARN. Departamento de Suelos.
- Mesquita M., Carranca J., Vieira E., Gusmao R.** 2004. Effect of dissolved organic matter and pH on copper adsorption. *Agrochimica*. Vol. XLVIII, N. 5-6.
- Michelena R.O., Iruetia C.B., Vavruska F., Mon R., Pittaluga A.** 1989. Degradación de suelos en el norte de la región Pampeana. INTA, Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación técnica No. 6. Estación Agropecuaria INTA-Pergamino.
- Mielniczuk I., Scheneider P.** 1984. Aspectos socio-económicos do manejo de solo no Sul do Brasil, In: T Simposio de Manejo do Solo e Plantío Direto no Sul do Brasil e III Simposio de Conservacao de Solo do Planalto. Passo Fundo, RS. Passo Fundo. Pp. 3-19.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN).** 2005. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Fondo Mundial para el Medio Ambiente. Caracas, República Bolivariana de Venezuela. 28 pp.
- Mojica, F.** 1994. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a la aplicación de compost de la basura y desechos agroindustriales en condiciones de invernadero. *Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. Bucaramanga, Colombia. Pp. 87-92.
- Moore, I.D.** 1981. Effect of surface sealing on infiltration. *Trans. ASAE* 24, 1546-1552.

- Mora O.** 2003. Efecto del N, P, K; combinado con cachaza biocompostada “La Pastora” sobre el crecimiento de la caña de azúcar. Informe de resultados preliminares del uso eficiente de los fertilizantes en la Finca Las Vegas, presentado a la empresa Agropecuaria El Retorno, estado Portuguesa, Venezuela. 14p.
- Mora O., Arrieche I., García R., Avendaño H.** 1998. Evaluación de las prácticas de manejo y conservación de suelo en la Cuenca Media del Río Yaracuy. Memorias encuentro técnico científico Yaracuy 98. Conicit, San Felipe. Estado Yaracuy. Venezuela. Pag.11.
- N'Dayegamiye A.** 2006. Mixed Paper Mill Sludge on Corn Yield, Nitrogen Efficiency, and Soil Properties. *Agronomy Journal* Vol. 98:1471-1478.
- Nacci S., Pla Sentis, I.** 1992. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical*. 42 (1-2): 115-132.
- Neilsen G.H., Hogue E.J., Neilsen D., Zebarth B.J.** 1997. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. *Canada Journal Soil Science* 78: 217-225.
- Nelson D., Sommers L. E.** 1996. Total carbon and organic matter. In *Methods of soil analysis part 3 – chemical methods*. Soil Science Society of America Book series No. 5, Capter 34, pp- 961 - 1010.
- Nelson L.** 1999. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. *Revista INPOFOS*. Quito, Ecuador. 66p.
- Nerio L., Cecilia M.** 1998. Compostaje de residuos orgánicos mezclados con roca fosforica. *Agronomía Tropical*. Vol. 48(3): 335 – 357.
- Official Methods of Analysis of International (AOAC).** 1997. Sixteenth Edition, 3<sup>rd</sup> Revision, Vol. 1. Chapter 2, p5-6.
- Ovalles F., Cabrera-Bisbal E., Cortez A., Rodríguez M.F., Rey J.C., Comerma J., Puche M., Núñez M.C., Sánchez A.** 2005. Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela, Caracas. En Ministerio del

Ambiente y de los Recursos Naturales (ed. MARN). Primera Comunicación.

**Paéz M.L.** 1989. Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación en las tierras agrícolas del Valle medio del Río Yaracuy. Alcance Revista UCV, Maracay. Venezuela. 37: 113-136.

**Palm, CH.** 1989. Soil Organic Matter and biology. In: Acid Tropical Soils Management and land development practices. IBSRAM Technical Notes No. 2. pp. 105-120.

**Paolo S.** 1999. Usos de los fertilizantes orgánicos: una estrategia a nivel mundial para la agricultura y para el ambiente. XV Congreso venezolano de la ciencia del suelo. 13 pp.

**Parham J.A., Deng S.P., Raun W.R., Johnson G.V.** 2002. Long-term cattle manure application in soil. I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. Biology Fertility Soils 35: 328-337.

**Párraga C., Chacín F.** 2000. Comparación de metodologías univariadas en la determinación de unidades experimentadas de campo: Renglón maíz (*Zea mays L.*). UCV. Revista Facultad Agronomía 26:175-190.

**Pascual J.A., Ayuso M., Hernandez T., García C.** 1997. Fototoxicidad y valor fertilizante de enmendantes diferentes orgánicos. Agrochimica, vol. XLI N. 1-2. pp. 51-61.

**Pascual J.A.** 1996. Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia (España). 428p.

**Pavlou G.C., Ehaliotis C.D., Kavvadias V. A.,** 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. Scientia Horticulturae 111: 319-325.

- Pérez C., Hernandez J., Mora O.** 2001. Evaluación del impacto agro económico del proyecto de restauración integral de los suelos degradados de Camunare. Estado Yaracuy. Venezuela. En Resúmenes del XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba. Pp. 184.
- Pla Sentis I.** 1988. Desarrollo de Indices y Modelos para el Diagnóstico y Prevención de la Degradación de Suelos Agrícolas en Venezuela. Premio Agropecuario Banco Consolidado, Mención Científica (Versión Resumida). Pp: 1-39.
- Pla Sentis I.** 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de los suelos en el trópico. Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga. Colombia. Pp. 38-47.
- Pretty J.** 2001. The real costs of modern agriculture. *Resurgence* 205:7-9.
- Reeves, D.W.** 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research*. 43, 131-167.
- Reijntjes C., Haverkort B., Waters-Bayer A.** 1992. Farming for the future. An Introduction to low-external-input and sustainable agriculture. Leusden: ILEIA-Macmillan.
- Rengel M.** 2001. Manejo de macronutrientes en la fertilización del maíz. Capítulo 2: Manejo de suelos. VII Curso sobre producción de maíz, Araure, estado Portuguesa, Venezuela. Pp. 113-135.
- Reyes H.A., Manes-Suarez A.B., Gessa-Galvez M. Cairo-Cairo P., Machado de Armas J. Quinones-Ramos R.** 2002. Efecto de la aplicación de residuo sólido del beneficio húmedo del café como fuente de material orgánica. *Centro Agrícola*. Vol. 29 (2):92-93.
- Ribó M., Canet R., Remedios Albiach M., Pomares F.** 2003. Mineralización del nitrógeno del suelo. En Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos. Editores Carlos Garcías, Fernando Gil, Teresa Hernández, Carmen Trasar. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 351-365.

