



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**SECCIÓN DE POSGRADO Y SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN**



**“MANEJO AMBIENTAL DE LA VINAZA: EFECTO DE SU ADICION  
SOBRE EL CONTENIDO DE POTASIO INTERCAMBIABLE EN  
UN SUELO AGRICOLA.”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN:  
TRATAMIENTO DE AGUAS Y REUSO DE DESECHOS**

**PRESENTADO POR:**

**EDGAR ENRIQUE VÁSQUEZ SALAZAR**

**LIMA - PERÚ  
2008**



## DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres:

Nilda

Por su invaluable apoyo, sacrificio y  
paciencia que ha hecho posible la  
culminación de mis estudios.

Segundo

Mi reconocimiento por sus sabios consejos  
y valiosa confianza que me sirvieron de  
apoyo en los momentos difíciles de mi  
vida estudiantil.

A mis hermanos:

Oscar y Ruby quienes permanentemente  
me estimularon a fin de hacer realidad  
mis aspiraciones.

A mi esposa Paola y mi hijo Nicolás,  
quienes con su apoyo y amor, me  
dieron la fuerza para seguir  
adelante.

**Edgar Enrique**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi consideración y agradecimiento a mis asesores, Dr. Alejandro Mendoza Rojas; Msc. Ing. Raúl Fernández Fernández; Msc. Ing. Moisés Zárate Vidal, por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo, así como también a mis maestros durante el periodo de estudio y personas que de una u otra forma colaboraron con un granito de arena en la culminación de mi tesis.

Edgar Enrique Vásquez Salazar

## ÍNDICE

CARÁTULA	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 VINAZA	3
a. Definición	3
b. Composición de la vinaza	4
b1. Composición mineral	5
b2. Compuestos orgánicos	9
b3. Características contaminantes	11
c. Usos actuales y propuestos	12
2.1.1 MODO DE ACCIÓN DE LA VINAZA EN EL SUELO	14
a. Doble capa difusa	14
b. Promoción de la agregación y mantenimiento del nivel crítico de floculación	16
c. Efecto de la acidez	17
d. Efecto de la actividad microbiana	17
e. Como agente recuperador de suelos afectados por sodio	18
2.1.2 USOS ALTERNATIVOS DE LAS VINAZAS DE ACUERDO CON SU COMPOSICIÓN QUÍMICA	18
a. Usos de los componentes de bajo peso molecular de la vinaza	19
b. Neutralización de la vinaza y recuperación de los alcoholes polihídricos (glicerina y sorbitol)	21
c. Usos de las vinazas por la acidez de los compuestos orgánicos y las características coloidales	22
d. La vinaza como extractante de elementos secundarios para uso agrícola	22
e. Las vinazas y los micronutrientes	23
f. Reacciones de la vinaza con urea	25
g. Los aminoácidos de la vinaza en la fertilización foliar	25
h. La vinaza como extractante del ión fosfato	26
i. Uso de la vinaza como extractante de residuos calcáreos	27
j. En la industria	27
k. En la agricultura	28

2.1.3 MANEJO DE VINAZAS: METANIZACIÓN Y COMPOSTAJE	29
2.2 POTASIO (K <sup>+</sup> )	29
2.2.1 FORMAS DE POTASIO EN EL SUELO	32
a. K <sup>+</sup> soluble	32
b. K <sup>+</sup> estructural	32
c. K <sup>+</sup> total	32
2.2.2 RELACIÓN ENTRE EL POTASIO INTERCAMBIABLE Y EN SOLUCIÓN	33
2.3 EL SUELO Y LA PLANTA	35
a. Fracciones de arena y limo	36
b. Fracción arcilla	36
c. Fracción orgánica	37
2.3.1 FASE LÍQUIDA	37
2.3.2 MOVIMIENTO DE LOS NUTRIENTES HASTA LA SUPERFICIE DE LA RAÍZ	38
a. Interceptación por las raíces	38
b. Flujo de masas	38
c. Difusión	39
2.3.3 TEXTURA	39
III. OBJETIVOS	43
3.1 Objetivo general	43
3.2 Objetivos específicos	43
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	43
4.1 Localización	43
4.2 Método	44
4.2.1 Diseño experimental	44
4.2.2 Tratamientos	45
4.3 Procedimientos analíticos	48
4.3.1 Suelos	48
4.3.1.1 Cationes intercambiables (K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> )	48
4.3.1.2 Porcentaje de saturación ó Cifra Arany (K <sub>A</sub> )	50
4.3.1.3 pH	50
4.3.1.4 Materia orgánica	50
4.3.1.5 Capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.)	52
4.3.1.6 Conductividad eléctrica del extracto de saturación	52
4.3.2 Vinaza	53
4.3.2.1 Determinación de fósforo, potasio, calcio, magnesio	53
4.3.2.2 Nitrógeno total	54
4.3.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)	56

4.3.2.4 Conductividad eléctrica	58
4.3.2.5 pH	59
4.3.3 Agua	59
4.3.3.1 Determinación de cationes solubles ( $K^+$ , $Na^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ )	59
4.3.3.2 pH	60
4.4 Materiales	60
4.4.1. Reactivos	60
4.4.2 Equipos e instrumentos	61
V. RESULTADOS	63
5.1 Cuadros	63
5.2 Gráficos	77
5.3 Carga contaminante de la vinaza equivalente en población	81
VI. DISCUSIONES	82
VII. CONCLUSIONES	85
VIII. RECOMENDACIONES	86
IX. FUENTES DE INFORMACIÓN	87
X. ANEXOS	90

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación, se da un manejo ambiental a la vinaza, que es un residuo industrial altamente contaminante y corrosivo, debido a su elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO) y pH ácido.

En este sentido, se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo agrícola de la Estación Experimental de la Empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A.

Para la instalación del experimento se utilizó un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones donde se aplicaron cinco dosis de vinaza:  $T_1$ = sin vinaza,  $T_2$ = 25 m<sup>3</sup>/ha.,  $T_3$ = 50 m<sup>3</sup>/ha.,  $T_4$ = 75 m<sup>3</sup>/ha.,  $T_5$ = 100 m<sup>3</sup>/ha.

A las profundidades de 20-40 cm., y 40-60 cm. ( 25.93 mg K<sup>+</sup>/Kg, 19.69 mg K<sup>+</sup>/Kg, respectivamente), las aplicaciones de vinaza, no lograron incrementar el contenido de potasio intercambiable, atribuible a una pobre lixiviación de este elemento a través del suelo.

Sin embargo en los primeros 20 cm. del suelo, las aplicaciones de vinaza, si incrementaron significativamente el contenido de potasio intercambiable, hecho que favorece la absorción de este nutriente por las plantas y permite mejores rendimientos agrícolas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que la dosis más adecuada fue de 100 m<sup>3</sup>/ha, encontrándose una concentración 100.03 mg K<sup>+</sup>/Kg.

Se demostró que la aplicación de vinaza es una alternativa de fertilización biológica y amigable con la naturaleza.

Palabras Claves: vinaza, potasio intercambiable, lixiviación.

## **ABSTRACT**

The present research looked for an vinasse environmental handling, an industrial waste highly polluting and corrosive, because of its high Chemical Oxygen Demand (COD) and low pH.

In this sense, the effects of several rates of vinasse on the agricultural soil exchangeable potassium content were evaluated.

The experiment was established using a randomized block design with three replications. Treatments consisted in 5 vinasse dosis: T<sub>1</sub>= no vinasse, T<sub>2</sub>= 25 m<sup>3</sup>/ha., T<sub>3</sub>= 50 m<sup>3</sup>/ha., T<sub>4</sub>= 75 m<sup>3</sup>/ha., and T<sub>5</sub>= 100 m<sup>3</sup>/ha.

The level of exchangeable potassium at the depths of 20-40 cm., and 40-60 cm. (25.93 mg K<sup>+</sup>/Kg, 19.69 mg K<sup>+</sup>/Kg, respectively) did not increased during the experiment due to a lack of lixiviation of this nutrient through the soil.

However the application of vinasse significantly increased the exchangeable potassium content of the first 20 cm., it let the absorption of this nutrient for plants and improve the agriculturals yields.

According to results, the most appropriated vinase dosis was 100 m<sup>3</sup>/ha, with an exchangeable potassium content of 100.03 mg K<sup>+</sup>/Kg.

It was demonstrated that vinasse application on the agricultural soils, is an biological and friendly fertilization alternative with nature.

Key words: vinasse, exchangeable potassium, lixiviation.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Las industrias agroalimentarias generan en numerosas ocasiones aguas residuales de alta carga orgánica. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Freeman, 1994).

Los residuos generados en la Industria Azucarera contribuyen en gran medida a la Contaminación Ambiental. El proceso de fabricación utilizado, a pesar de haber transcurrido 500 años, es, con excepciones como Australia, esencialmente el mismo y obviamente en la actualidad representa un sector industrial sumamente contaminante para los recursos hídricos y el suelo.

La agroindustria cañera tiene la particularidad que al diversificarse para la obtención de derivados produce residuos secundarios, a los que hay que darle un tratamiento o un adecuado uso para evitar la contaminación del medio ambiente. En Cuba, la industria azucarera y sus derivados aporta anualmente una contaminación equivalente a 10 millones de habitantes. El principal contaminante son las vinazas (Fonfría y Ribas, 1999).

La vinaza es un residuo industrial que se genera del proceso de destilación de alcohol, su composición varía de acuerdo a la materia prima utilizada, al tipo de destilación y tipo de fermentación. El volumen generado de este residuo es elevado y se estima que por cada litro de alcohol obtenido del mosto de melaza, se generan alrededor de 13 litros de vinaza. Este residuo, altamente corrosivo y contaminante de las fuentes de agua, presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio, calcio y cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo (COPERSUCAR, 1986; Gomez, 1996).

La vinaza ha sido objeto de múltiples análisis, uno de sus elementos de considerable presencia es el potasio como  $K_2O$ , forma en que es fácilmente asimilable por las plantas (Chen, 1999).

Diversos trabajos de investigación realizados en otros países, especialmente Brasil, revelan que la vinaza incrementa la productividad de la caña de azúcar, evidenciándose con ello que una de sus grandes ventajas es que bajo

condiciones racionales de manejo, puede sustituir parcial o totalmente la fertilización mineral, e incrementar significativamente el contenido de potasio intercambiable en el suelo hasta los 100 cm. de profundidad atribuido a una intensa lixiviación de este elemento en el suelo (Nunes et al., 1981).

El empleo actual que se le da a las vinazas en el Perú en ciertas zonas azucareras, es de aplicación directa sobre los terrenos de cultivo o es vertida directamente a los ríos. Este vertimiento directo sobre los cauces receptores (ríos, lagos, etc.), así como su disposición directa al alcantarillado, esta originando un serio problema de contaminación ambiental, ocasionando un impacto adverso en la flora y fauna.

Este trabajo de investigación propone una alternativa de solución ambiental frente a la disposición final de la vinaza, con lo que se evitaría su vertimiento directo a los ríos y cauces causando contaminación, y a la vez se daría un valor económico agregado a este residuo a través de su uso como fertilizante natural. Lo anteriormente expuesto constituye el marco general del presente trabajo, en el cual se pretende estudiar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de vinaza en el contenido de potasio intercambiable en un suelo agrícola de la Empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A.

## II. MARCO TEÓRICO

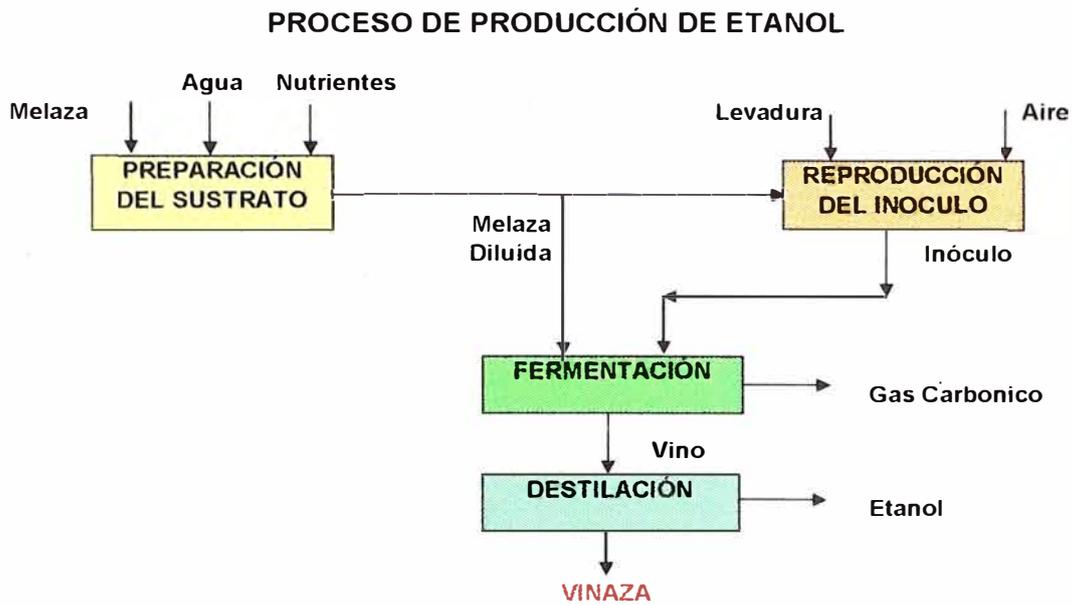
### 2.1. VINAZA:

#### a. Definición:

La vinaza es un material líquido resultante de la producción de etanol, ya sea por destilación de melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de caña. Su origen es, entonces, las plantas de caña de azúcar, por lo que su composición elemental debe reflejar la del material de procedencia. Se trata de un material orgánico líquido que puede contener como impurezas sustancias procedentes del proceso de extracción de los jugos y de la fermentación (García y Rojas, 2006).

La caña de azúcar es una gramínea con mecanismo fisiológico C<sub>4</sub>, lo que la hace sumamente eficiente en la utilización del agua y la luz en la asimilación del CO<sub>2</sub>, para la producción de azúcares, proceso en el cual absorbe cantidades considerables de potasio. Por ello, este elemento es el más abundante en la composición de la vinaza (Gomez, 1996).

Puesto que su origen es la planta de caña, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares y hormonas. En la figura 1 se presenta un esquema general del proceso de producción de etanol, donde la vinaza es el principal subproducto.



**Figura 1:** Esquema del Proceso de Producción de Etanol. (Ingenio Casa Grande, 2007).

#### **b. Composición de la vinaza:**

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación, y de las variedades y maduración de la caña.

La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua, así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general, los constituyentes son los siguientes (García y Rojas, 2006):

Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ .

Células muertas de levadura.

Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.

Alcohol y azúcar residual.

Sustancias orgánicas insolubles.

Sustancias orgánicas volátiles.

**b1. Composición mineral:**

En el cuadro 1 se relaciona en forma general la composición elemental de la vinaza del 55% y del 10%, y en el cuadro 2 la de una vinaza concentrada del 60% en términos de poder fertilizante.

**Cuadro 1.** Composición elemental de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales

<b>Característica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Vinaza 55% st.</b>	<b>Vinaza 10% st.</b>
<b>N</b>	Kg/m <sup>3</sup>	4.30	0.63-1.14
<b>P</b>	Kg/m <sup>3</sup>	0.22	0.04-0.11
<b>K</b>	Kg/m <sup>3</sup>	34.03	4.05-9.01
<b>Ca</b>	Kg/m <sup>3</sup>	5.00	0.74-2.20
<b>Mg</b>	Kg/m <sup>3</sup>	5.40	0.80-1.36
<b>S</b>	Kg/m <sup>3</sup>	11.55	1.28
<b>pH</b>	-	4.30-4.50	3.50-4.30
<b>C.E.</b>	dS/m	17.00	11.00

Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17) <sup>10</sup>.

**Cuadro 2:** Propiedades químicas de la vinaza concentrada al 60%

Compuesto	Concentración	
	(%)	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Sólidos totales</b>	60.00	-
<b>Materia orgánica</b>	46.00	598.00
<b>Carbono oxidable</b>	18.00	234.00
<b>Nitrógeno</b>	0.95	12.35
<b>Fósforo(como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	0.04	0.52
<b>Potasio(como K<sub>2</sub>O)</b>	4.88	63.44
<b>Calcio(como CaO)</b>	1.31	17.11
<b>Magnesio(como MgO)</b>	0.67	8.71
<b>Sulfatos(como SO<sub>4</sub>)</b>	2.59	33.67
<b>ELEMENTOS MENORES</b>	<b>mg/Kg</b>	
<b>Manganeso(Mn)</b>	43.00	-
<b>Cobre(Cu)</b>	10.00	-
<b>Zinc(Zn)</b>	19.00	-
<b>Boro(B)</b>	6.00	-
<b>Características adicionales</b>		
<b>Densidad(Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1300	-
<b>pH</b>	4.50-5.00	-
<b>Conductividad Eléctrica(dS/m)</b>	17.00	-
<b>Viscosidad(cPs)</b>	4.50	-

Fuente: Laboratorio I&D, Sucromiles S.A y Agrilab – Colombia <sup>10</sup>.

En los cuadros siguientes se reportan resultados de análisis de vinaza a partir de mosto de melaza de varios autores brasileños.

**Cuadro 3:** Composición química media de las vinazas de las fábricas de Pernambuco, Paraíba y Rio Grande del Norte.

Compuesto	Unidades	Resultados
N	%	0.060
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.022
K	%	0.420
Ca	%	0.150
Mg	%	0.050
°Brix	%	6.230
Ceniza	%	1.490
Materia orgánica	%	4.740
Zn	ppm	4.300
Cu	ppm	2.900
Mn	ppm	6.700
Fe	ppm	52.00
pH	-	4.20

Fuente: Antonio Pinto Medeiros (1979 y 1980) <sup>6</sup>.

**Cuadro 4:** Composición química media de las vinazas de 5 fábricas de la Región de Campos-Rio de Janeiro-Brasil.

Fábrica	pH	Cenizas(%)	N(Kg/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O(Kg/m <sup>3</sup> )
1	3.3	0.60	0.36	0.15	1.82
2	3.8	1.14	0.40	0.09	3.31
3	4.3	1.74	0.57	0.11	4.17
4	3.7	1.16	0.39	0.09	5.20
5	4.3	2.21	0.88	0.17	5.58

Fuente: Juarez Bolsanello y Joana Rita Viera (1978 y 1979) <sup>6</sup>.

**Cuadro 5:** Composición química media de las vinazas de 4 fábricas del Estado de Alagoas-Brasil.

Fábrica	CaO (Kg/m <sup>3</sup> )	MgO (Kg/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (Kg/m <sup>3</sup> )	N (Kg/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>4</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	pH
1	1.60	0.10	6.90	0.41	0.14	2.09	1.75	0.25	0.50	41.6	4.3
2	1.39	0.08	7.50	0.42	0.15	2.70	1.75	0.25	0.62	37.5	4.1
3	1.07	0.08	4.26	0.42	0.14	3.11	1.50	0.25	1.50	43.3	3.7
4	1.20	0.09	5.04	0.70	0.22	0.71	2.00	0.50	0.87	44.1	3.8

Fuente: Joao Nunes de Vasconcelos (1979 y 1980) <sup>6</sup>.

De acuerdo con los análisis realizados en Brasil (Gloria y Orlando, 1983), la vinaza proveniente de la melaza presenta los mayores contenidos de materia orgánica y elementos minerales. (Cuadro 6).

**Cuadro 6:** Composición química de la vinaza según proceda de jugo, melaza o la mezcla de ambos (promedios de cinco determinaciones).

Propiedad	Jugo	Melaza	Mixto de melaza y jugo
N (Kg/m <sup>3</sup> )	0.28	0.77	0.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	0.20	0.19	0.24
K <sub>2</sub> O (Kg/m <sup>3</sup> )	1.47	6.00	3.60
CaO (Kg/m <sup>3</sup> )	0.46	2.45	1.18
MgO (Kg/m <sup>3</sup> )	0.29	1.04	0.53
SO <sub>4</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )	1.32	3.73	2.67
Materia orgánica (Kg/m <sup>3</sup> )	23.44	52.04	32.63
Fe (ppm)	69.00	80.00	78.00
Cu (Kg/m <sup>3</sup> )	7.00	5.00	21.00
Zn (Kg/m <sup>3</sup> )	2.00	3.00	19.00
Mn (Kg/m <sup>3</sup> )	7.00	8.00	6.00
pH	3.70	4.40	4.10

Fuente: Gloria y Orlando (1983) <sup>11</sup>.

Estos resultados permiten destacar algunas características fundamentales sobre las cuales pueden recaer las ventajas o desventajas de su aplicaciones.

**b2. Compuestos orgánicos:**

' En el cuadro 7 se relacionan los principales compuestos orgánicos presentes en la vinaza según el estudio de Morales (2000) <sup>10</sup>. De acuerdo con este en ella se encuentra una gama amplia de compuestos orgánicos: alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos y azúcares. La presencia de estos compuestos en la vinaza tiene diferentes orígenes: provienen de la melaza, del proceso de fermentación de alcohol, o se producen por degradación térmica en el proceso de destilación del vino obtenido en la etapa de fermentación alcohólica.

**Cuadro 7:** Compuestos orgánicos presentes en la vinaza concentrada al 60 %\*.

<b>Compuestos</b>	<b>Concentración</b>
<b>No volátiles:</b>	<b>(%)</b>
<b>Glicerol</b>	2.70
<b>Ácido aconítico</b>	1.76
<b>Sorbitol</b>	1.39
<b>Fructosa + glucosa</b>	1.30
<b>Ácido láctico</b>	1.28
<b>Ácido cítrico</b>	0.80
<b>Ácido 2,4 dihidroxipentanedioico</b>	0.71
<b>Ácido quínico</b>	0.71
<b>Trehalosa</b>	0.31
<b>Ácido málico</b>	0.23
<b>Sucrosa</b>	0.21
<b>2, 3 Butanodiol</b>	0.21
<b>Ácido succínico</b>	0.07
<b>Ácido gicólico</b>	0.06
<b>Fenólicos:</b>	<b>(mg/Kg)</b>
<b>Ácido piroglutámico</b>	165
<b>Ácido Itacónico</b>	93
<b>Ácido fumárico</b>	93
<b>3-metoxi-4-hidroxifenilglicerol</b>	54
<b>Ácido p-hidroxi-benzoico</b>	48
<b>Ácido palmítico</b>	34

Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17) <sup>10</sup>.

\* Para la determinación de estos compuestos se concentró la vinaza hasta 64.8 grados brix, valor aproximadamente equivalente a un porcentaje de sólidos de 67 %.

### b3. Características contaminantes:

Debido a su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza se constituye en un material altamente contaminante, si se dispone directamente a un cuerpo de agua, ya que los valores de DQOs y DBO<sub>5</sub> para un contenido de sólidos del 10%, son 116000 y 41200 ppm. respectivamente, lo cual hace necesario su tratamiento antes de ser eliminado. En el cuadro 8 se relacionan algunas de las propiedades tomadas en cuenta para evaluar la capacidad contaminante de la vinaza (García y Rojas, 2006).

**Cuadro 8:** Comparación de características contaminantes de la vinaza diluida al 10% y concentrada al 60%

Características	Unidades	Concentración	
		V:10%	V: 60%
DQO	mg/L	116000	590000
DBO	mg/L	41200	240000
pH	-	4.5	4.5
SST	mg/L	8990	53900
SSV	mg/L	7100	-
Sulfatos(como SO <sub>4</sub> )	mg/L	5626	33750
Fósforo (como P)	mg/L	97	580

Fuente: Laboratorio Planta de Control Ambiental Sucromiles (Colombia, 2006) <sup>10</sup>.

De acuerdo con los parámetros establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y las características de la vinaza, se tiene el cuadro 9 comparativo.

**Cuadro 9: Clasificación de vinaza concentrada**

<b>Característica</b>	<b>Parámetro CEPIS</b>	<b>Vinaza concentrada</b>
<b>Corrosividad</b>	-Acuoso - $2 \leq \text{pH} \leq 12.5$ -Tasa de corrosión del Acero $>6.35$ mm/año a $55^{\circ}\text{C}$ .	-Acuosa, humedad de 40% -4.5-5.0 -
<b>Reactividad</b>	-Ser inestable. -Reaccionar de forma violenta sin detonar. -Reaccionar violentamente con agua.	-Estable -No reacciona -No reacciona
<b>Reactividad</b>	-Generar gases cuando es mezclado con Agua -Poseer cianuros o sulfuros que puedan ser liberados en cantidades perjudiciales para para la salud y el ambiente	-No -Trazas de dimetilsulfuro $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ .
<b>Explosividad</b>	-Explota bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados. - Explotar fácilmente a $25^{\circ}\text{C}$ y 1 atm. -Haber sido fabricado para explosión.	-No -No -No
<b>Toxicidad</b>	- DL para ratas $< 50\text{mg/Kg}$ .	-
<b>Inflamabilidad</b>	- Ser líquido - Punto de ignición $< 60^{\circ}\text{C}$ .	-Acuosa - $480^{\circ}\text{C}$
<b>Patogenecidad</b>	-Contener microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades	-No

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente( CEPIS, 2006) <sup>10</sup>.

### **C. Usos actuales y propuestos:**

Por tratarse de un subproducto de la obtención de etanol, la vinaza se trata como residuo líquido industrial, de ahí que algunos de sus usos tienen su origen como alternativas de disposición final más que como alternativas de aprovechamiento.

**Cuadro 10:** Resumen de usos de la vinaza.

Usos	Qué aporta	Qué hace	Observaciones
Fertilización (Es el uso más ampliamente conocido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Potasio</li> <li>• Calcio</li> <li>• Sulfatos</li> <li>• Micronutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo</li> <li>• Aporte de nutrientes disponibles</li> </ul>	Se puede aplicar con equipos especiales o directamente con el agua de riego.
Sustrato para compost		Sirve como fuente de energía, nutrientes a los microorganismos que compostan el material vegetal residual de las cosechas.	El exceso de vinaza en la mezcla da lugar a detención del proceso de compostaje debido a que por la DBO elevada interfiere negativamente en la degradación del material vegetal.
Producción de Biogás y Biosólidos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio se genera biogás con contenidos utilizables de metano, gas carbónico y ácido sulfhídrico.</li> <li>• También se producen biosólidos ricos en Carbono, Nitrógeno, y Azufre asimilable por las plantas.</li> </ul>	Se deben controlar las concentraciones de ácido sulfhídrico ya que producen malos olores y deteriora las tuberías de recuperación de gas.
Medio de cultivo		Suplementada con Urea y Sacarosa es un excelente sustrato para promover el crecimiento de levaduras, algas del género <i>Chlorella</i> , bacterias	La proteína unicelular es aquella proveniente de bacterias, algas y hongos y se constituye en una importante fuente

		como Pseudomonas y Methanomonas y hongos filamentosos.	de proteínas para la alimentación animal y humana.
Suplemento Alimenticio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteína 5.68%.</li> <li>• Energía neta 0.88 Mcal/Kg.</li> <li>• Sales minerales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla con otros elementos para elaborar concentrados para animales.</li> <li>• Sustituye parte de la melaza usada en la suplementación de ganado bovino, porcino y conejos.</li> </ul>	En bovinos dosis de Potasio superiores a 1.5 Kg/animal causan efectos laxantes.
Incineración	<p>Poder calorífico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1871 cal/g. Límite Superior.</li> <li>• 1621 cal/g. Límite Inferior.</li> </ul>	Se constituye en un buen combustible para incinerar y generar energía térmica para distintas aplicaciones.	Actualmente existen dos calderas en Tailandia operando con este combustible.
Otros	Agente plastificante de concretos reforzados. Fabricación de ladrillos. Materia prima para obtener sulfatos de cloruro y potasio, potasa y carbonato de sodio, ácido glutámico y glutamina vía fermentativa.		

Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17) <sup>10</sup>.

### 2.1.1. MODO DE ACCIÓN DE LA VINAZA EN EL SUELO:

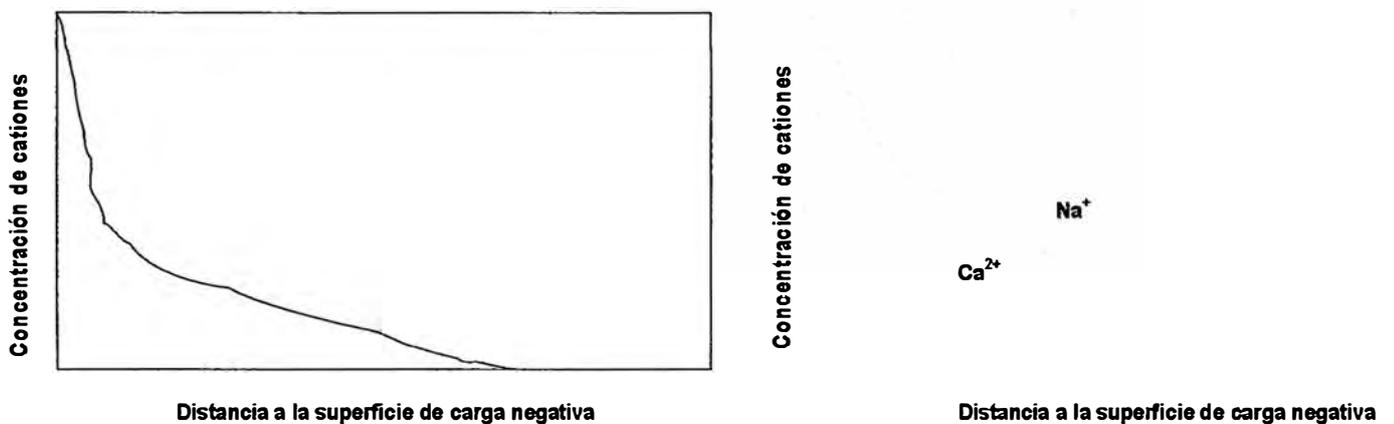
El uso de la vinaza se fundamenta en los conceptos siguientes.