- Rigby D., Cáceres D.** 1997. The sustainability of agricultural Systems. Institute for Development Policy and Management. Working Papers, 10: 1-38.
- Rivero C.**, 1998. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades de un Alfisol degradado. Revista Venesuelos. Vol. 3, N°2. pp. 55 – 61.
- Rivero C.**, 1993. Evaluación de la material orgánica nativa e incorporada en tres suelos de importancia agrícola en Venezuela. Tesis doctoral en ciencias del suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 199p.
- Rivero C., Cariacedo C.** 1999. Efecto del uso de la gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. Revista Facultad de Agronomía (UCV). Maracay. Vol. 25: 83-93.
- Roca P.L., Pérez B.R., Boluda.** 2006. Relationship among soil mineral elements ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ , EDTA and total content), chemical soil properties and mineral element uptake by wild *Digitalis obscura* plants in forest soils. Agrochimica, Vol. L - N. 1-2. pp. 25-31.
- Rodrigo L.S.** 1998. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Editor Francisco Silva M. ISBN: 958-96518-0-1. Bogotá D.C. Colombia. Pp: 47-56.
- Rodríguez J.** 2001a. Aspectos climatológicos: su importancia en la producción comercial del maíz. Capítulo 3: Climatología. VII Curso sobre producción de maíz, Araure, estado Portuguesa, Venezuela. Pp. 154-167.
- Rodríguez J.** 2001b. Manejo del riego en el cultivo del maíz. Capítulo 4: Riego. VII Curso sobre producción de maíz, Araure, estado Portuguesa, Venezuela. Pp. 170-183.
- Rodríguez P.J.** 1976. Períodos críticos en maíz. Fundación Servicio para el Agricultor (FUSAGRI). Cagua, Estado Aragua. Venezuela. Informe anual.



- Rogers B.F., Krogman U., Boyles L.S.** 2001. Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. *Soil Science*. Vol. 166, N° 5. pp. 353-363.
- Rolhf F.** 2004. NTSYSpc numerical taxonomy and multivariate análisis system 2.11T. New York. Exeter software. 120p.
- Roveda G., Baquero J.E.** 2002. Inhibición de los efectos tóxicos del aluminio en plantas de maíz con adiciones de materia orgánica. *Suelos Ecuatoriales*. 32: 76-83.
- Sánchez P.** 1976. Properties and management of soils in the tropics. pp. 162-180.
- Sánchez M.** 2001. Utilización agrícola del estiércol licuado del ganado porcino: Método rápido de determinación del valor del fertilizante. Establecimiento de las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. 342p.
- Sánchez P.A., Gichuru M.P., Katz L.B.** 1982. Organic matter in major soils of the tropical and temperate regions. In: Transaction of the 12<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. (New Dehli), vol 1, 99-114. New Dehli: India Society of Soil Science.
- Saviozzi A., Levi-Minzi R., Riffaldi R., Vanni G.** 1997. Role of chemical constituents of wheat straw and pig slurry on their decomposition in soil. *Biology Fertility Soils* 25: 401-403.
- Sediyama M.A., Vidigal S.M., Pereira P.R., García N.C., Lima P.C.** 1998. Producao e composicao mineral de cenoura adubada com residuos orgánicos. *Revista Brasileira de Ciencia do solo, Bragantia, Brasil*. 57 (2): 379-386.
- Senesi N., Miano T.M., Brunetti G.** 1996. Humic-like Substances in Organic Amendments and Effects on Native Soil Humic Substances. In: A. Piccolo (ed.) *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. ELSEVIER. New Cork. Pp. 531-593.

- Senesi, N.** 2001. "Evaluación cualitativa de la materia orgánica en compuestos usados como enmendantes del suelo con énfasis especial en las sustancias húmicas". Conferencia en el marco del XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo Varadero – Cuba.
- Sequi P., De Nobili M., Leita L., Cercinani G.** 1986. A new index of humification *Agrochimica*. Vol. XXX. No.1-2: 175-179.
- Sequi, P.** 1999. Usos de los fertilizantes orgánicos: una estrategia a nivel mundial para la agricultura y para el ambiente. Conferencia No. 4, del XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), estado Lara. 12p.
- Shaw R.H.** 1983. Estimates of yield reductions in corn caused by water and temperature stress. Crop reactions to water and temperature in humid, temperate climates. *Crop Science*, 31: 1196-1203.
- Shiva V.** 2000. *Stolen Harvest. The hijacking of the global food supply* Cambridge: South End Press.
- Shuman L.M.** 1999. Effect of organic waste amendments on zinc adsorption by two soils. *Soil Science*, Vol. 164, N° 3:197-205.
- Siegrist S., Schaub D., Pfiffner L., Mäder P.** 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 69, 253-264.
- Smith J.L., Schnabel R.B., McNeal B.L., Campbell G.S.** 1980. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil Science Society of American Journal* 4, 996-1000.
- Solórzano P.R.** 1997. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Alcance 51. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay-Venezuela.

- Soto G., Muñoz C.** 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). Vol 65: 123-129.
- Soumaré M., Tack F.M., Verloo M.G.** 2002. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresource Technology 86:15-20.
- Standford G., Smith S.J.** 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of American Proceedings 36: 465-472.
- Stemmer, M., et al.** 1999. The effect of maize straw placement on mineralization of C and N in soil particle size fractions. European Journal of Soil Science. 50, 73-85.
- Sukhmal Chand, M. Anwar, D.D. Patra.** 2005. Influence of Long-Term Application of Organic and Inorganic Fertilizer to Build Up Soil Fertility and Nutrient Uptake in Mint-Mustard Cropping Sequence. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 63 - 75.
- Swanson, E. R.** 1963. The static theory of the firm and three laws of plant growth. Soil Science. 95 : 338-343.
- Tamara C., Daniel V.,** 2006. Carbon and Nitrogen Mineralization Rates alter Application of Organic Amendments to Soil. Journal of Environmental Quality. Vol. 35, Iss. 1; pg. 138, 11 pgs.
- Tereza C.** 2001. "Efectos de la aplicación de desechos urbanos compost sobre las concentraciones de metales pesados en el suelo". Venezuela. Memorias del "3rd. Internacional Conference on Land Degradation", 17 a 21 de Septiembre, Río de Janeiro – Brazil.
- Teubal M.** 2001. Globalización y nueva ruralidad en América Latina. En: N. Giarraca (Ed.) ¿Una nueva Ruralidad en América Latina?, Buenos Aires, Argentina. CLACSO-Asdi 45-65.