#### a. Doble capa difusa:

Las cargas se encuentran distribuidas uniformemente sobre la superficie y en los bordes rotos de las laminillas. Estas cargas son neutralizadas por iones de carga contraria presentes en la solución de suelo que las rodea, los cuales son atraídos electrostáticamente hacia la superficie cargada negativamente en cuya proximidad se concentran y a medida que aumenta la

distancia a la superficie tienden a estar menos concentradas (Talibudeen, 1981).

El resultado neto de la distribución de cargas es la formación de una doble capa de iones conocida como la Doble Capa Difusa (DCD), compuesta por las cargas de la partícula arcillosa, de algunos materiales complementarios como óxidos e hidróxidos de hierro(Fe) y aluminio(Al), materia orgánica y por los iones de carga opuesta que las neutralizan lo cual se aprecia en la Figura 2 (Bohn et al., 1979).



**Figura 2:** Doble capa difusa. A la izquierda, distribución de cationes cerca de una superficie cargada negativamente. A la derecha, espesor en función de la valencia de los cationes saturantes de calcio y sodio.

Las superficies de carga negativa atraen iones de carga opuesta con una fuerza de atracción que depende de la valencia del ión: los iones divalentes son atraídos por una fuerza dos veces mayor que los iones monovalentes, por lo que una DCD compuesta por aquellos es más compacta. Cuando aumenta la concentración electrolítica de la solución, disminuye la tendencia de los iones a difundirse más allá de la superficie y la DCD se comprime (Bohn et al., 1979).

El espesor de la capa doble es variable y disminuye cuando la concentración de la solución del suelo aumenta. En caso de concentraciones iguales, el espesor es más delgado para los cationes polivalentes que para los monovalentes. El espesor de la doble capa difusa puede aumentar hasta

valores particularmente altos cuando el catión saturante es el sodio (Na) altamente hidratado, con lo que se origina la ya mencionada dispersión y expansión de las interláminas de las arcillas (Nielson et al, 1972)<sup>10</sup>.

Cuando se aproximan dos laminillas de arcilla su DCDs se sobreponen y se produce una fuerza de repulsión entre los dos sistemas cargados positivamente, la cual es menor a medida que son más compactas las DCD, o sea cuando aumenta la concentración de sales en la solución y la valencia de los iones adsorbidos (Bohn et al., 1979).

Cuando dos capas difusas asociadas se encuentran o traslapan tienden a repelerse, debido a que ambas presentan cargas positivas.

Debido al movimiento browniano las partículas chocan unas contra otras pero se separan a causa de las fuerzas de repulsión.

Si la concentración de las sales aumenta, las partículas al chocar pueden pegarse unas a otras y formar grumos que se precipitan o sea que se produce floculación o agregación.

#### **b. Promoción de la agregación y mantenimiento del nivel crítico de floculación:**

Puesto que las vinazas poseen una elevada concentración de electrolitos y estos tienen un reconocido efecto floculante, independientemente de su poder fertilizante, se pueden utilizar para promover una mejor agregación de suelos pesados, estructuralmente degradados o con problemas de permeabilidad (Shainberg y Letey, 1984).

Se conoce como nivel crítico de floculación la cantidad de sales que deben estar presentes en la solución para mantener el suelo o sus arcillas constituyentes agregadas a una condición dada de porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Dicho de otra forma para una arcilla dada existe una concentración mínima de electrolitos que causa agregación a un determinado valor de saturación de sodio (Shainberg y Letey, op. cit.).

En general, a mayor PSI (mayor contenido de sodio en la fase sólida del suelo) mayor debe ser la concentración de sales en la solución. Estos efectos se pueden apreciar en los cuadros 11 y 12.

**Cuadro 11:** Valor de floculación para dos soluciones salinas.

Tipo de arcilla	Valor de floculación(meq/L)	
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
Montmorillonita	12	0.25
Illita	40 – 50	0.25

Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17) <sup>26</sup>.

**Cuadro 12:** Valor de floculación para diferentes valores de PSI.

Tipo de arcilla	Valor de floculación (meq/L de NaCl)		
	5 PSI	10 PSI	20 PSI
Montmorillonita	6	10	18
Illita	3	4	7

Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17) <sup>26</sup>.

**c. Efecto de la acidez:**

El efecto de las vinazas aplicadas al suelo, debido a su acidez elevada, es la disolución de las diferentes formas de carbonatos, fosfatos de calcio y otros compuestos precipitados facilitando su lavado vía drenaje, con lo cual se puede lograr una mejor nutrición de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes acompañada de un mejor balance entre ellos.

**d. Efecto sobre la actividad microbiana:**

Camargo (1960) <sup>10</sup> encontró que la población de bacterias en un suelo incubado con vinaza, creció rápidamente de la primera a la cuarta semana de incubación, aun con una dosis tan baja como 150 m<sup>3</sup>/ha de vinaza diluida (concentración de sólidos de 10 %) existiendo un aumento poblacional del 25.3 % con respecto al suelo sin vinaza.

Los azúcares rápidamente utilizables, como pentosas, son fácilmente descompuestos por los microorganismos del suelo durante los procesos de descomposición de la materia orgánica, al tiempo que la nitrificación y denitrificación se ven alterados, situación que se puede corregir mediante la

adición de vinaza. La vinaza se puede utilizar como promotor de la actividad microbiana en la descomposición de residuos en campo.

Adicional a esto, varios investigadores le han atribuido a la materia orgánica parte de la responsabilidad por mejorar la estructura física del suelo al aumentar su población y actividad microbiana e incrementando la filtración del agua, atribuyendo estos efectos a los productos y secreciones de los microorganismos al descomponer la materia orgánica, los cuales son aptos para unir las partículas del suelo entre sí (García y Rojas 2006).

**e. Como agente recuperador de suelos afectados por sodio:**

Con base en su alto poder electrolítico, su reacción ácida y su acción como activador de la fauna microbiana del suelo es lógico su uso como enmienda efectiva para la recuperación de suelos afectados por una alta saturación de sodio y/o magnesio intercambiables. La vinaza, como recuperador de suelos afectados por sales con efectos deletéreos como el sodio (Na), promueve la agregación fuerte con aumento de la permeabilidad al tiempo que disuelve carbonatos, fosfatos de calcio y otros precipitados liberando el calcio (Ca) necesario para el desplazamiento del sodio(Na) del complejo de cambio.

**2.1.2. USOS ALTERNATIVOS DE LAS VINAZAS DE ACUERDO CON SU COMPOSICIÓN QUÍMICA:**

La vinaza al 55% de sólidos tiene sales minerales entre 8% y 12% más cationes y aniones muy valiosos como nutrientes de las plantas, además de encontrarse en un medio orgánico propicio para el intercambio iónico y probablemente en forma de quelatos que hacen solubles a estos últimos (Berón, 2006).

Según Underkofler y Hickey esta materia orgánica interpolando en una vinaza de 55% de sólidos podría estar distribuida, aproximadamente, de la manera siguiente: (1) azúcares entre 6% y 7%, (2) proteínas más aminoácidos entre 5% y 7%, (3) gomas entre 11 y 12%, (4) ligninas y compuestos de estructura fenólica entre 9 y 11% y (5) compuestos de bajo peso molecular entre 9 y 10%. No obstante, haber sido concentrada hasta un 55% contiene compuestos muy volátiles.

Las gomas son mucílagos que se utilizan como agentes de espesamiento y adhesivo. En el caso de las vinazas, son utilizadas como pegantes en la fabricación de tableros aglomerados de bagazo de caña (Chen, 1999).

Los ácidos orgánicos pueden actuar como solubilizadores de materia mineral, además de que actúan como vehículos para el transporte de micronutrientes catiónicos al sistema radicular de la planta.

La ligninas sulfonadas y neutralizadas tienen mucho uso como dispersantes en diferentes industrias químicas, incluyendo la formulación de fertilizantes.

Parte de esta materia orgánica esta en forma coloidal, la cual juega un papel importante en el intercambio iónico del suelo.

**a. Usos de los componentes de bajo peso molecular de la vinaza:**

Para el uso racionalizado de las vinazas es de primordial importancia conocer sus componentes químicos. En el cuadro 13 se muestran algunos compuestos orgánicos de la vinaza.

**Cuadro 13:** Algunos compuestos orgánicos de la vinaza.

Compuesto	Concentración(%)
2,3 butanodiol	0.01
2-metil-1,3 butanodiol	0.20
Glicerol	2.70
Sorbitol	1.40
Ácido láctico	1.30
Ácido succínico	0.70
Ácido málico	0.23
Ácido aspártico	0.05
Ácido aconítico	1.80
Ácido cítrico	0.80
Ácido quínico	0.70
Fructofuranosa	0.50
Glucopiranososa	0.30
Sacarosa	0.20
Trehalosa	0.30

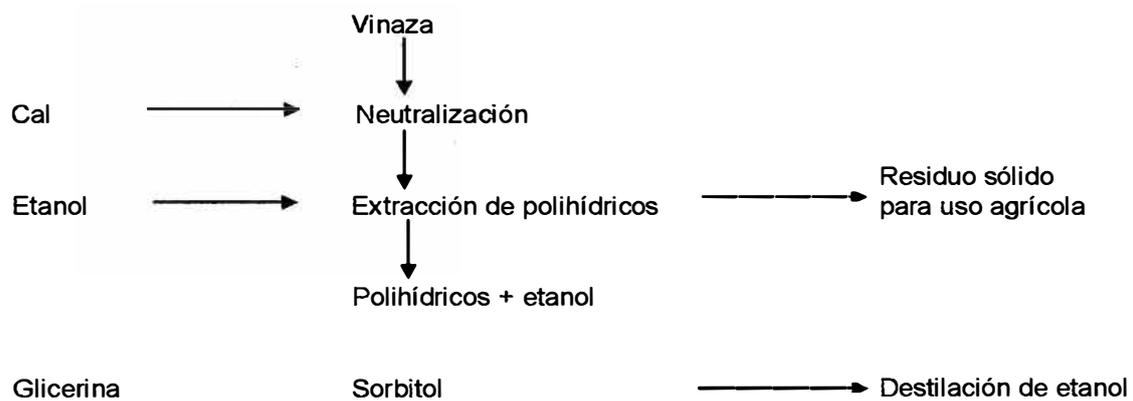
Fuente: Laboratorio Sucromiles (Colombia, 2006) <sup>13</sup>.

Los compuestos químicos en el cuadro 13 suman aproximadamente 9.5% de una vinaza al 55% de sólidos en base húmeda. Se puede observar que los cuatro primeros de estos compuestos son alcoholes polihídricos siendo los más importantes la glicerina y el sorbitol que tiene usos muy diferentes; los siete compuestos químicos que siguen son de bajo peso molecular y generan enlaces coordinados con iones metálicos, o sea, son de carácter secuestrante y pueden ser utilizados como agentes quelantes de cationes en muchos procesos químicos ya que forman complejos metálicos solubles con cationes bivalentes y trivalentes de gran utilidad en la agricultura y en química industrial en general; igualmente, los ácidos orgánicos forman sales solubles con muchos metales que son nutrientes y facilitan su absorción por las plantas; los cuatro últimos compuestos son carbohidratos del tipo monosacáridos y disacáridos de utilidad en procesos de fermentación y también tienen carácter quelante (Berón, 2006).

### b. Neutralización de la vinaza y recuperación de los alcoholes polihídricos (glicerina y sorbitol):

Desde el punto de vista agroindustrial es importante neutralizar la vinaza para obtener un producto sólido que facilite la mezcla en fase sólida con los ábofos corrientemente utilizados.

También es interesante recuperar la mezcla de sorbitol y glicerina, ya que es muy difícil su recuperación por separado debido a que ambos tienen un punto de ebullición muy cercano cuando el primero se encuentra en fase líquida. En la fig 3 se presenta el esquema y la comparación de las propiedades de los alcoholes polihídricos de bajo peso molecular contenidos en la vinaza.



#### Concentración y destilación de glicerina y sorbitol

**Fig. 3:** Esquema de neutralización y extracción de alcoholes polihídricos de vinaza (Tecnicaña, 2006)<sup>13</sup>.

Este proceso deja un residuo sólido útil para la agricultura que básicamente son ácidos orgánicos contenidos en la vinaza, los cuales al ser tratados con cal se convierten en sales insolubles en alcohol. Esta pasta que se ha formado después del tratamiento con cal se extrae con etanol, aprovechando la propiedad de la solubilidad de los alcoholes polihídricos en etanol. La pasta se puede utilizar como fuente de calcio, bien sea para la enmienda de suelos o fertilizante. Finalmente se destila el alcohol quedando una solución de glicerina y sorbitol en agua que se puede concentrar con arrastre de vapor al vacío, un método convencional para recuperar la glicerina.

**c. Usos de las vinazas por la acidez de los compuestos orgánicos y las características coloidales:**

Los ácidos orgánicos y los coloides orgánicos que contiene la vinaza tienen una gran facilidad para formar enlaces de coordinación con cationes y dispersantes cuando esta se neutraliza con hidróxido de sodio o con hidróxido de potasio (el sodio y el potasio son cationes que tienen características dispersantes).

El color limita el uso de la vinaza como dispersante en la industria de recubrimiento y de limpieza, no obstante, se han hecho ensayos para mejorarlo utilizando peróxido de hidrógeno, con resultados parcialmente buenos (Berón, 2006).

**d. La vinaza como extractante de elementos secundarios para uso agrícola:**

**Calcio y magnesio:**

Es conocido el uso de carbonato de calcio para tratamiento de suelos ácidos, o sea el proceso conocido normalmente como encalamiento. Este compuesto es de lenta solubilidad en el suelo, lo que retarda su efecto (Cobertera, 1993).

Otras sales de calcio como el yeso (sulfato de calcio) son más solubles y aportan iones de sulfato al suelo. La cal viva y el hidróxido de calcio igualmente tienen las mismas limitaciones (Jackson, 1997).

Actualmente se está investigando el uso de sales de calcio más solubles para enmiendas de suelos sódicos y salino sódicos, entre ellos nitrato de calcio y acetato de calcio.

Los ácidos orgánicos que contiene la vinaza y sus aminoácidos al reaccionar con el calcio producen sales que son solubles en agua, estos ácidos además son de carácter quelante y el producto en total contiene los polímeros floculantes de la vinaza que lo hacen muy apto para la enmienda de suelos ácidos y básicos (Gloria y Orlando, 1983).

Si el suelo es sódico estas sales de calcio solubles pueden desplazar el sodio del complejo de intercambio iónico, y si tiene buen drenaje este sodio

se puede lavar. En suelos ácidos – alumínicos puede desplazar el aluminio del complejo de intercambio iónico (Ritas y Melida, 1985).