- Tiwari, G., Dev G., Sharma D., Singh U.** 1998. Maximizing yield of a rice weath sequence in recently reclaimed saline-sodics soils. In Better Crops International vol. 12. India. pp. 9-11.
- Urbano Terrón P.** 1999. Tratado de Fitotecnia General. Ediciones Mundi-Prensa.
- Uribe H., Rouanet J.L.** 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. Agric. Téc. v. 62 n. 4.
- Valzano F.P., Greene, R.S.B., Murphy, B.W.** 1997. Direct effect of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. Soil & Tillage Research, 42, 209-219.
- Van Kessel J.S., Reeves III. J.B.** 2002. Nitrogen mineralization potencial of diary manures and its relationship to composition. Biology Fertility Soils. 36: 118-123.
- Vega A., Zambrano C.** 1983. Efecto de un moderado déficit de humedad en el crecimiento y rendimientos de maíz. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRIA. Caracas. Venezuela. 10p.
- Verdonck O., Pennick R.** 1985. The composting of bark with soy scrap sludge. Acta Horticulturae. Vol 172: 183-187.
- Voroney R.P., Paul, E.A., Anderson, D.W.** 1989. Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. Can. J. Soil Sci. 69, 63-77.
- Warman P.R., Cooper J.M.** 2000. Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: Effects on dry matter yield and soil and tissue N, P and K. Cánada Journal Soil Science. 80: 337-344.
- Warman P.R., Cooper J.M.** 1999. Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: Effects on soil and tissue Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. Cánada Journal Soil Science, 80: 345-352.

- Waugh D.L., Cate Jr. R.B., Nelson L.A.** 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Boletín No. 7 de las series de Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo del Departamento de Suelos, por la Estación Experimental Agrícola de la Universidad del Estado de Carolina del Norte. Washington, D.C. 106p.
- Xu J.M., Tang C., Chen.** 2006. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 709-719.
- Zambrano A.J.** 2005. Caracterización química de enmiendas orgánicas. Tesis maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 148p.
- Zerega L.** 1993. Manejo y uso de la cachaza en suelos cañameleros. *Revista Caña de Azúcar*. Vol. 11(2): 71-92.
- Zerega L., Adams M.** 1991. Efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico del estado Carabobo bajo condiciones de invernadero. *Revista Caña de Azúcar*. Vol.9(2): 110-126.
- Zucconi F., Bertoldi M.** 1987. Specifications for solid waste compost. *Biocycle*, 56-61.

Tabla AP1.1. Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn), por tratamiento aplicado en el suelo alcalino por año.

Variable	Bloq.	Tratamiento Aplicado							
		Testigo		Estiércol Gallinaza (EP1)		Estiércol Gallinaza (EP2)		Cachaza (CA)	
		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
pH	1	7,6	7,5	7,8	7,3	7,8	7,5	7,9	7,8
	2	7,8	7,1	7,7	7,3	7,7	7,3	7,9	7,7
	3	7,5	7,4	7,7	7,1	8,1	7,7	8,1	7,6
CE (dS,m <sup>-1</sup> )	1	0,08	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08
	2	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06
	3	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,06	0,10	0,07
MO (%)	1	1,2	1,15	1,4	1,45	1,4	1,30	1,5	1,45
	2	1,2	1,20	1,0	1,30	1,2	1,50	1,5	1,40
	3	1,4	1,10	1,4	1,15	1,6	1,20	2,0	1,55
P (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	17	11	29	18	38	23	34	23
	2	12	17	22	23	39	17	28	20
	3	15	12	21	21	43	19	52	27
K (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	264	112	252	152	260	158	200	152
	2	308	142	259	142	300	150	232	164
	3	310	118	320	138	310	160	330	172
Ca (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	578	528	877	888	1277	980	1073	1100
	2	798	692	699	590	886	785	1018	990
	3	754	646	1032	732	1830	1008	1630	865
Mg (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	110	27	170	25	138	34	80	27
	2	90	20	110	21	160	30	160	39
	3	110	28	150	26	182	24	120	34
Zn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	1,20	0,85	1,12	0,95	0,95	1,20	1,60	1,18
	2	0,82	1,09	1,26	1,06	1,94	1,08	1,36	1,27
	3	0,94	0,86	1,36	0,83	1,20	0,96	1,10	1,34
Cu (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	0,74	0,68	0,74	0,86	0,84	0,68	0,84	0,86
	2	0,64	0,74	0,80	0,76	0,80	0,95	0,68	0,72
	3	0,54	0,80	0,86	0,84	0,80	0,70	0,82	0,88
Fe (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	3,0	26,7	3,8	28,6	4,0	32,3	3,4	27,8
	2	3,5	23,1	3,5	31,0	3,6	26,9	3,1	32,8
	3	2,9	29,8	3,6	25,4	4,0	31,1	3,8	30,7
Mn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	5,9	10,9	9,5	13,4	11,0	10,3	8,6	15,4
	2	7,2	9,2	7,8	14,7	7,3	15,2	11,8	12,8
	3	10,2	9,9	10,4	10,1	8,8	10,1	8,3	13,4

Tabla AP1.2. Resultados de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn), por tratamiento aplicado en el suelo ácido por año.

Variable	Bloque	Tratamiento Aplicado							
		Testigo		Estiércol Gallinaza (EP1)		Estiércol Gallinaza (EP2)		Cachaza (CA)	
		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
pH	1	4,9	4,3	5,2	4,7	5,1	4,5	5,2	4,4
	2	4,7	4,7	5,0	4,7	5,0	4,6	5,0	4,5
	3	4,8	4,5	5,1	4,5	5,0	5,0	5,1	5,1
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	1	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07
	2	0,08	0,04	0,04	0,05	0,03	0,07	0,04	0,05
	3	0,05	0,07	0,04	0,07	0,05	0,03	0,05	0,04
MO (%)	1	1,10	0,08	1,19	0,85	1,45	0,80	1,50	0,90
	2	1,15	1,05	1,20	0,75	1,40	0,75	1,29	0,80
	3	1,20	0,95	1,21	0,90	1,55	1,10	1,31	1,20
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	12	12	9	5	13	15	11	18
	2	11	8	9	6	14	12	9	15
	3	11	13	13	5	14	16	14	13
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	104	80	104	100	88	80	96	132
	2	100	76	108	84	76	112	64	98
	3	92	96	80	105	96	93	80	112
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	126	43	153	73	132	95	139	75
	2	93	56	146	60	94	77	162	86
	3	80	65	123	64	120	87	145	103
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	13	15	22	8	21	11	18	13
	2	21	12	14	14	22	14	17	17
	3	21	9	25	13	29	12	25	18
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	0,40	0,22	0,64	0,80	0,62	0,28	0,54	1,70
	2	0,62	0,18	0,54	0,90	0,58	0,50	0,66	1,63
	3	0,54	0,40	0,62	0,70	0,52	0,40	0,82	1,51
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	0,58	0,64	0,74	0,66	0,62	0,68	0,74	0,72
	2	0,44	0,80	0,54	0,61	0,72	0,67	0,68	0,82
	3	0,54	0,72	0,52	0,85	0,80	0,71	0,68	0,76
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	33,5	33,7	26,4	37,3	44,6	35,8	25,0	33,4
	2	26,4	26,0	37,2	27,7	40,2	30,4	28,7	32,1
	3	35,4	20,0	45,4	35,4	36,1	16,7	34,8	24,9
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	1	44,5	11,9	42,7	9,5	39,6	13,9	40,6	15,4
	2	47,6	22,7	47,5	14,7	42,1	11,7	40,7	16,9
	3	42,0	22,0	48,7	20,2	50,3	22,0	46,0	19,8

Tabla AP1.3. Resultados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el tejido foliar, por tratamiento aplicado en el suelo alcalino por año.

Variable	Bloque	Tratamiento Aplicado							
		Testigo		Estiércol Gallinaza (EP1)		Estiércol Gallinaza (EP2)		Cachaza (CA)	
		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
N (%)	1	2,10	2,21	2,19	2,13	2,29	2,31	2,61	2,57
	2	2,05	2,08	2,12	2,07	2,50	2,43	2,52	2,26
	3	2,06	2,17	2,33	2,22	2,41	2,45	2,33	2,64
P (%)	1	0,27	0,18	0,22	0,17	0,30	0,18	0,25	0,18
	2	0,24	0,15	0,23	0,24	0,24	0,20	0,29	0,24
	3	0,17	0,24	0,28	0,21	0,25	0,30	0,29	0,28
K (%)	1	1,47	1,38	1,47	2,34	1,71	1,45	1,65	2,79
	2	1,66	1,64	1,73	2,12	1,68	2,45	1,62	2,36
	3	1,09	2,02	1,73	1,85	1,54	2,14	2,25	2,21
Ca (%)	1	0,71	0,30	0,59	0,30	0,54	0,33	0,59	0,35
	2	0,65	0,35	0,66	0,28	0,63	0,38	0,67	0,34
	3	0,67	0,38	0,73	0,34	0,67	0,38	0,58	0,37
Mg (%)	1	0,39	0,08	0,21	0,09	0,25	0,07	0,59	0,10
	2	0,29	0,07	0,26	0,07	0,21	0,07	0,56	0,12
	3	0,22	0,09	0,24	0,11	0,23	0,12	0,53	0,11
Zn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	39,4	20,9	31,1	17,7	38,9	22,8	31,8	27,9
	2	25,0	17,9	30,0	19,9	23,8	22,4	34,5	24,3
	3	34,7	24,7	31,4	22,0	24,5	22,0	32,8	20,7
Cu (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	21,2	11,9	11,9	10,9	23,0	11,0	22,7	19,7
	2	16,3	13,0	20,0	13,8	15,2	10,0	17,7	14,8
	3	15,4	13,8	22,6	13,0	18,0	11,9	17,4	14,8
Fe (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	14,3	9,1	11,0	11,6	13,9	17,1	10,9	15,1
	2	10,6	10,6	11,0	11,3	11,4	16,3	9,9	14,8
	3	13,5	10,9	13,7	12,0	17,0	15,9	13,5	14,4
Mn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	49,5	50,8	33,0	53,1	47,9	52,6	33,7	61,8
	2	43,2	53,6	45,0	64,2	36,7	57,3	31,5	65,9
	3	35,7	65,2	30,4	61,0	46,0	61,9	38,3	70,0



Tabla AP1.4. Resultados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el tejido foliar, por tratamiento aplicado en el suelo ácido por año.

Variable	Bloque	Tratamiento Aplicado							
		Testigo		Estiércol Gallinaza (EP1)		Estiércol Gallinaza (EP2)		Cachaza (CA)	
		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
N (%)	1	1,36	1,47	1,71	1,61	1,50	1,71	1,62	1,85
	2	1,53	1,53	1,69	1,69	1,60	1,78	1,60	1,75
	3	1,34	1,58	1,70	1,75	1,73	1,83	1,63	1,71
P (%)	1	0,22	0,18	0,27	0,22	0,30	0,24	0,26	0,20
	2	0,23	0,12	0,26	0,21	0,26	0,23	0,22	0,21
	3	0,25	0,13	0,22	0,14	0,24	0,16	0,29	0,18
K (%)	1	1,76	1,34	1,70	1,32	1,76	2,29	2,27	2,13
	2	1,95	1,65	1,59	1,37	2,17	2,12	1,75	2,26
	3	2,17	1,03	2,24	1,47	1,73	2,20	2,23	2,89
Ca (%)	1	0,64	0,19	0,35	0,14	0,32	0,17	0,35	0,15
	2	0,63	0,11	0,30	0,17	0,35	0,14	0,33	0,16
	3	0,68	0,14	0,34	0,11	0,43	0,17	0,36	0,21
Mg (%)	1	0,27	0,06	0,14	0,06	0,11	0,06	0,17	0,05
	2	0,23	0,05	0,18	0,07	0,21	0,07	0,14	0,04
	3	0,19	0,06	0,15	0,06	0,22	0,05	0,17	0,05
Zn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	23,4	9,97	18,7	10,94	23,7	11,78	33,1	14,88
	2	21,9	10,85	16,9	11,83	25,0	14,92	40,9	12,78
	3	16,9	11,96	22,9	13,78	19,8	10,85	34,8	14,75
Cu (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	23,1	10,94	27,9	10,58	24,7	10,07	24,7	10,94
	2	21,8	9,56	22,1	10,50	30,3	11,83	20,5	12,78
	3	19,4	11,20	36,6	9,98	26,0	13,78	26,0	14,75
Fe (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	13,8	130,3	32,5	78,8	19,4	106,1	65,7	110,7
	2	15,0	153,8	30,5	71,0	20,1	150,3	65,4	98,7
	3	17,9	130,6	25,8	89,6	14,8	100,9	46,3	140,5
Mn (mg,kg <sup>-1</sup> )	1	63,4	98,50	54,1	97,77	73,1	149,25	29,5	163,20
	2	77,8	131,97	52,8	60,14	67,2	168,43	21,5	118,03
	3	75,5	124,50	53,8	99,14	47,5	10,76	14,5	155,75

Tabla AP1.5. Resultados del rendimiento de maíz obtenido por tratamiento aplicado, y por suelo en los dos años: 2002-2003.

Tratamiento	Bloque	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )			
		Suelo alcalino		Suelo ácido	
		2002	2003	2002	2003
<b>Testigo</b>	1	6108	3422	4896	255.88
	2	5462	3735	3968	254.68
	3	5675	5516	4678	255.47
<b>Estiércol Gallinaza (EP1)</b>	1	7129	6932	3985	341.92
	2	6295	5892	4819	250.56
	3	5750	5980	4866	539.63
<b>Estiércol Gallinaza (EP2)</b>	1	5977	7087	5213	713.69
	2	5982	6957	4844	338.73
	3	5752	7019	4035	679.16
<b>Cachaza (CA)</b>	1	6339	6710	4813	1034.35
	2	7461	8162	5153	787.5
	3	7333	8491	4437	1281.37

Tabla AP2.1. Resultados del contenido de nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico por semanas con y sin cachaza medidos en el suelo alcalino.