Para obtener calcio y magnesio soluble a partir de los ácidos orgánicos de la vinaza se puede hacer reaccionar esta con la correspondiente sal u óxido, que puede ser cal dolomítica, óxido de magnesio, cal agrícola, yeso, cal viva e hidróxido de calcio (Berón, 2006).

Se debe anotar que por su estructura química los ácidos de la vinaza tienen condición buffer, es decir, que al agregarles el neutralizante el pH no cambia bruscamente sino lentamente, por lo tanto se puede regular adecuadamente el pH final, y de esta manera se puede obtener una gama de productos de distintas consistencias.

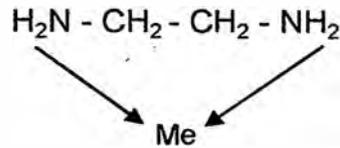
Dependiendo de la cantidad de sales de calcio o magnesio que se hagan reaccionar con la vinaza se obtendrán productos de consistencia líquida, pastosa y sólida y con un pH superior a 7. El producto sólido es muy pegajoso e incompatible con los fertilizantes que se mezclan en las máquinas abonadoras.

#### **e. Las vinazas y los micronutrientes:**

La mayoría de los compuestos químicos contenidos en las vinazas son de carácter quelante por tener grupos aminos, diácidos e hidróxicos.

Generalmente, y para evitar que se precipiten en forma de sales insolubles, los micronutrientes se suministran a las plantas en forma de quelatos, compuestos en los cuales las uniones se efectúan por compartimiento de pares de electrones. Entre los compuestos más simples y comunes que forman complejos de coordinación se encuentra el amoníaco, que tiene dos electrones que se puede compartir con iones metálicos formando una serie de complejos amoniacales ( $\text{NH}_3$ ) con diferentes metales (Herrada y Besosa, 2006).

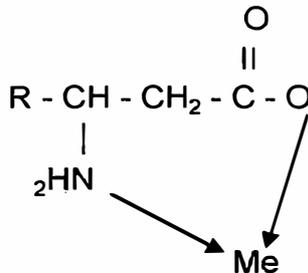
La etilendiamina, cuya fórmula aparece a continuación, es uno de los primeros quelantes estudiados.



Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17)<sup>13</sup>.

Cuando ambos pares de electrones interaccionan con el mismo metal se forma una configuración del metal atrapado por los dos grupos aminos.

Así mismo los aminoácidos también interaccionan con el mismo metal y forman una configuración en la que queda atrapado el metal, de la forma siguiente.



Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17)<sup>13</sup>.

Para preparar micronutrientes en forma de quelatos, el ácido que más se utiliza, es el aminopolicarboxílico EDTA ( Etilendiaminotetrácetico ) o sus sales. Los compuestos químicos que más se utilizan son los sulfatos de hierro, manganeso, cobre y zinc, que son rápidamente solubles en la vinaza. La vinaza se puede utilizar no solamente como secuestrante de estos cationes sino también para producir sus sales orgánicas haciendo que reaccione en caliente con óxidos de hierro, zinc, manganeso y borax (Berón, 2006).

La vinaza en caliente se puede utilizar para extraer micronutrientes residuales de la industria metalmeccánica o de fundición, como escorias Thomas. También es posible ensayar el ataque de las vinazas a minerales como sulfuros de hierro y zinc con el objeto de liberar cationes micronutrientes (Herrada y Besosa, 2006).

**f. Reacciones de la vinaza con urea:**

Como fuente de nitrógeno el producto más conocido es la urea; cuando se aplica al suelo su primer paso consiste en que por las enzimas ureasa forma carbonato de amonio, la solución de agua en el suelo sube a un pH de 8.5 y esta reacción se completa en 48 horas. El carbonato de amonio es un compuesto muy inestable, y si no se retiene en el suelo se volatiliza y se pierde en la atmósfera antes de que se formen nitritos y nitratos asimilables por la planta (Ritas y Melida, 1985).



Fuente: Revista Técnicaña (2006, Vol. 10, No 17)<sup>13</sup>.

Para evitar pérdidas de urea se están usando resinas urea formaldehído que regulan el suministro de amonio al suelo. Por otra parte, la urea es una base débil que reacciona con la acidez de las vinazas formando sales orgánicas de amonio que son más estables que el carbonato de amonio.

Estas sales también se hidrolizan por la humedad del suelo pero forman compuestos más estables que el carbonato de amonio con menos pérdidas en el suministro de amonio al suelo (Berón, 2006).

**g. Los aminoácidos de la vinaza en la fertilización foliar:**

Las proteínas y los aminoácidos de la vinaza pueden jugar un papel muy importante en la fertilización foliar. La vinaza se puede hidrolizar para que la mayor parte de la proteína se fragmente a aminoácidos. Estos no solamente son quelantes sino que son usados como bioestimulantes, es decir, estimulan el proceso de la fotosíntesis. Actualmente se están usando en fertilización foliar junto con micronutrientes. Una vinaza hidrolizada, neutralizada y mezclada con urea puede ser un excelente fertilizante foliar. En el proceso de hidrólisis de los compuestos de alto peso molecular de la vinaza se fragmentan dando compuestos de menor peso molecular y con

mejor capacidad quelante, lo que permite una fácil translocación de la fase acuosa del suelo a las raíces de la planta. La molécula de urea es muy eficiente para ser absorbida por las hojas de la planta o también se puede utilizar hidróxido de potasio para neutralizar la vinaza (Quintero, 2006).

#### **h. La vinaza como extractante del ión fosfato:**

La roca fosfórica es la principal fuente de fósforo para producir ácido fosfórico. Para liberar el anión fosfato de la roca fosfórica se hace reaccionar con ácido sulfúrico o con ácido nítrico, con lo que se obtiene libre el ión fosfato y como residuo sulfato de calcio o nitrato de calcio, respectivamente según sea el caso (Berón, 2006).

En suelos ácidos el fosfato puede ser absorbido por los óxidos de hierro o de aluminio contenidos en las arcillas, de tal manera que no es disponible para las plantas; en suelos básicos se puede neutralizar con el calcio insoluble.

La roca fosfórica reacciona también con los ácidos orgánicos de bajo peso molecular contenidos en la vinaza liberando el anión fosfato y quedando como residuo sales orgánicas de calcio. Por otra parte estas sales orgánicas de calcio son más solubles que las sales minerales y por este motivo más eficientes en el suministro de calcio a las raíces de la planta o en la neutralización de los suelos ácidos. Esta reacción de ácidos orgánicos con roca fosfórica ocurre cuando los microorganismos que actúan sobre la materia orgánica generan ácidos que atacan los minerales fosfatados del suelo y cuando en el laboratorio para analizar fosfatos se extraen estos usando ácido cítrico (Gnecco, 2003).

En muchos estudios se ha comprobado la necesidad de la materia orgánica en los suelos para evitar que el ión fosfato se precipite. Al hacer reaccionar la vinaza en exceso en caliente con la roca fosfórica no solamente se libera este ión sino que en el producto final queda toda la materia orgánica contenida en la vinaza, que evita que el ión precipite y facilita el intercambio aniónico. Además queda el calcio en forma de sal orgánica de calcio soluble. Para conseguir liberar el ión fosfato es importante hacer la reacción con un exceso de vinaza (Berón, 2006).

**i. Uso de la vinaza como extractante de residuos calcáreos:**

Los residuos de conchas marinas o de cáscaras de huevo reaccionan con los ácidos orgánicos de la vinaza produciendo no solamente un calcio soluble sino también iones fosfato y otros cationes importantes para la agricultura. En el caso de la cáscara de huevo este material no solamente contiene carbonato de calcio sino también proteína de la película que reviste la cáscara en su interior, esta proteína se convierte en amoníaco, nitritos y nitratos (Chen, 1999).

La harina de huesos obtenida por molienda y tratamiento con vapor es muy valiosa por su contenido de fosfato cálcico y por los iones fosfatos que pueden ser más disponibles para las plantas cuando se trata con vinaza (Berón, 2006).

**j. En la industria:**

El principal valor de la vinaza reside en las cualidades de su complejo polimérico. El complejo polimérico de la vinaza tiene, entre otros usos industriales, los siguientes:

**Construcción:** En orden de importancia en relación con el volumen de consumo se debe citar en primer lugar la industria del cemento de hormigón, que demanda en el mundo aditivos con varios millones de toneladas de un complejo polimérico, el cual en un importante porcentaje de sus usos es sustituible por el complejo polimérico de vinaza (Irisarri, 2006).

Su aplicación es como aditivo en la preparación de concreto, actuando como fluidificante o plastificante y sustituyendo al agua. En la literatura se encuentran datos que indican que es posible sustituir 16 L. de agua por un 1 Kg. de aditivo. La vinaza o su complejo polimérico trabaja por vía física (eléctrica), con un extremo o cabeza hidrófilo (carga positiva) y el otro hidrófugo (carga negativa). El componente hidrófugo se introduce en la parte sólida del concreto y el hidrófilo permanece en el extremo opuesto formando "pompones" con carga eléctrica del mismo signo que se repelen entre sí, con el mismo efecto de fluidificación que el agua. Al usar menos cantidad

de agua la resistencia del concreto aumenta, o se puede usar menos cemento para obtener un concreto de igual resistencia.

**Otros usos:** El complejo polimérico también puede ser usado en menores cantidades para compactar y eliminar el exceso de polvo en vías carretables y en la fabricación de aglomerados, oxiclورو de cobreasfaltos, curtiembres y productos para la limpieza de calderas (Berón, 2006).

**k. En la agricultura:**

En la agricultura es necesario entender que la principal contribución de la vinaza ocurre a través del complejo polimérico. En este campo se debe tener en cuenta los componentes orgánicos e inorgánicos de la melaza y sus interrelaciones, ya que muchas veces estos últimos adsorben o retienen varios componentes orgánicos formando a complejados.

El análisis con espectro de rayos infrarrojos muestra que la vinaza posee dentro de su fracción orgánica, los compuestos siguientes (Gloria y Orlando, 1983):

Grupos OH (alcohol) de pequeña capacidad complejante.

Cadenas hidrocarbonadas CH – OH – CH o presencia de materia orgánica capaces de incorporar elementos.

Sales de ácido carboxílico COOH – metal en forma iónica y por tanto con gran capacidad de cambiar cationes y complejar.

Ácidos carboxílicos R – COOH con función de agente disponible para formar nuevos complejos.

Función de ésteres y alcoholes primarios C – OH, C – O – C con capacidad para ceder o incorporar elementos y complejar.

Puentes de hidrógeno – H --- H – con capacidad para unir cadenas y/o complejos.

Entre los componentes inorgánicos sobresale el potasio, un elemento que recientemente ha recibido especial atención como mejorador de las condiciones de suelos tropicales.

### 2.1.3. MANEJO DE VINAZAS: METANIZACIÓN Y COMPOSTAJE.

Las vinazas, como subproducto de la destilación de alcohol tienen una carga orgánica muy alta, que las hacen potencialmente contaminantes. Una destilería de 150000 litros diarios genera la misma carga orgánica que una ciudad de 1 millón de habitantes. La carga depende sin embargo de la materia prima utilizada (datos aproximados):

- Melaza – 7% sólidos totales.
- Jugo de caña – 3% sólidos totales.
- Miel B o mezcla de melaza y jugo de caña – 5% sólidos totales.

Afortunadamente la naturaleza de esta carga orgánica facilita su manejo y aprovechamiento. La vinaza siendo muy concentrada, el volumen a manejar es bajo: 13 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> del alcohol generado, o aún menos en caso de recirculaciones internas de la vinaza (hasta 4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Además, todos los componentes de la vinaza provienen de la materia prima (jugo de caña y melaza) y pueden servir de abono o aún alimento. No hay patógenos, ni metales pesados, ni componentes tóxicos. Los principales limitantes a su uso son su alto contenido de potasio, del orden del 6% de sus sólidos totales, tanto para abono como para alimento, así como su alto contenido de sulfuros.

Este subproducto es idóneo, y aún ideal, para metanización, para su descomposición anaerobia ( en ausencia de aire), primer paso de su tratamiento como efluente. Su conveniencia para metanización varía sin embargo según la materia prima utilizada para la producción de alcohol, siendo ideal el jugo de caña y más complicada la melaza, por su mayor contenido de sulfato (Irisarri, 2006).

La metanización es la forma más común de tratamiento de las vinazas en el mundo, a la par con la ferti-irrigación. Su tratamiento por compostaje (en pilas aireadas) es menos común pues implica la disponibilidad de grandes cantidades de cachaza u otra materia prima como soporte seco o fibroso.

### 2.2. POTASIO (K<sup>+</sup>):

El potasio se encuentra , inicialmente, en los materiales originarios que contienen silicatos del tipo feldespatos, feldespatoides y micas. A partir de esta situación ( en la que es completamente insoluble y no intercambiable, por lo que no puede participar en los procesos edáficos de nutrición), pasa, gracias a

diversos procesos de alteración, a formas libres que se pueden incluir en los procesos de adsorción de las arcillas y pasar a la solución del suelo (también existe  $K^+$  procedente de los restos vegetales a través de la mineralización del humus) (Cobertera, 1993).

Los procesos de alteración mineral son distintos en función del clima:

1. En climas tropicales e intertropicales, la alteración de los feldespatos por hidrólisis da lugar a la neoformación de hidróxidos, de caolinitas, o de esmectitas, con la liberación del  $K^+$ .
2. En climas fríos y suelos ácidos, la alteración de los silicatos y su destrucción es por acidolisis gracias a la presencia de humus y agentes complejantes, con liberación de  $K^+$ .
3. En climas templados, la vía directa de liberación del  $K^+$  por destrucción de los feldespatos es muy poco importante, siendo, por el contrario, la principal por transformación de los minerales filitosos, micáceos e illitas. Esta liberación de  $K^+$  se produce en suelos de pH superior a 5 por intercambio con  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , dando lugar a esmectita por transformación, mientras que si el pH es inferior a 5 es el  $Al^{2+}$  el que se intercambia, dando lugar a vermiculitas hidroxialimínicas.

Una vez liberado el  $K^+$  de los minerales primarios, toma dos caminos: la disolución con la consiguiente absorción radicular o lavado del excedente; y la adsorción por los enlaces internos y externos de las láminas de las arcillas.