Tiempo (Semanas)	Repetición	Nitrógeno amoniacal (N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg.kg <sup>-1</sup> SS)		Nitrógeno nítrico (N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg.kg <sup>-1</sup> SS)	
		SCA	CCA	SCA	CCA
0	1	10,01	250,20	4,37	66,60
0	2	9,86	248,30	4,29	65,74
0	3	9,92	255,20	4,37	65,91
1	1	9,83	207,50	5,12	68,90
1	2	9,10	207,00	5,40	70,00
1	3	11,20	209,20	5,10	67,99
2	1	10,19	109,50	8,51	100,30
2	2	9,96	109,50	8,64	100,80
2	3	9,67	111,00	8,38	98,50
4	1	3,64	47,30	23,83	138,50
4	2	3,55	46,50	23,95	139,00
4	3	3,98	45,60	23,82	140,00
6	1	3,86	43,60	31,80	257,90
6	2	3,50	42,30	33,20	252,80
6	3	3,88	45,30	34,70	260,20
10	1	5,47	49,70	27,84	124,80
10	2	5,14	48,60	25,90	130,20
10	3	5,48	49,70	26,88	126,30

Tabla AP2.2. Resultados del contenido de nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico por semanas con y sin cachaza medidos en el suelo ácido.

Tiempo (Semanas)	Repetición	Nitrógeno amoniacal (N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg.kg <sup>-1</sup> SS)		Nitrógeno nítrico (N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg.kg <sup>-1</sup> SS)	
		SCA	CCA	SCA	CCA
0	1	6,04	76,42	4,73	24,60
0	2	5,75	75,98	3,64	26,40
0	3	5,46	76,84	4,37	37,30
1	1	12,02	115,2	4,50	44,90
1	2	11,98	116,3	4,35	41,20
1	3	10,55	122,23	4,46	40,60
2	1	3,07	114,80	7,30	54,90
2	2	3,05	111,10	7,03	55,78
2	3	2,85	107,50	7,16	56,34
4	1	2,24	65,40	9,34	75,40
4	2	2,21	66,89	9,18	78,30
4	3	2,25	66,62	9,26	72,50
6	1	1,65	42,50	6,00	97,20
6	2	1,50	39,20	6,37	95,70
6	3	1,70	40,26	6,55	98,95
10	1	4,15	19,50	9,65	63,80
10	2	4,37	18,20	9,80	65,70
10	3	4,33	18,43	9,76	66,47

Tabla AP3.1. Resultados de variables de suelos para el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2003.

N	P	K	CA	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
-1	-1	-1	-1	7,7	1,20	13	108	1507	40	0,86	11,9	1,32	8,1
-1	-1	-1	1	6,4	1,40	26	180	544	35	0,72	35,4	1,54	11,4
-1	-1	1	-1	7,4	1,10	5	112	495	30	0,88	8,1	2,68	11,0
-1	-1	1	1	6,1	1,20	19	204	736	40	1,18	46,6	1,28	16,5
-1	1	-1	-1	6,0	1,05	11	148	376	20	1,04	31,7	1,99	16,9
-1	1	-1	1	6,0	1,50	19	100	288	24	0,92	13,2	1,10	10,3
-1	1	1	-1	7,8	1,15	8	100	1265	37	0,8	13,2	1,30	7,7
-1	1	1	1	6,7	1,45	18	104	629	34	0,84	11,2	1,16	9,9
1	-1	-1	-1	7,2	1,30	20	168	486	40	0,68	20,5	0,88	10,8
1	-1	-1	1	6,1	1,55	27	132	219	22	1,08	57,2	1,38	16,1
1	-1	1	-1	6,0	1,30	12	200	227	21	1,16	54,6	1,66	20,2
1	-1	1	1	7,9	1,50	32	146	7557	122	0,54	11,7	1,18	7,9
1	1	-1	-1	7,3	1,20	20	208	1123	30	0,92	17,8	1,86	10,6
1	1	-1	1	6,0	1,55	44	212	158	20	1,16	49,5	2,18	18,7
1	1	1	-1	6,1	1,45	25	120	314	20	1,02	31,2	1,70	14,1
1	1	1	1	5,9	1,50	38	204	259	20	0,96	40,0	1,34	15,2
-2	0	0	0	7,9	1,30	14	104	5786	87	0,56	13,2	2,60	8,8
2	0	0	0	6,0	1,45	15	188	241	20	1,08	44,0	1,42	16,3
0	-2	0	0	7,0	1,20	8	112	622	20	0,76	16,9	2,02	12,1
0	2	0	0	6,4	1,30	35	140	253	33	0,74	53,2	1,40	10,6
0	0	-2	0	6,1	1,30	28	188	303	28	1,02	44,0	1,06	12,5
0	0	2	0	5,9	1,45	30	152	257	29	1,40	45,8	2,10	27,1
0	0	0	-2	5,9	1,70	25	184	291	18	1,04	34,8	2,04	26,4
0	0	0	2	6,9	1,20	18	132	487	26	0,90	12,3	0,98	8,1
0	0	0	0	6,6	1,55	27	128	495	24	0,80	16,3	0,94	9,5
0	0	0	0	5,5	1,3	33	148	253	26	1,08	37,84	1,58	16,58
0	0	0	0	7,6	1,55	21	200	1562	30	0,74	15,84	1,16	10,12
0	0	0	0	5,4	1,70	29	160	217	20	0,88	26,4	1,70	10,78
0	0	0	0	6	1,40	15	112	488	30	0,84	26,84	1,14	13,2
0	0	0	0	5,3	1,40	12	188	287	20	1,18	33	3,16	18,04
0	0	0	0	5,9	1,40	10	128	527	40	0,96	21,34	2,00	9,46
-2	-2	-2	-2	5,6	1,20	22	120	214	26	1,08	48,8	1,68	17,6
2	2	2	2	5,2	1,45	31	140	257	24	1,12	38,9	2,00	22,4

Tabla AP3.2. Resultados de variables de suelos para el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2004.

N	P	CA	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
-1	-1	-1	6,1	1,20	23	88	326	22	1,18	1,18	1,08	11,9
-1	-1	1	6,0	1,35	36	88	262	26	0,86	1,04	8,46	6,2
-1	1	-1	6,2	1,10	25	96	257	21	0,84	0,98	5,14	16,9
-1	1	1	6,3	1,50	21	168	318	24	0,76	0,88	6,30	17,8
1	-1	-1	6,5	1,15	10	68	447	50	0,86	0,86	2,84	14,7
1	-1	1	6,3	1,30	12	116	612	30	1,04	0,96	7,08	20,5
1	1	-1	6,9	1,25	15	72	583	57	1,08	0,68	1,92	6,4
1	1	1	6,2	1,25	33	120	549	41	0,78	0,98	5,64	16,3
-1,68	0	0	6,3	1,15	28	136	388	37	0,86	0,92	5,10	15,0
-1,68	0	0	6,2	1,25	28	100	569	47	1,14	1,02	8,00	5,1
0	-1,68	0	5,9	1,35	20	84	508	43	0,86	1,12	8,96	22,4
0	-1,68	0	5,9	1,40	27	100	440	40	0,78	1,12	6,58	26,4
0	0	-1,68	5,9	1,30	15	84	243	18	0,90	1,08	8,42	25,1
0	0	-1,68	6,3	1,35	23	96	715	45	0,96	1,00	5,04	14,7
0	0	0	6,6	1,40	15	72	313	49	1,22	0,74	2,52	10,8
0	0	0	7,5	1,50	10	56	606	71	0,72	0,66	7,74	70,0
0	0	0	6,9	1,35	10	120	1241	99	0,80	0,88	1,36	14,5
0	0	0	7,0	1,65	10	72	3192	78	0,88	0,70	3,50	5,3
0	0	0	7,9	1,50	16	80	565	20	0,70	0,72	2,82	6,2
0	0	0	7,7	1,65	14	120	777	50	1,12	0,92	27,06	9,0
-1,68	-1,68	-1,68	7,4	1,40	12	80	1460	29	0,80	0,70	44,66	11,9
1,68	1,68	1,68	6,5	1,35	25	128	695	39	0,60	1,06	13,86	14,7

Tabla AP3.3. Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en el suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.

Año 2003										
Variable	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Signific.	0,00 *	0,06	0,73	0,009 *	0,000 *	0,000 *	0,847	0,016 *	0,107	0,007 *
Año 2004										
Signific.	0,01 *	0,25	0,09	0,186	0,187	0,081	0,174	0,118	0,228	0,258

\*Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

**Tabla AP3.4. Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2003.**

N	P	K	CA	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
-1	-1	-1	-1	1,89	0,36	1,73	0,62	0,22	11,9	14,9	63,6	146,2	5426
-1	-1	-1	1	2,16	0,54	2,84	0,48	0,18	15,0	68,8	46,9	230,4	7532
-1	-1	1	-1	1,93	0,30	1,38	0,90	0,16	19,8	17,8	53,4	137,5	7061
-1	-1	1	1	1,83	0,42	2,38	0,72	0,14	13,9	25,8	41,7	141,9	8198
-1	1	-1	-1	2,19	0,36	1,99	0,58	0,16	9,9	18,9	43,8	144,5	5140
-1	1	-1	1	2,58	0,57	2,32	0,58	0,12	14,9	35,7	59,4	167,4	6923
-1	1	1	-1	1,80	0,42	1,87	0,64	0,12	10,8	12,8	50,2	78,7	6119
-1	1	1	1	2,18	0,53	2,32	0,66	0,14	12,9	40,6	55,4	208,9	7824
1	-1	-1	-1	2,18	0,53	2,61	0,58	0,14	12,8	93,8	50,4	178,8	5837
1	-1	-1	1	1,94	0,64	2,91	0,42	0,18	16,8	40,5	58,2	306,9	8154
1	-1	1	-1	2,06	0,53	2,30	0,60	0,18	12,0	47,1	72,6	156,0	5180
1	-1	1	1	2,20	0,47	2,07	0,54	0,18	11,8	19,7	48,3	125,2	7016
1	1	-1	-1	1,82	0,42	2,14	0,78	0,28	12,0	21,0	78,9	138,9	6998
1	1	-1	1	1,95	0,47	2,63	0,84	0,32	13,9	23,8	79,5	185,7	8225
1	1	1	-1	1,97	0,26	2,44	0,62	0,14	12,9	30,8	46,7	101,4	6051
1	1	1	1	2,01	0,25	1,96	0,76	0,20	14,7	21,6	58,9	430,1	7669
-2	0	0	0	2,58	0,31	2,26	0,78	0,20	16,7	24,6	63,9	159,2	4091
2	0	0	0	2,27	0,26	2,11	0,82	0,32	13,8	18,7	67,8	130,8	7869
0	-2	0	0	1,53	0,17	1,23	0,66	0,12	14,0	22,0	55,9	105,9	5850
0	2	0	0	2,16	0,27	2,47	0,64	0,18	14,9	40,6	64,4	237,9	8079
0	0	-2	0	2,36	0,30	2,26	0,72	0,20	14,8	46,3	70,0	119,2	4974
0	0	2	0	2,02	0,26	2,42	0,40	0,18	10,9	20,7	53,3	115,5	7027
0	0	0	-2	2,42	0,26	2,21	1,00	0,22	13,8	25,6	51,2	118,2	4994
0	0	0	2	2,33	0,30	2,86	0,92	0,18	13,8	26,7	75,0	180,7	7566
0	0	0	0	2,10	0,25	1,74	0,90	0,14	13,0	39,94	63,91	179,7	7864
0	0	0	0	2,09	0,27	2,32	0,70	0,14	21,8	29,71	53,47	101,0	7074
0	0	0	0	2,62	0,22	2,13	0,84	0,28	13,9	22,78	58,45	251,5	8519
0	0	0	0	2,01	0,25	2,13	0,86	0,28	12,9	23,78	64,4	137,7	8022
0	0	0	0	2,51	0,19	2,78	0,72	0,18	12,9	18,85	33,67	126,7	7143
0	0	0	0	2,36	0,26	2,74	0,52	0,16	10,0	31,89	67,76	167,4	8265
0	0	0	0	1,92	0,16	1,48	0,60	0,16	11,9	16,82	57,39	148,4	7573
-2	-2	-2	-2	2,21	0,20	2,33	0,36	0,10	10,9	17,4	43,65	133,9	3648
2	2	2	2	1,97	0,23	2,01	0,70	0,20	13,8	56,0	59,0	131,3	4466

Tabla AP3.5. Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable del año 2004.