En los suelos agrícolas las labores favorecen la rotura de los feldespatos, micas y arcillas produciéndose la liberación mecánica del potasio. La asimilabilidad del nutriente potasio, es decir, la cantidad de este elemento en forma intercambiable y en disolución depende no sólo de la reserva total inicial que, como se ha visto, suele ser muy importante dada la abundancia de los silicatos y micas que lo contienen, sino, sobre todo, depende de la cantidad y naturaleza de las arcillas, la naturaleza de los minerales portadores de  $K^+$  y su estado de meteorización, la capacidad de la fracción coloidal para fijar o retener potasio, el contenido de humedad y de oxígeno en el suelo, el efecto de la temperatura, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la alta saturación de magnesio (> 40 %), la cantidad de materia orgánica en el suelo, la actividad microbiana y la aplicación de fertilizantes, entre otros. Además, la fracción disponible de potasio para las

plantas depende del equilibrio dinámico de las formas de potasio en el suelo y de la interacción con los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) entre otros. La necesidad de un equilibrio entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  de cambio, es con el fin de que los tres elementos participen proporcionalmente en los enlaces eléctricos de las arcillas. Si el  $\text{Ca}^{2+}$  y/o  $\text{Mg}^{2+}$ , por ejemplo, son excesivamente abundantes en relación con el  $\text{K}^+$  (más de 20 veces), todos los enlaces negativos interlaminares y extralaminares de las arcillas se encuentran saturados de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , con lo que el  $\text{K}^+$  no queda adsorbido y se pierde por lavado. Por el contrario, si el  $\text{Ca}^{2+}$  y/o el  $\text{Mg}^{2+}$  son inferiores a ocho veces en relación con el  $\text{K}^+$ , éste ocupa la mayoría de los enlaces negativos interlaminares y queda retrogradado. En ambos casos se presenta una deficiencia en potasio asimilable por las plantas, aunque el material originario sea muy abundante en este elemento (Borrero y García, 2006).

Varias investigaciones han confirmado que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance del  $\text{K}^+$  que la reposición primaria proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla.

Exceptuando los suelos ricos en materia orgánica, la mayor parte del  $\text{K}^+$  que se incorpora al suelo proviene de la red cristalina de: (1) Aluminio – silicatos primarios como los feldespatos potásicos, micas como la muscovita, biotita, flogopita y otros de menor importancia; y (2) Minerales secundarios como la illita, y toda la amplia gama de minerales transicionales formados durante la transformación de la illita a vermiculita, montmorillonita o clorita (Mejía, 1978).

Sin embargo, arcillas como la illita y la clorita no deberían mencionarse simultáneamente con las micas como portadores de potasio en los suelos, por cuanto son producto de la meteorización de estas últimas, y parte del  $\text{K}^+$  que pueden contener en un momento dado lo han heredado de sus minerales precursores. Con excepción de los climas extremos tropicales, desérticos, subpolares o árticos, la secuencia de transformación de la mica primaria en los suelos (mica – illita – illita expandida – vermiculita – esmectita – clorita secundaria, etc.), tiende a cumplirse. Sin embargo, no se debe tomar como un esquema de validez general para todos los suelos ya que el desarrollo de los minerales de arcilla está fuertemente influenciado por las condiciones particulares de desarrollo de los suelos (Borrero y García, 2006).

### 2.2.1. FORMAS DE POTASIO EN EL SUELO:

El potasio se encuentra distribuido en diferentes formas, sin que exista un límite riguroso entre una forma y otra. Estas formas presentan diversas denominaciones:  $K^+$  soluble, intercambiable y no intercambiable, el cual a su vez se divide en potasio recientemente fijado (potasio que se fija después de una adición de  $K^+$ ) y  $K^+$  fijado nativo ( $K^+$  estructural). Estas tres formas de  $K^+$  dan una representación general de la disponibilidad del mismo en el suelo (Lui et al, 1997) <sup>3</sup>.

#### a. $K^+$ soluble:

El  $K^+$  soluble en agua es inmediatamente disponible a las plantas y el  $K^+$  intercambiable fácilmente disponible, pero el  $K^+$  no intercambiable (que generalmente constituye la mayor proporción del  $K^+$  total del suelo) puede llegar a ser disponible sólo muy lentamente a través de meteorización. El  $K^+$  no intercambiable comprende el  $K^+$  estructural o nativo y el potasio fijado entre las láminas de arcillas 2:1 (Jungk y Claassen, 1997) <sup>3</sup>.

#### b. $K^+$ estructural:

Se define como la fracción del elemento contenido en la estructura cristalina de minerales primarios y secundarios, el cual se libera gradualmente a medida que los procesos de alteración química tienen lugar. Además, las raíces pueden alterar irreversiblemente y aún destruir ciertos minerales arcillosos (Nachtigall y Vahl, 1989) <sup>3</sup>.

#### c. $K^+$ total:

El  $K^+$  total corresponde a la sumatoria de  $K^+$  extractable ( $K^+$  soluble más  $K^+$  intercambiable) y el  $K^+$  no intercambiable ( $K^+$  fijado más  $K^+$  estructural). Su contenido en el suelo es proporcional al tipo y cantidad de minerales presentes. Así, por ejemplo, suelos ricos en micas como la muscovita y la biotita o feldespatos potásicos son los que presentan mayores contenidos de  $K^+$  total. El  $K^+$  total es poco útil para diagnosticar los requerimientos de fertilización potásica (Sharpley, 1990).

Las interacciones del potasio con otros iones reflejan cambios en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y/o alteraciones en la función de

iones en el desarrollo fisiológico de las mismas. En el suelo son numerosas las especies químicas que se encuentran presentes, sin embargo, no todas interactúan de una manera directa con el potasio. Debido a que el tamaño del ión  $K^+$  es similar al del ión  $NH_4^+$ , ambos iones pueden competir por sitios de intercambio de superficie o sitios de fijación. El  $Ca^{2+}$  y el  $K^+$  se desplazan mutuamente en el suelo y son igualmente antagonistas. El efecto es más notorio en los suelos donde el  $Ca^{2+}$  se encuentra en niveles elevados. En suelos yesíferos el  $Ca^{2+}$  puede tener un efecto antagónico sobre el  $K^+$ , igualmente en suelos fuertemente encalados con  $CaCO_3$  puede afectar la disponibilidad del  $K^+$  para las plantas. La fijación del  $K^+$  que ocurre después del secado del suelo puede disminuir por exceso de calcio u otros cationes en solución (Mejía, 1978).

El  $K^+$  es fuerte antagonista con el  $Mg^{2+}$  y el efecto inverso es moderado, sin embargo, en suelos magnésicos el  $Mg^{2+}$  puede tener efecto antagónico sobre el  $K^+$ . Puesto que el  $K^+$  y el  $Mg^{2+}$  muestran un antagonismo fisiológico en la extracción por la planta, la relación  $K^+/Mg^{2+}$  de los suelos debería ser considerada antes de predecir la disponibilidad de potasio. El  $Na^+$  también puede llegar a interactuar de manera antagónica con el  $K^+$  en el suelo. En suelos salinos y/o alcalinos puede ocurrir antagonismo  $Na^+ - K^+$ , lo cual previene la extracción de  $K^+$  por los cultivos (Borrero y García).

### 2.2.2. RELACIÓN ENTRE EL POTASIO INTERCAMBIABLE Y EN SOLUCIÓN:

El  $K^+$  se comporta en forma diferente bajo condiciones salinas y no salinas. Los cationes  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  pueden estar presentes en cantidades considerables en aguas de riego duras y aguas residuales, pudiendo participar en múltiples reacciones de intercambio con otros cationes adsorbidos, reacciones posibles que involucran intercambios  $K^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+}$ ,  $K^+ - Na^+ - Ca^{2+}$  y  $K^+ - Na^+ - Mg^{2+}$  en suelos, por lo que el estudio de su efecto en la distribución entre la solución y la fase sólida es sumamente importante en la nutrición vegetal (Cobertera, 1993).

El uso de tales aguas puede causar el movimiento del  $K^+$  hacia estratos inferiores del perfil las cuales, por dar lugar a concentraciones crecientes de cationes competitivos, hacen que fracciones grandes de  $K^+$  del suelo o del fertilizante se encuentren en la fase soluble. Este  $K^+$  es más fácilmente lavable

del suelo, especialmente si este es salino. A medida que el cultivo crece en un suelo con las condiciones descritas no muestra necesariamente deficiencias de P o K, lo que indica que la extracción de nutrientes de la solución del suelo por los cultivos está acompañada por la reposición sustancial proveniente de la fase sólida del suelo. Así, se deben distinguir dos componentes de los nutrientes en el suelo: el factor cantidad (Q) que representa la cantidad de nutriente disponible, y el factor intensidad (I) que refleja la fuerza de retención del nutriente en el suelo. En una forma más simple el factor "I" es la concentración del nutriente en la solución del suelo (Ritas y Melida, 1985).

Las reacciones de intercambio que involucran  $K^+$  y cationes tales como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Na^+$  en los minerales arcillosos del suelo han sido objeto de estudios intensivos por muchos investigadores (Sparks, 1987). En suelos donde las cantidades de cationes en solución son despreciables en comparación con aquellos adsorbidos por el suelo, el valor de la relación se encontró razonablemente independientemente de la dilución (Talibudeen, 1981).

Beckett (1964)<sup>3</sup> y su colaborador Tinker (1964)<sup>3</sup> sugirieron que la relación  $(K)/(Ca + Mg)^{1/2}$  se relaciona con el cambio en  $K^+$  intercambiable para dar una completa idea del efecto de cantidad ( $K^+$  intercambiable) sobre la intensidad  $(K)/(Ca + Mg)^{1/2}$ . (Thomas y Hipp, 1981)<sup>3</sup> indican que un alto valor de la relación Q/I sugiere que la disponibilidad de  $K^+$  permanecerá sin mayores cambios durante un largo periodo de tiempo y que un valor bajo sugiere la necesidad de aplicación frecuente de este elemento.

Los resultados obtenidos en el fraccionamiento de  $K^+$  confirman lo anterior y permiten concluir que la relación Q/I es un buen parámetro para evaluar la disponibilidad de  $K^+$  para las plantas, ya que toma en consideración los fenómenos de superficie a los que se ve sometido dicho ión con los distintos intercambiadores iónicos del suelo, los efectos por el contenido de materia orgánica, acidez, movilidad iónica y la presencia de otros iones de intercambio.

La relación cantidad/intensidad, (Q/I), incrementa con el aumento en el contenido de arcilla. Si (Q/I) es baja, pequeños cambios en  $K^+$  intercambiable dan lugar a grandes diferencias en el  $K^+$  en la solución del suelo, indicando que es necesario fertilizar frecuentemente (Cobertera, 1993).

En suelos arenosos, especialmente en aquellos en los cuales la materia orgánica es responsable en gran parte de la capacidad de intercambio catiónico,

presentan el problema opuesto, la relación  $Q/I$  es tan baja que la cantidad de  $K^+$  en la solución en un momento dado es insignificante. Las lluvias fuertes o un rápido crecimiento de las plantas pueden deprimir rápidamente el  $K^+$  disponible en pocos días.

En general, la relación entre el  $K^+$  intercambiable y el  $K^+$  de la solución del suelo es una buena medida de la disponibilidad de  $K^+$  en el suelo para las plantas. El  $K^+$  total que se puede difundir a través de la solución del suelo está directamente relacionado con la cantidad que está en dicha solución en un momento dado. Por esta razón, la "intensidad" del  $K^+$  es de gran importancia para la nutrición de las plantas (Borrero y García, 2006).

### 2.3. EL SUELO Y LA PLANTA:

El suelo es un sistema muy complejo. En un volumen determinado de suelo coexisten tres fases, una sólida, otra líquida y otra gaseosa en estrecho equilibrio.

La fase sólida puede ser mineral u orgánica. La porción mineral está compuesta de partículas de composición, formas y tamaños muy diversos. La fracción orgánica abarca desde organismos en estado de vida activa hasta residuos vegetales y animales en estados de descomposición.

La fase sólida, que es la que predomina, está rodeada de películas acuosas que forman la fase líquida. La fase gaseosa ocupa aquella parte del espacio de poros entre las partículas de suelo que no están llenas de agua. Las interrelaciones físicas y químicas entre las tres fases están afectadas, además de por sus respectivas propiedades, por la temperatura, presión y luz (Ritas y Melida, 1985).

Las partículas de la fase sólida varían en sus dimensiones desde los límites inferiores del estado coloidal hasta las fracciones más gruesas de arena y grava. La Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (I.S.S.S.), clasifica la fase sólida según el tamaño, como sigue:

Arcilla	: Partículas de menos de 0.002 mm.
Limo	: Partículas mayores de 0.002 mm. y menores de 0.02 mm.
Arena fina	: Las de un tamaño comprendido entre 0.02 mm. y 0.2 mm.
Arena gruesa	: Las que siendo mayores de 0.2 mm. no superen los 2 mm.

**a. Fracciones de arena y limo:**

Estas fracciones contienen minerales primarios que tienen un indudable interés en el proceso de intemperización y formación del suelo.

Algunos tienen efectos directos sobre la naturaleza mineralógica de la arcilla formada durante el proceso de intemperismo. La mayor parte de los minerales de estas fracciones están compuestos de cuarzo, feldspatos primarios y micas.

Si el material primario es mica, la arcilla de ese suelo será montmorillonita, según la secuencia (Cobertera, 1993):

Mica – illita – vermiculita – montmorillonita.

**b. Fracción arcilla:**

Desde el punto de vista de la nutrición de la planta es la más interesante de la fase sólida. Las arcillas son minerales cristalinos constituidos por átomos ordenados, en el espacio, de silicio, aluminio, hierro, magnesio, oxígeno y grupos oxihidrilos.

Dentro de estos cristales pueden haber sustituciones de unos átomos por otros. Así, el aluminio puede sustituir al silicio. El magnesio y el hierro sustituyen a átomos de aluminio, que se encuentran más en la superficie del mismo. Estas cargas son equilibradas por cationes que se llaman “de cambio” y son de gran importancia en la nutrición de la planta.

La cantidad de cationes adsorbidos por la arcilla recibe el nombre de “capacidad de cambio catiónico”. En principio, cuanto más arcilloso sea un suelo mayor capacidad de cambio tendrá. Dentro de las arcillas no todas poseen la misma capacidad de cambio, pudiéndose establecer la siguiente secuencia (Ritas y Melida, 1985):

Vermiculitas > montmorillonitas > illitas > caolinitas.

Sin embargo, en la naturaleza los cristales de arcilla frecuentemente están rotos. Si en el sitio donde se produjo la rotura había acumulación de cargas positivas éstas serán equilibradas por aniones. Por eso podemos hablar de “capacidad de cambio aniónica”. Desde el punto de vista cuantitativo ésta tiene lugar en proporción mucho menor que la catiónica.

La capacidad de cambio depende , al menos en parte, del pH del suelo. Las arcillas que poseen gran capacidad de intercambio de cationes presentan adsorción de aniones a valores muy bajos de pH (Jackson, 1997).

Los principales cationes de cambio, importantes para la nutrición de las plantas son: Ca, Mg, K, Na,  $\text{NH}_4$ , H y algunos microelementos.

Los aniones son cloruros, sulfatos y fosfatos. Los dos primeros sólo son fijados a valores muy bajos de pH, careciendo de interés práctico.

En cambio, los aniones fosfatos son adsorbidos fuertemente, incluso, a valores de pH, por encima de la neutralidad. Ocurre que el fosfato forma compuestos insolubles con el calcio, hierro y el aluminio, por lo que resulta muy difícil distinguir los efectos del verdadero intercambio de los de la precipitación química (Cobertera, 1993).

#### **c. Fracción orgánica:**

También la fracción orgánica, principalmente la muy descompuesta y, por lo tanto, estable, que recibe el nombre de ácidos húmicos, posee esta característica de intercambio catiónico.