N	P	CA	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
-1	-1	-1	2,09	0,63	1,85	0,93	0,41	37,9	12,0	36,9	145,7	3930
-1	-1	1	2,17	0,60	1,48	0,95	0,50	26,8	6,7	61,3	158,0	7860
-1	1	-1	2,08	0,54	0,92	0,65	0,32	19,3	5,8	77,1	114,6	4374
-1	1	1	2,29	0,55	1,87	0,79	0,43	28,8	3,8	43,2	110,4	6422
1	-1	-1	2,42	0,59	1,31	0,96	0,60	20,6	8,4	52,3	129,8	5128
1	-1	1	2,33	0,63	1,07	0,73	0,38	23,3	4,9	135,7	107,6	6470
1	1	-1	1,85	0,59	1,69	1,01	0,49	53,4	8,4	53,4	160,1	6105
1	1	1	2,15	0,52	0,97	0,69	0,37	17,4	4,8	56,0	131,3	7319
-1,68	0	0	1,09	0,60	2,95	1,00	0,46	19,7	10,8	86,6	161,4	4132
-1,68	0	0	1,33	0,63	2,36	1,00	0,47	21,2	6,8	37,6	175,4	5444
0	-1,68	0	0,82	0,61	2,86	0,75	0,38	15,8	5,9	79,9	132,1	3842
0	-1,68	0	1,20	0,61	1,94	0,88	0,29	16,5	7,8	103,9	148,6	6491
0	0	-1,68	0,99	0,63	2,33	0,81	0,63	20,4	5,8	72,9	141,0	3522
0	0	-1,68	1,01	0,62	1,91	0,74	0,45	21,0	9,5	141,0	130,6	4954
0	0	0	2,26	0,34	2,31	0,98	0,61	20,2	8,7	54,8	128,7	6618
0	0	0	1,75	0,34	2,15	1,03	0,51	23,9	19,1	43,0	147,7	6950
0	0	0	2,00	0,31	2,16	1,00	0,48	18,2	11,5	56,6	139,2	6083
0	0	0	1,80	0,37	2,49	1,07	0,61	20,9	6,0	79,8	129,6	6478
0	0	0	2,31	0,31	2,51	1,04	0,47	18,0	9,5	46,5	136,6	5991
0	0	0	2,24	0,30	2,38	0,87	0,45	24,8	9,5	33,4	153,5	6460
-1,68	-1,68	-1,68	1,59	0,35	2,02	0,69	0,40	22,5	7,5	35,6	118,1	3088
1,68	1,68	1,68	2,03	0,33	2,82	0,57	0,33	13,2	5,7	110,1	149,6	6761

Tabla AP3.6. Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en la planta y rendimiento. Suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.

Año 2003										
Variable	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
Signific.	0,65	0,01 *	0,37	0,954	0,002 *	0,304	0,000	0,947	0,071	0,053
Año 2004										
Signific.	0,02 *	0,00 *	0,45	0,073	0,620	0,418	0,882	0,947	0,070	0,272

\*Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)



Tabla AP4.1. Resultados de variables de suelos para el suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2003.

N	P	K	C		pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
			A											
-1	-1	-1	-1		4,7	0,95	15	120	106	19	0,68	47,7	0,78	24,4
-1	-1	-1	1		4,8	0,90	13	156	72	14	0,86	60,7	0,74	18,0
-1	-1	1	-1		4,6	0,80	18	152	175	18	0,68	37,4	1,10	21,6
-1	-1	1	1		4,8	1,05	12	156	57	16	0,84	55,0	0,86	17,4
-1	1	-1	-1		4,2	0,75	24	124	95	10	0,68	66,2	0,60	17,6
-1	1	-1	1		4,3	1,00	17	64	62	12	0,66	39,2	0,42	13,4
-1	1	1	-1		4,8	0,75	30	124	88	19	0,96	59,4	0,90	18,3
-1	1	1	1		4,7	1,15	15	100	97	16	0,76	44,0	0,36	17,6
1	-1	-1	-1		4,6	0,95	14	172	54	15	1,06	51,0	1,20	19,8
1	-1	-1	1		4,6	0,90	13	136	63	18	1,04	68,0	1,50	23,1
1	-1	1	-1		4,5	1,10	19	182	110	20	1,08	77,4	0,56	26,8
1	-1	1	1		4,9	1,05	21	112	108	21	0,84	49,7	0,84	22,7
1	1	-1	-1		4,5	0,90	12	112	53	11	0,90	46,9	1,00	19,4
1	1	-1	1		4,4	1,10	27	124	73	17	0,52	46,6	0,52	20,5
1	1	1	-1		4,5	1,00	18	128	56	14	0,56	52,1	0,42	22,7
1	1	1	1		4,9	1,05	19	136	124	25	1,16	48,4	1,36	24,6
-2	0	0	0		5,0	1,10	27	152	119	23	1,10	52,1	0,92	25,7
2	0	0	0		4,6	1,00	15	120	82	15	0,68	33,6	1,02	16,7
0	-2	0	0		4,7	0,95	14	132	89	16	0,54	15,4	0,84	13,4
0	2	0	0		4,8	0,95	12	132	57	12	1,10	56,1	0,50	27,5
0	0	-2	0		4,7	1,10	22	192	80	17	1,04	64,7	0,80	25,7
0	0	2	0		4,9	1,10	25	188	97	24	0,80	75,0	1,98	31,9
0	0	0	-2		4,8	0,75	27	120	102	18	0,88	55,7	0,70	25,7
0	0	0	2		4,7	0,95	15	96	140	25	0,66	44,7	0,66	19,1
0	0	0	0		6,6	1,55	27	128	495	24	0,80	16,3	0,94	9,5
0	0	0	0		5,5	1,30	33	148	253	26	1,08	37,84	1,58	16,6
0	0	0	0		7,6	1,55	21	200	1562	30	0,74	15,84	1,16	10,1
0	0	0	0		5,4	1,70	29	160	217	20	0,88	26,4	1,70	10,8
0	0	0	0		6,0	1,40	15	112	488	30	0,84	26,84	1,14	13,2
0	0	0	0		5,3	1,40	12	188	287	20	1,18	33	3,16	18,0
0	0	0	0		5,9	1,40	10	128	527	40	0,96	21,34	2,00	9,5
-2	-2	-2	-2		4,7	0,80	10	120	70	16	0,90	37,40	0,60	27,5
2	2	2	2		4,7	0,90	14	148	119	31	0,98	57,42	0,94	26,4

Tabla AP4.2. Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2003.

N	P	K	CA	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
-1	-1	-1	-1	0,59	0,12	1,49	0,28	0,10	24,8	11,6	99,3	116,9	1336
-1	-1	-1	1	0,57	0,15	1,63	0,40	0,18	11,9	9,9	67,7	117,9	1714
-1	-1	1	-1	1,73	0,28	1,97	0,26	0,16	16,8	16,8	120,4	80,9	731
-1	-1	1	1	1,00	0,28	1,97	0,22	0,10	14,0	10,0	205,0	70,0	1149
-1	1	-1	-1	0,99	0,28	1,97	0,20	0,06	10,9	13,8	316,2	50,4	2001
-1	1	-1	1	2,35	0,11	1,39	0,28	0,08	11,0	23,9	200,2	99,6	2448
-1	1	1	-1	1,02	0,25	1,93	0,46	0,10	9,9	37,3	82,1	102,9	1241
-1	1	1	1	0,99	0,16	1,24	0,30	0,10	14,0	35,9	159,6	118,7	3927
1	-1	-1	-1	1,42	0,20	2,23	0,32	0,12	12,9	10,9	135,8	94,2	1250
1	-1	-1	1	2,07	0,25	2,22	0,50	0,18	9,9	12,9	126,6	120,7	3285
1	-1	1	-1	1,44	0,23	2,46	0,36	0,18	10,9	12,8	83,9	37,5	2082
1	-1	1	1	1,18	0,25	2,46	0,30	0,10	8,9	47,3	139,9	95,6	4037
1	1	-1	-1	0,47	0,10	0,98	0,32	0,14	11,8	10,9	97,7	71,1	1365
1	1	-1	1	0,91	0,29	1,59	0,28	0,18	11,0	17,9	97,6	37,9	3974
1	1	1	-1	1,17	0,30	2,49	0,24	0,10	15,0	13,0	233,5	75,8	2058
1	1	1	1	1,38	0,24	2,04	0,34	0,26	11,0	12,0	181,3	70,7	2558
-2	0	0	0	1,16	0,27	1,89	0,20	0,10	8,9	14,9	53,7	75,5	1230
2	0	0	0	1,40	0,17	2,42	0,32	0,16	18,8	17,8	109,6	91,1	3375
0	-2	0	0	1,91	0,24	2,49	0,28	0,14	15,9	13,9	170,4	77,7	1042
0	2	0	0	1,30	0,18	2,35	0,48	0,16	10,8	10,8	122,6	109,9	3253
0	0	-2	0	1,50	0,31	2,57	0,38	0,16	10,9	13,8	112,7	70,2	1368
0	0	2	0	0,96	0,16	2,23	0,44	0,16	15,9	12,9	120,1	83,9	1466
0	0	0	-2	1,24	0,27	2,24	0,30	0,14	10,0	14,9	113,6	77,7	1139
0	0	0	2	0,79	0,17	1,09	0,24	0,10	12,0	39,4	115,6	128,6	1051
0	0	0	0	1,08	0,24	1,92	0,34	0,14	10,9	85,1	112,8	86,1	1750
0	0	0	0	1,16	0,25	2,62	0,30	0,12	9,9	10,9	69,2	30,7	2265
0	0	0	0	1,35	0,19	1,38	0,26	0,18	11,9	10,9	227,2	62,2	2310
0	0	0	0	1,20	0,2	1,09	0,26	0,12	14,8	11,8	115,2	95,5	1910
0	0	0	0	1,05	0,27	2,12	0,26	0,12	10,9	11,9	84,2	123,8	2617
0	0	0	0	1,57	0,25	1,98	0,24	0,14	9,9	16,8	95,1	120,9	2632
0	0	0	0	0,52	0,11	1,47	0,34	0,22	16,7	12,8	110,3	107,4	2059
-2	-2	-2	-2	1,58	0,21	2,06	0,32	0,14	14,8	16,7	124,1	135,9	527
2	2	2	2	1,20	0,12	1,28	0,40	0,16	10,9	29,6	113,6	147,2	2790

Tabla AP.4.5. Resultados de variables químicas de las plantas y del rendimiento del cultivo maíz del suelo La Virgen. Diseño Central Rotable del año 2004.

N	P	CA	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Rend. Kg.ha <sup>-1</sup>
-1	-1	-1	1,60	0,37	2,54	0,78	0,58	17,3	10,6	121,8	141,0	1034
-1	-1	1	1,85	0,43	1,32	0,77	0,63	25,4	3,9	65,5	154,4	3046
-1	1	-1	1,55	0,37	2,05	0,60	0,53	17,2	4,8	78,2	109,7	1182
-1	1	1	2,16	0,34	2,68	0,67	0,49	21,5	10,7	180,6	156,2	3070
1	-1	-1	1,39	0,41	2,82	0,65	0,55	17,5	4,9	84,6	110,8	1046
1	-1	1	2,14	0,36	1,91	0,65	0,36	29,6	6,7	227,9	151,6	2880
1	1	-1	1,52	0,44	4,01	0,84	0,27	20,8	14,2	214,1	206,6	1022
1	1	1	1,68	0,50	3,13	1,18	1,08	22,9	11,0	48,8	180,1	2984
-1,68	0	0	2,28	0,32	3,36	0,72	0,39	20,8	8,9	208,8	170,2	2203
-1,68	0	0	2,19	0,30	1,59	0,76	0,52	14,5	3,9	329,5	218,7	2692
0	-1,68	0	2,07	0,30	2,60	0,66	0,53	21,2	4,8	544,1	261,9	2265
0	-1,68	0	2,12	0,31	1,96	0,77	0,57	21,1	5,7	308,2	182,8	1644
0	0	-1,68	1,36	0,32	2,86	0,63	0,59	20,4	4,9	227,1	138,8	1157
0	0	-1,68	1,63	0,33	3,35	1,13	0,58	18,9	7,5	74,5	135,7	1364
0	0	0	1,90	0,39	3,41	0,91	0,60	24,7	11,9	110,6	262,7	2205
0	0	0	2,14	0,31	2,22	0,80	0,51	26,6	7,9	248,2	166,4	2947
0	0	0	2,12	0,27	2,55	0,78	0,62	20,6	3,9	43,1	150,7	2944
0	0	0	1,92	0,32	3,03	0,71	0,59	19,2	2,9	26,0	153,8	2297
0	0	0	1,95	0,22	2,04	0,65	0,44	22,9	13,9	119,5	322,6	2835
0	0	0	2,07	0,35	1,99	0,75	0,58	26,3	7,8	234,4	161,4	3462
-1,68	-1,68	-1,68	1,31	0,34	2,34	0,54	0,32	18,7	8,4	278,4	178,4	739
1,68	1,68	1,68	1,58	0,46	2,85	0,70	0,46	43,8	9,5	277,9	196,0	1900

Tabla AP4.6. Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en el suelo La Virgen. Diseño Central Rotable 2003.

Año 2003										
Variable	pH	MO %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Sig.	0,198	0,068	0,100	0,754	0,057	0,416	0,188	0,678	0,422	0,120

\*Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

Tabla AP4.7. Pruebas de normalidad Shapiro – Wilk para los datos obtenidos en la planta y rendimiento. Suelo El Rodeo. Diseño Central Rotable 2003 y 2004.

Año 2003										
Variable	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Red. Kg.ha <sup>-1</sup>
Signific.	0,686	0,064	0,104	0,056	0,083	0,002 *	0,000 *	0,007 *	0,708	0,138
Año 2004										
Signific.	0,052	0,616	0,972	0,052	0,077	0,764	0,258	0,111	0,088	0,051

\*Prueba estadística de Shapiro y Wilk. (Ks y Sw > 0,05 datos con tendencia normal)

**FOTO 1. ENSAYOS DE CAMPO. SUELO LA VIRGEN. AÑO 2004**





FOTO 2. ENSAYOS DE CAMPO. SUELO EL RODEO. AÑO 2004