#### **2.3.1. FASE LÍQUIDA (Ritas y Melida, 1985):**

El agua del suelo rodea a la fase sólida. Por tanto, su composición dependerá de la de aquella. Si la fase sólida es rica en un determinado elemento, parte de éste pasará a la fase líquida.

La planta se alimenta principalmente de la fase líquida, aunque se admite que también lo puede hacer directamente de la fase sólida.

Así, cuando la planta absorbe un determinado nutriente de la fase líquida, la fase sólida tiende a restituir el equilibrio, "liberando" ese nutriente de nuevo a la fase líquida. Por el contrario, cuando se enriquece la solución del suelo por causa de un abonado, parte de éste queda fijado en la fase sólida.

Los minerales primarios y la materia orgánica, van liberando nutrientes que pasan a poder ser asimilables por las plantas y también entran en el complejo de equilibrio antes indicado.

Desde un punto de vista cuantitativo hay muchísimos más nutrientes en la fase sólida que en la líquida.

### **2.3.2. MOVIMIENTO DE LOS NUTRIENTES HASTA LA SUPERFICIE DE LA RAÍZ:**

Un nutriente puede estar colocado justo al lado de la raíz o en un espacio algo distante. Dada la inmovilidad de las raíces de la planta, de alguna forma, el nutriente debe llegar al alcance de aquéllas. A continuación se dan los mecanismos por los cuales un nutriente puede ser puesto en contacto con las raíces (Segura, 1969).

#### **a. Interceptación por las raíces**

Ya que las raíces proliferan en el suelo, ocuparán espacios contiguos a los nutrientes y éstos podrán ser absorbidos sin ningún tipo de movimiento. Una estimación de la posible contribución de la interceptación de nutrientes por las raíces se puede lograr en base a las siguientes suposiciones:

1. Se obtiene la máxima cantidad de nutrientes interceptados por las raíces si suponemos que en toda la superficie de contacto raíz suelo los nutrientes están en forma asimilable.
2. Las raíces ocupan un 2 por 100 del volumen poroso total del suelo.

El único elemento que puede ser satisfecho totalmente por este mecanismo es el calcio, aunque este proceso proveerá una parte de las necesidades de magnesio, manganeso y cinc.

Aunque las suposiciones efectuadas no son del todo válidas, es evidente que la planta absorberá más nutrientes por este mecanismo, cuanto mayor sistema radicular posea y cuanto mayor sea la concentración de nutrientes asimilables del suelo.

#### **b. Flujo de masas (Cobertera, 1993)**

El agua del suelo está en continuo movimiento y lleva nutrientes disueltos. Cuando la planta absorba agua para reemplazar a la pérdida por transpiración, se producirá también un flujo de nutrientes.

El porcentaje de nutrientes que pueden ser satisfechos por este mecanismo depende de:

1. Las necesidades de la planta para ese nutriente.
2. La concentración del mismo en la solución del suelo.

3. Cantidad de agua transpirada por unidad de peso de tejido.
4. El volumen efectivo de agua en circulación que entra en contacto con la superficie de la raíz, en respuesta al gradiente de potencial de agua.

Resulta evidente que este mecanismo puede ser el principal contribuyente para la asimilación del calcio, magnesio, cinc, cobre, boro y hierro.

### c. Difusión (Nunes, 1981)

La ecuación que nos da la cantidad de nutriente que se difunde en un tiempo determinado hacia la superficie de la raíz es:

$$dq/dt = DAP (C_1 - C_2)/L$$

En donde:

$dq/dt$  es la cantidad de nutriente que se difunde en un instante dado.

D es el coeficiente de difusión del nutriente en el agua.

A es la sección total absorbente de las raíces.

P es la fracción de volumen de suelo ocupado por el agua (e incluye también un factor de tortuosidad).

$C_1$  concentración de un nutriente en el agua del suelo a una distancia L de la raíz.

$C_2$  concentración del mismo nutriente en la superficie de la raíz.

L es la distancia desde la superficie de la raíz hasta donde se mide la concentración  $C_1$ .

### 2.3.3. TEXTURA (Ritas y Melida, 1985):

La textura o composición granulométrica expresa las proporciones relativas de las partículas minerales de la tierra fina, clasificadas en categorías según unos gruesos arbitrarios. Se denomina tierra fina al conjunto de partículas inferiores de 2mm. y elementos gruesos al conjunto de partículas superiores a los 2mm.

Sobre las fracciones granulométricas existen dos hipótesis básicas.

Una de ellas considera que las partículas se asimilan a esferas, y otra que los grupos de partículas se definen según los límites extremos de su clase.

La clasificación internacional señala cuatro clases de partículas:

Arena gruesa	De 2 a 0.2 mm.
Arena fina	De 0.2 a 0.02 mm.
Limo	De 0.02 a 0.002 mm.
Arcilla	Menos de 0.002 mm.

Es cada vez más corriente establecer una división dentro de la arena fina, considerando arena fina la fracción comprendida entre 0.2 y 0.05 mm. , y arena muy fina o limo grueso si está entre 0.05 y 0.02 mm.

La apreciación de la proporción que corresponde a cada una de estas categorías, a las que conviene añadir materia orgánica y la caliza, permite definir la textura global del suelo.

**Suelos arenosos:** Son gruesos, calientes, de buen drenaje interno, de baja capacidad retentiva de agua y abonos. En general, son pobres y de escasa productividad. Aprovechados para el cultivo de vid, tabaco, cacahuate, patatas.

**Suelos franco arenosos:** Suelos medios, con las mismas deficiencias que los suelos arenosos, pero más atenuadas. Estos suelos son buenos para hortalizas, cítricos, algodón, tabaco, leguminosas, patatas, forrajes, cacahuate, maíz, plátanos, ajo, cebolla, vid, melones, sandías, caña de azúcar y melocotón.

**Suelos franco limosos:** Suelos medios apropiados para el cultivo de tabaco, leguminosas, maíz, vid, arroz, trigo, caña de azúcar, forrajes, melocotón y tomates.

**Suelos francos:** Suelos medios, retienen bien el agua y los abonos y son los más apropiados para la mayoría de los cultivos.

**Suelos franco arcillo arenosos:** Suelos medios, buenos para arroz, plátanos, cacahuates, trigo, tabaco, forrajes, vid, caña de azúcar, leguminosas, tomates, cítricos.

**Suelos franco arcillo limosos:** Suelos finos, buenos para cítricos y tomates.

**Suelos franco arcillosos:** Suelos finos, apropiados para cultivar caña de azúcar, plátanos, alcachofas, arroz y trigo.

**Suelos arcillo limosos:** Suelos finos con características similares a los arcillosos.

**Suelos arcillo arenosos:** Suelos semifinos, con características intermedias entre los arcillosos y arenosos.

**Suelos arcillosos:** Suelos finos, difíciles de trabajar, y recomendables para arroz, alfalfa y otros forrajes, y en algunos casos caña de azúcar.

**Suelos de grava:** Cuando poseen 30% o más de grava o piedras.

**Suelos pedregosos:** Cuando presentan 30% o más de piedras de 10 cm. de diámetro.

**Suelos de fango:** Cuando contienen de 25 a 65% de materia orgánica.

**Suelos turbosos:** Los que contienen más de 65% de materia orgánica.

En el cuadro siguiente se presenta la clasificación internacional de los suelos

**Cuadro 14:** Clasificación internacional de los suelos; porcentajes de arena, limo y arcilla.

Clase de suelo	Límites de los porcentajes de las fracciones del suelo		
	Arena	Limo	Arcilla
Arenoso	80 – 100	0 - 20	0 – 20
Franco arenoso	50 – 80	0 - 50	0 – 20
Franco limoso	0 – 50	50 - 100	0 – 20
Franco	30 – 50	50 - 50	0 – 20
Franco arcillo limoso	0 – 30	50 - 80	20 – 30
Franco arcillo arenoso	50 – 80	0 - 30	20 – 30
Franco arcilloso	20 – 50	20 - 50	20 – 30
Arcillo limoso	0 – 20	50 - 70	30 - 50
Arcillo arenoso	50 – 70	0 - 20	30 – 50
Arcilloso	0 – 50	0 - 50	30 – 100

Fuente: El diagnóstico del suelo y las plantas, 1985 <sup>17</sup>.

### **III. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general:**

Determinar el efecto que produce la aplicación de diferentes dosis de vinaza en el contenido de potasio intercambiable en un suelo agrícola, con la finalidad de reusar este efluente industrial.

#### **Objetivos específicos:**

Determinar el contenido de potasio intercambiable en el suelo agrícola a diferentes profundidades, antes de la aplicación de vinaza.

Determinar el contenido de potasio intercambiable en el suelo agrícola a diferentes profundidades , después de la aplicación de vinaza.

Comparar el contenido de potasio intercambiable en el suelo agrícola a diferentes profundidades, antes y después de la aplicación de vinaza.

Determinar la dosis de vinaza más adecuada para ser aplicada en el suelo agrícola.

### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Localización:**

Este ensayo experimental se realizó en un suelo de la Estación Experimental Agrícola (Campo Nuevo) de la Empresa Agroindustrial Casa Grande, Valle Chicama, ubicada a 44 kilómetros al norte de la ciudad de Trujillo, como parte del Distrito de Casa Grande, Provincia de Ascope, Región La Libertad. Dicha localidad se encuentra a una altura de 158 m.s.n.m., y su ubicación geográfica es de 7°44'54" latitud sur, y 79°11'30" longitud oeste.

El Valle Chicama por su clima forma parte de la costa desértica, predominando en su extensión formaciones como el desierto subtropical y maleza desértica subtropical. La temperatura oscila

entre 13.6 – 30 °C, con una precipitación pluviométrica promedio anual de 19.1 mm. El mayor porcentaje de humedad relativa se produce en los meses de Junio – Agosto, con un promedio de 95% y la más baja en Enero – Febrero con un promedio de 56%.

## **4.2. Método:**

### **4.2.1. Diseño experimental:**

Para la instalación del experimento se empleó un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones. Se utilizaron 3 bloques, cada bloque estuvo constituido por cinco parcelas y se aplicaron cinco dosis de vinaza.

La variable dosis de vinaza (tratamiento) se distribuyó de manera aleatoria en cada parcela perteneciente a un bloque. Los bloques se distribuyeron de tal manera que exista uniformidad dentro de ellos.

Aleatorización: Se seleccionaron al azar 5 parcelas y se asignaron al azar a cada parcela un tratamiento.

Bloqueo: Se introdujo el factor bloque "parcela". Estas se distribuyeron en 3 bloques.

### **Dimensionamiento del campo experimental:**

Nº de parcelas	15
Longitud de parcela	90 m.
Ancho de parcela	7 m.
Área de parcela	630 m <sup>2</sup> .
Longitud de surco	90 m.
Distancia entre surcos	1 m.
Área total efectiva del campo experimental	9450 m <sup>2</sup> .

### **Sistema de Riego:**

En el presente ensayo se empleó el sistema de riego por mangas, el cual se constituye básicamente de una tubería flexible de polietileno con válvulas insertadas (resistente a temperaturas solares, fuertes

fríos, sales, ácidos, etc.), que nos permite el traslado y distribución de líquidos.

Características de tubería:

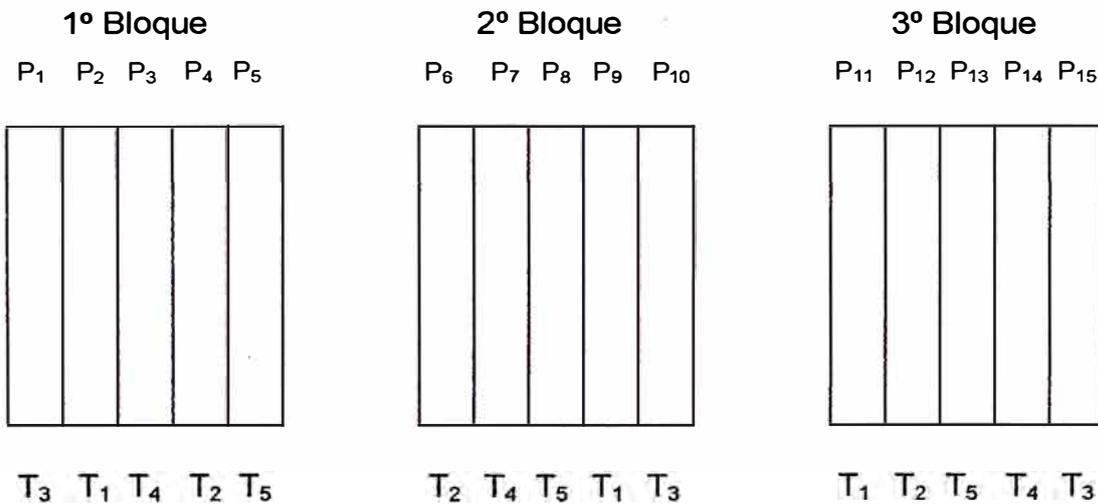
- Longitud : 130 metros.
- Diámetro : 10 pulgadas.
- Espesor : 16 micras.
- Color : Negro.

**4.2.2. Tratamientos:**

Los tratamientos fueron:

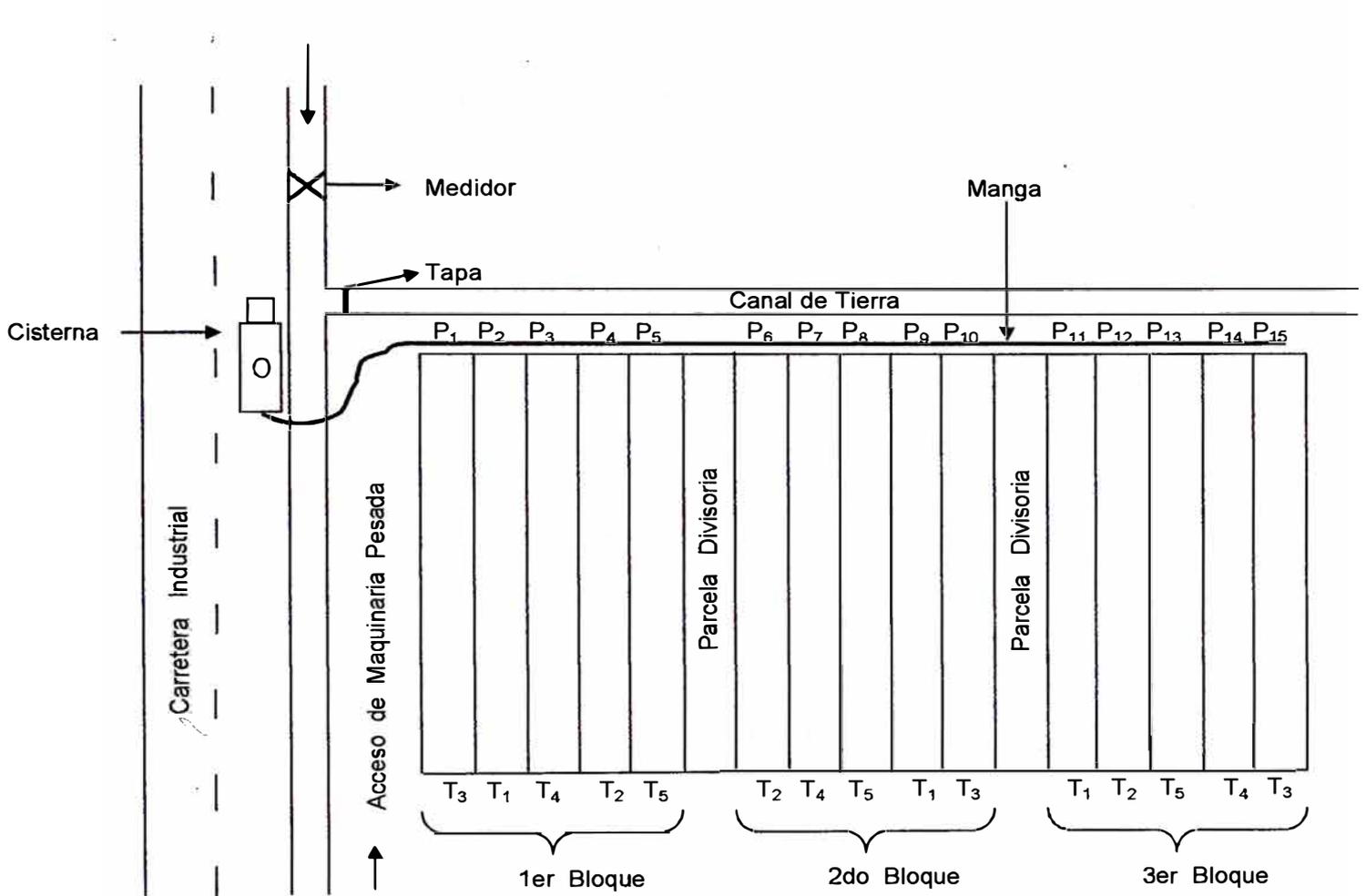
- T<sub>1</sub> = Sin vinaza ( Testigo)
- T<sub>2</sub> = 25 m<sup>3</sup>/ha.
- T<sub>3</sub> = 50 m<sup>3</sup>/ha.
- T<sub>4</sub> = 75 m<sup>3</sup>/ha.
- T<sub>5</sub> = 100 m<sup>3</sup>/ha.

**Esquema del experimento:**



P = Parcela, T = Tratamiento

En la figura 4, se muestra el croquis del campo experimental:



**Leyenda**

P : Parcela

T : Tratamiento

**Fig. 4:** Croquis de Campo Mostrando la Disposición de Parcelas y Tratamientos

**Parcelas experimentales:**

Nº de parcelas experimentales = Nº de bloques × Nº de parcelas

Nº de parcelas experimentales = 3 × 5 = 15.

**Superficie de ensayo:**

$$\text{Área de parcela} = \text{Longitud} \times \text{Ancho} = 90 \text{ m.} \times 7 \text{ m.}$$

$$\text{Área de parcela} = 630 \text{ m}^2.$$

$$\text{Área de tratamiento} = \text{Repeticiones} \times \text{Área de parcela}$$

$$\text{Área de tratamiento} = 3 \times 630 \text{ m}^2 = 1890 \text{ m}^2 = 0.189 \text{ ha.}$$

**Cantidad de vinaza a utilizar en el experimento:**

Tratamiento	Cantidad de vinaza
T <sub>1</sub> = Sin vinaza (Testigo)	0 m <sup>3</sup> /ha × 0.189 ha = 0
T <sub>2</sub> = 25 m <sup>3</sup> /ha.	25 m <sup>3</sup> /ha × 0.189 ha = 4.72
T <sub>3</sub> = 50 m <sup>3</sup> /ha.	50 m <sup>3</sup> /ha × 0.189 ha = 9.45
T <sub>4</sub> = 75 m <sup>3</sup> /ha.	75 m <sup>3</sup> /ha × 0.189 ha = 14.18
T <sub>5</sub> = 100 m <sup>3</sup> /ha.	100 m <sup>3</sup> /ha × 0.189 ha = 18.90
Volumen total de vinaza = 47.25 m <sup>3</sup> .	

**Número de tanques cisternas para transporte de vinaza:**

$$\text{N}^\circ \text{ de tanques cisternas} = \text{Volumen total de vinaza} / \text{Capacidad de tanque}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de tanques cisternas} = (47.25 \text{ m}^3) / (30 \text{ m}^3) = 1.6$$

$$\text{N}^\circ \text{ de tanques cisternas aproximados} = 2.0$$

Antes de la instalación del experimento se hizo un muestreo de suelo en el área total del ensayo. Las muestras se tomaron en cada parcela, en el surco central, a tres distancias a lo largo del surco (a 3 m. de ambos extremos del surco y en el centro a 45m. de los extremos) y a tres profundidades fijas (0 – 20, 20 – 40, y 40 – 60 cm). Las muestras tomadas en los tres puntos a una misma profundidad en cada parcela se mezclaron y sólo se separó una muestra compuesta. Cada muestra de aproximadamente 1 kilogramo se colocó en una bolsa de polietileno, acompañadas de una etiqueta, donde se consigna, el código que identifica su origen, la fecha de muestreo y otras características de utilidad. Las muestras obtenidas se secaron al medio ambiente, se trituraron con un rodillo, para luego pasarlas por un tamiz de -0.5 mm. de celda quedando listas para los análisis respectivos.

La vinaza empleada provino de un mosto compuesto principalmente de melaza, fue transportada hasta el sitio de ensayo en camiones cisternas y se aplicó mediante riego por mangas. Al día siguiente de la aplicación de vinaza, se suministro el riego correspondiente. Después de la aplicación de la vinaza se tomaron muestras compuestas del suelo en cada parcela. Las muestras se tomaron a 2 meses después de la aplicación de vinaza, a tres profundidades fijas (0 – 20, 20 – 40, y 40 – 60 cm.) y a las tres distancias mencionadas antes de la instalación del experimento líneas atrás. Los análisis de suelos se hicieron de acuerdo a las metodologías convencionales.

### **4.3. Procedimientos analíticos:**

#### **4.3.1. Suelos (Jackson, 1997):**

##### **4.3.1.2. Cationes Intercambiables ( $K^+$ , $Na^+$ , $Ca^{++}$ , $Mg^{++}$ ):**

Este método es usado para determinar potasio, sodio, calcio, magnesio intercambiable en muestras de suelo. Se emplean diversas soluciones extractantes para determinar el nivel de elementos nutrientes intercambiables en los suelos. Los resultados obtenidos son usados como un medio efectivo de rápida determinación de requerimientos de fertilización para suelos en cultivo. Los extractantes de suelos generalmente no remueven todos los nutrientes disponibles del suelo, así como diferentes extractantes remueven diferentes cantidades. El extractante más comunmente empleado para cationes intercambiables es la solución de acetato de amonio.

Para los análisis, las muestras de suelo son secadas, molidas y pasadas por un tamiz. Las muestras son pesadas o medidas y luego extraídas.

La relación suelo/extractante y tiempos de agitación varían dependiendo del procedimiento empleado. Las muestras son filtradas y los elementos son determinados por espectrofotometría de absorción atómica a la llama.

Preparación de la muestra: La muestra es secada al ambiente y triturada con un pilón y mortero. La muestra triturada es pasada por una malla de -0.5 mm. Pesar 2.5 gramos de suelo en un frasco Erlenmeyer y adicionarle 25 ml. de acetato de amonio 1 N, pH 7.0. Colocar la muestra en un agitador por 15

minutos. Filtrar la solución, los elementos son determinados por espectrofotometría de absorción atómica a la llama<sup>20</sup>.

Análisis: Usando el procedimiento de rutina, determinar la concentración de los elementos de interés. Los estándares deben ser preparados por dilución apropiada de estándares patrón con el extractante.

Soluciones estándares patrón( solución madre) <sup>20</sup>:

Potasio: 1000 mg/L. Disolver 1.907 gramos de cloruro de potasio (KCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Sodio: 1000 mg/L. Disolver 2.542 gramos de cloruro de sodio (NaCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Calcio: 500 mg/L. Para 1.249 gramos de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), adicionar 50 ml. de agua desionizada. Disolver agregando por gotas 10 ml. de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con agua desionizada.

Magnesio: 1000 mg/L. Cuidadosamente disolver 1.0 gramo de cinta de magnesio en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con 1% en volumen HCl.

Soluciones estándares patrón utilizadas:

Potasio: 15, 45, 90 ppm.

Sodio: 10, 30, 50 ppm.

Calcio: 30, 70, 100 ppm.

Magnesio: 50, 100, 150 ppm.

Fósforo: 20, 40, 70 ppm.

Preparación de solución estándar patrón:

Ejemplo de cálculo: Preparación de solución de 15 ppm de K<sup>+</sup> a partir de la solución madre de 1000 ppm de K<sup>+</sup>.

Ecuación de dilución:  $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

Donde: C = Concentración

V = Volumen

$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 15 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml.}$

$V_1 = 1.5 \text{ ml.}$

Se toma 1.5 ml de la solución madre y se afora con agua desionizada a 100 ml.

#### 4.3.1.3. Porcentaje de saturación ó Cifra Arany ( $K_A$ ):

Se determinó tomando una muestra de 102 gramos de suelo, la cual se saturó con agua destilada hasta el punto en que la pasta resultante llegue al límite definido en que presenta un brillo especial reflejandose la luz, fluya ligeramente cuando se inclina el recipiente que lo contiene y resbale libremente de una espátula. El porcentaje de saturación o Cifra Arany ( $K_A$ ) (Eppink, 1976), se determina con la siguiente expresión:

$$K_A = \frac{AG \times 102}{P_S} + 2$$

$K_A$  = Cifra Arany

$P_S$  = Peso de suelo

AG= Gasto de agua destilada (ml.)

#### 4.3.1.4 pH :

Se tomó directamente la muestra de la pasta saturada del suelo para realizar la medida correspondiente, previa calibración del pH metro. La acidez del suelo se presenta en dos formas fundamentales:

- a. Activa: En la cual los iones  $H^+$  actúan directamente sobre el sistema radicular y en la dinámica de los elementos nutritivos en los suelos.
- b. Potencial: La cual depende del porcentaje de saturación del suelo y se mide con soluciones extractoras con el cloruro de potasio (KCl) 1N.

La acidez activa ó pH es la concentración de iones  $H^+$  libres, se calcula como  $pH = - \text{Log} [ H^+ ]$ .

El método de lectura es el potenciométrico, el cual como su nombre lo indica, mide la diferencia de potencial en milivoltios entre un electrodo de referencia, y otro electrodo de vidrio inmerso en la muestra.

#### 4.3.1.5 Materia orgánica:

Se determinó por el método de digestión de vía húmeda (Método de Walkley Black). Esta basado en la oxidación de la materia orgánica del suelo con

dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$  1N), en medio ácido: ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  concentrado) y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$  concentrado).

El exceso de dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ), se determina por valoración con una solución de Sulfato amónico ferroso ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.4 N).

**Procedimiento:** Se peso 0.5 gramos de muestra de suelo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml., se hizo en paralelo un blanco. A cada matraz se le agregó 10 ml. de  $K_2Cr_2O_7$  1N. Luego se le añadió 20 ml. de  $H_2SO_4$  concentrado, se agitó aproximadamente 1 minuto. Después de la agitación se le agregó 10 ml. de  $H_3PO_4$  concentrado más 0.2 gramos de fluoruro de sodio (NaF).

A cada matraz se le añadió 8 gotas de indicador de difenil etanol amina al 1%, y se procedió a titular con la solución de Sulfato amónico ferroso ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.4 N). Se determina con la siguiente expresión (Walkley y Black, 1947)<sup>15</sup>:

$$\%H = \frac{(B - b) \times N \times f}{M}$$

Donde:

% H = % de Humus.

B = ml. de solución de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.4 N (blanco).

b = ml. de solución de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.4 N (muestra).

N = Normalidad de solución de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.4 N.

F = Factor equivalente 0.688.

M = Peso de muestra en gramos.

$$\% C = \% H \times 0.69$$

Donde:

% C = % de Carbono orgánico

% H = % de Humus

$$\% M.O. = \% C \times 1.724$$

Donde:

% M.O. = % de Materia orgánica.

% C = % de Carbono orgánico.

#### 4.3.1.6. Capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.):

La arcilla y la materia orgánica del suelo están cargadas negativamente y son capaces de adsorber cationes de la solución del suelo. Estos cationes adsorbidos se denominan cationes de cambio ya que pueden ser cuantitativamente reemplazados por otros, sin destruir los coloides del suelo. La cantidad de cationes cambiables que un suelo es capaz de adsorber recibe el nombre de capacidad de cambio catiónico. Los principales cationes de cambio son potasio, calcio, magnesio y sodio. La capacidad de intercambio de cationes esta dada por la suma de estos cationes y se expresa en terminos de meq/100 g. de suelo. La extracción se realiza con acetato de amonio 1N , pH 7.

#### 4.3.1.7. Conductividad eléctrica del extracto de saturación:

La conductividad de una solución depende del número de iones que contiene. A medida que la concentración iónica disminuye, la conductividad eléctrica es menor. Si la conductividad eléctrica es elevada es porque la concentración de sales ha aumentado.

Sirve para evaluar la salinidad del suelo y se fundamenta, en establecer una estimación aproximada cuantitativa de la cantidad de sales solubles que contiene el suelo.

Procedimiento: La muestra se tomó de la filtración al vacío de la pasta saturada, tomando el extracto como muestra, para ser medido por el cátodo del conductímetro. La conductividad eléctrica se expresa en mmho/cm., y se determina con la siguiente expresión (Richards, 1954)<sup>15</sup>:

$$C.E. = Lect. \times f$$

Donde:

C.E.= Conductividad eléctrica del extracto de saturación (mmho/cm.).

Lect = Lectura del conductímetro.

F = Factor para el extracto de saturación (1.50).

#### 4.3.2. Vinaza:

##### 4.3.2.1. Determinación de fósforo, potasio, calcio, magnesio (Jackson, 1997).

###### Preparación de la muestra:

- Se colocó 200ml. de muestra de vinaza en un matraz Erlenmeyer de 600 ml.
- La muestra se colocó en una estufa a una temperatura de 45 °C hasta sequedad por espacio de 5 horas.
- Se peso 1 g. de la muestra ya seca , se llevó a una vaso de precipitación de 600 ml., y se le agregaron 12 ml. de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3_{cc}$ ).
- Se llevó a calentamiento hasta que la digestión sea completa, se transvasó a una fiola de 100 ml., se aforó con agua desionizada, y se filtró.

###### Análisis:

Se llevó al espectrofotómetro de absorción atómica a la llama, y se determinó fósforo, potasio, calcio, y magnesio.

###### Soluciones estándares patrón( solución madre)<sup>20</sup>:

Potasio: 1000 mg/L. Disolver 1.907 gramos de cloruro de potasio (KCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Sodio: 1000 mg/L. Disolver 2.542 gramos de cloruro de sodio (NaCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Calcio: 500 mg/L. Para 1.249 gramos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), adicionar 50 ml. de agua desionizada. Disolver agregando por gotas 10 ml. de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con agua desionizada.

Magnesio: 1000 mg/L. Cuidadosamente disolver 1.0 gramo de cinta de magnesio en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con 1% en volumen de HCl.

Fósforo: 50000 mg/L. Disolver 21.32 gramos fosfato amonico dibásico,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , en agua desionizada y diluir a 100 ml.

#### 4.3.2.2. Nitrógeno total (N), (Hart and Fisher, 1971):

El método de Kjeldahl se ha convertido en un método patrón para la determinación de nitrógeno proteico de cereales, carnes y otros materiales biológicos.

El nitrógeno se presenta en una gran variedad de sustancias orgánicas importantes incluidas proteínas, péptidos, drogas sintéticas y fertilizantes. El método se basa en la oxidación de la muestra que se consigue con ácido sulfúrico concentrado y caliente; el nitrógeno orgánico es convertido completamente en sulfato de amonio. Este último compuesto es entonces descompuesto con una base fuerte, siendo destilado el amoniaco liberado a una disolución ácida patrón en donde es determinado valorando por retroceso con una base patrón.

##### Procedimiento:

- Se colocó 200ml. de muestra de vinaza en un matraz Erlenmeyer de 600 ml.
- La muestra se colocó en una estufa a una temperatura de 45 °C hasta sequedad por espacio de 5 horas.  
Pesar 0.5 g. de muestra , envolver en un papel filtro de 9 cm. e introducir en un matraz Kjeldahl de 500 ml.
- Añadir 25 ml. de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4_{cc.}$ ), 10 g. de sulfato de sodio ( $Na_2SO_4$ ) pulverizado ( eleva la temperatura del ácido sulfúrico concentrado y de éste modo eleva la temperatura de oxidación.).  
Añadir catalizador, (1 gota de mercurio ó 0.5 g. de óxido de mercurio ó un cristal de sulfato de cobre ó 0.1 g. de selenio).  
Calentar cuidadosamente hasta ebullición del ácido sulfúrico, continuar hasta que la disolución sea incolora ó ligeramente amarillenta; puede tardar de 2 a 3 horas, si se reduce el volumen de ácido, se reemplaza el perdido agregando más ácido.
- Separar la llama y dejar enfriar el matraz, girar el matraz si el contenido empieza a solidificarse.
- Diluir cuidadosamente con 200 ml. de agua destilada y enfriar hasta temperatura ambiente.

- Si se uso el mercurio ó sulfato de cobre como catalizador introducir 25 ml. sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) al 4%.
- Poner 50 ml. de ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N en un matraz receptor. Colocar el extremo de la alargadera de tal manera que quede justamente debajo de la superficie del ácido patrón. Iniciar el paso del agua a través de la camisa del refrigerante.
- Agregar al balón Kjeldahl lentamente 80 ml. de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% de manera que se mezcle lo mínimo con la solución del balón; añadir varios trozos de zinc granulado y un pequeño trozo de papel de tornasol.
- Conectar inmediatamente el matraz a la trampa y mezclar suavemente la disolución por suave rotación. Después de la mezcla el papel de tornasol debe indicar solución básica. Si no es así, es que le falto más hidróxido de sodio al 50%.
- Llevar inmediatamente la disolución a ebullición y destilar a velocidad moderada hasta que quede la mitad ó un tercio de la disolución original. Cuidar la velocidad de calefacción durante éste período para evitar que el ácido receptor sea succionado al matraz de destilación.
- Después de que se juzgue completa la destilación, bajar el matraz receptor hasta que el pico de la alargadera quede bien fuera del ácido patrón; entonces separar la llama, desconectar el aparato, y lavar el interior del refrigerante con pequeñas cantidades de agua destilada. Desconectar la alargadera y lavar bien.
- Añadir 2 gotas de bromocresol ó rojo de metilo.
- Valorar con hidróxido de sodio 0.1 N hasta cambio de color. Se determina con la siguiente expresión (Método Kjeldahl):

$$\%N = \frac{(N_1 \times V_1 - N_2 \times V_2)}{Wm} \times 0.014 \times 100$$

Donde:

$N_1$  = Normalidad valorada de ácido clorhídrico (HCl)

$N_2$  = Normalidad valorada de hidróxido de sodio (NaOH)

$V_1$  = ml. de HCl normalizado usado.

$V_2$  = ml. de NaOH normalizado usado.

#### **4.3.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO) (Castro, CEPIS 1993):**

La demanda química de oxígeno (DQO), informa sobre el consumo de oxígeno de un agua para la oxidación de casi todas las sustancias orgánicas solubles en agua, exceptuando una serie de compuestos nitrogenados y de hidrocarburos apenas solubles en agua.

Para determinar la DQO se prefiere el método de reflujo con dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a su mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación.

##### Procedimiento:

Tratamiento de muestras con valores de DQO sobre los 50 mg/L.

- a. Se colocan varias perlas de vidrio dentro del balón de 250 ml.
- b. Se ponen 20 ml. de muestra o una alícuota menor diluída a 20 ml. en un balón de reflujo de 250 ml.
- c. Se adiciona 0.4g. de sulfato de mercurio( $\text{HgSO}_4$ ), y 5ml. del reactivo ácido sulfúrico – sulfato de plata ( $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{AgSO}_4$ ).
- d. Se adiciona el reactivo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  muy lentamente para disolver el  $\text{HgSO}_4$ . Se enfría mientras se produce la mezcla para evitar posibles pérdidas de materiales volátiles presentes en la muestra.
- e. Se adiciona 10 ml. de la solución de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.250 N y se mezcla otra vez.
- f. Se adiciona el ácido remanente 25 ml., se continúa revolviendo la mezcla mientras se adiciona el ácido, enfriar con chorro de agua fría.
- g. Se coloca el condensador. Se asegura de que la mezcla ha sido completa antes de aplicarle calor, porque podría ocurrir un calentamiento localizado en la base del balón con proyección de la mezcla por el condensador.

Alternativamente, se usa volúmenes de muestra entre 10 ml. y 50 ml., y los volúmenes, pesos y normalidades de los reactivos se ajustan convenientemente, según el siguiente cuadro:

**Cuadro 15:** Cantidades de reactivo y normalidades para diferentes cantidades de muestra.

Tamaño de la muestra(ml)	Solución estándar 0.25N de dicromato(ml)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> con Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)	HgSO <sub>4</sub> (g)	Normalidad de Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Volumen final antes de titulación
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

h. Para dar una máxima DQO, la mezcla debe estar en reflujo durante dos horas. Para muestras específicas de aguas residuales pueden emplearse periodos más cortos.

i. Se cubre la parte abierta del condensador con un pequeño vaso para prevenir la contaminación con materiales extraños a la muestra sometida a reflujo, se enfría y lava la base del condensador con agua destilada. Se diluye la mezcla con agua destilada a cerca del doble de su volumen, se enfría a la temperatura del cuarto y se titula el exceso de dicromato con la solución de sulfato amónico ferroso 0.1 N ( Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ), usando dos a tres gotas del indicador ferroína, cantidad que no es crítica pero que debe mantenerse constante. Se toma como punto final el viraje de color verde-gris a rojo-marrón, aún cuando el verde-gris puede reaparecer dentro de algunos minutos.

j. Se somete en la misma manera el blanco de reactivo que consiste de agua destilada, en igual volumen que la muestra, junto con los reactivos usados con la muestra.

Determinación de DQO con soluciones estándar:

a. Evaluar la calidad de los reactivos con una solución estándar de glucosa o biftalato de potasio.

b. Para la glucosa el DQO teórico es de 1.06701 g de O<sub>2</sub>/g, y se prepara disolviendo 425.1 mg de biftalato de potasio en agua destilada y diluyendo a 1 L. para obtener 500 mg/L DQO.

c. El biftalato de potasio tiene un valor teórico de DQO de 1.176 g de O<sub>2</sub>/g, y se prepara disolviendo 468.6 mg de glucosa en agua destilada y diluyendo a 1 L. para obtener 500 mg/L DQO. Para la solución de biftalato de potasio se espera tener una recuperación de 98 a 100%.

La DQO se determina con la siguiente expresión:

$$mg/LDQO = \frac{(B - M) \times f \times N \times 8000}{ml.demuestra}$$

Donde:

DQO = demanda química de oxígeno.

B = ml. de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para titular el blanco.

M = ml. de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para titular la muestra.

N = normalidad de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (0.10 N).

f = factor en el momento de la titulación (estandarización del Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0.1N).

Para 20 ml. de muestra:

$$mg/L DQO = (B - M) \times f \times 40$$

#### 4.3.2.4. Conductividad eléctrica:

La conductividad de una solución depende del número de iones que contiene. A medida que la concentración iónica disminuye, la conductividad eléctrica es menor. Si la conductividad eléctrica es elevada es porque la concentración de sales ha aumentado.

Sirve para evaluar la salinidad de una solución y se fundamenta, en establecer una estimación aproximada cuantitativa de la cantidad de sales solubles que contiene.

Procedimiento: La muestra de vinaza se tomó directamente para ser medido por el cátodo del conductímetro. La conductividad eléctrica se expresa en mmho/cm., y se determina con la siguiente expresión (Richards, 1954)<sup>15</sup>:

$$\text{C.E.} = \text{Lect.} \times f$$

Donde:

C.E.= Conductividad eléctrica del extracto de saturación (mmho/cm.).

Lect = Lectura del conductivímetro.

F = Factor (1.50).

#### 4.3.2.5. pH:

Se tomó directamente la muestra de vinaza para realizar la medida correspondiente, previa calibración del pH metro.

El método de lectura es el potenciométrico, el cual como su nombre lo indica, mide la diferencia de potencial en milivoltios entre un electrodo de referencia, y otro electrodo de vidrio inmerso en la muestra.

#### 4.3.3. Agua:

##### 4.3.3.1. Determinación de cationes solubles ( $K^+$ , $Na^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ ) (Jackson, 1997):

Procedimiento: Se tomó un parte de la muestra , se filtró, y se llevó al Espectrofotómetro de Absorción Atómica a la Llama.

##### Soluciones estándares patrón( solución madre)<sup>20</sup>:

Potasio: 1000 mg/L. Disolver 1.907 gramos de cloruro de potasio (KCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Sodio: 1000 mg/L. Disolver 2.542 gramos de cloruro de sodio (NaCl), en agua desionizada y diluir a 1 litro.

Calcio: 500 mg/L. Para 1.249 gramos de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ), adicionar 50 ml. de agua desionizada. Disolver agregando por gotas 10 ml. de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con agua desionizada.

Magnesio: 1000 mg/L. Cuidadosamente disolver 1.0 gramo de cinta de magnesio en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (HCl). Diluir a 1 litro con 1% en volumen de HCl.

Soluciones estándares patrón utilizadas:

Potasio: 2, 4, 6 ppm.

Sodio: 50, 100, 150 ppm.

Calcio: 100, 150, 200 ppm.

Magnesio: 20, 50, 80 ppm.

**4.3.3.2. pH:**

Se tomó directamente la muestra de agua para realizar la medida correspondiente, previa calibración del pH metro.

El método de lectura es el potenciométrico, el cual como su nombre lo indica, mide la diferencia de potencial en milivoltios entre un electrodo de referencia, y otro electrodo de vidrio inmerso en la muestra.

**4.4. Materiales:**

**4.4.1. Reactivos:**

- Ácido sulfámico.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido fosfórico concentrado.
- Ácido nítrico: 69-71%.
- Ácido clorhídrico 0.1 N.
- Agua desionizada.
- Catalizador de selenio.
- Fluoruro de sodio.
- Granallas de zinc.
- Indicador de anaranjado de metilo 1%.
- Indicador de bromocresol.
- Indicador de difenil etanolamina al 1%.
- Indicador de fenoltaleína 0.25 %.
- Indicador de ferroína.
- Indicador de rojo de metilo.
- Reactivo de ácido sulfúrico – sulfato de plata.
- Solución de acetato de amonio 1N.
- Soluciones estándares patrón de K, Na, Ca, Mg, P.

- Solución de dicromato de potasio 1N.
- Solución de sulfato amónico ferroso 0.1 N.
- Solución de sulfato amónico ferroso 0.4 N.
- Solución de hidróxido de sodio al 50%.
- Sulfato de mercurio en cristales.
- Sulfato de sodio.

#### **4.4.2. Equipos e instrumentos:**

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica a la Llama. Perkin Elmer. Analysis 300.
- Balanza analítica. Ohaus explorer. Max 210 g.
- Conductímetro. Conductivity meter. Type CDM2d N° 94857.  
PH metro. Orion Research. Model 201/digital PH meter.
- Estufas con aire caliente.  
Cocinas de plancha.
- Compresor de aire.
- Equipo de titulación.
- Cocinas digestoras.  
Campana extractora.
- Agitador mecánico.
- Pilón y mortero para muestra de suelo.
- Porta Kjeldahl.
- Espátula.
- Frasco lavador.
- Papel tornasol.
- Papel filtro.
- Matraces Erlenmeyer de 50, 100, 125, 500, 1000 ml.
- Fiolas de 50, 100, 250, 500, 2000 ml.
- Buretas y microburetas.
- Pipetas de 2, 5, 10, 20, 25 ml.
- Vasos para pasta.
- Embudos para pasta.
- Frascos para extracto.  
Tamizador de suelo de 0.5 mm.

- Pinzas.
- Equipo de reflujo: consiste de un balón de 250 ml. con cuello esmerilado 24/40 y condensadores tipo Liebig West o equivalente de chaqueta de 300 mm. con cuello esmerilado 24/40.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Cuadros:

**Cuadro 16:** Análisis físico y químico del suelo al inicio del ensayo.

Característica del suelo	Unidad de medida	Profundidad de muestreo (cm.)		
		0-20	20-40	40-60
Clase de textura	-	Franco limoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso
pH	-	7.683	7.627	7.627
Materia orgánica	%	1.868	1.676	0.914
Potasio intercambiable	mg/Kg - *	28.987 – 2.899	23.320 – 2.332	20.907 – 2.091
Sodio intercambiable	mg/Kg - *	33.507 – 3.351	32.207 - 3.221	32.000 – 3.200
Calcio intercambiable	mg/Kg - *	92.947 – 9.295	92.440 – 9.244	91.160 – 9.116
Magnesio intercambiable	mg/Kg - *	122.800 – 12.280	115.267 – 11.527	107.613 – 10.761
Capacidad intercambio cationico(C.I.C.)	meq/100g	14.113	13.407	12.771
Conductividad eléctrica (extracto)	dS/m	0.982	0.797	0.758

mg/100 g. de suelo.

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Química de Suelos de la Estación Experimental Agrícola (Casa Grande, 2006).

**Cuadro 17:** Composición química de la vinaza utilizada en el ensayo.

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad
Nitrógeno total(N)	Kg/m <sup>3</sup>	0.837
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Kg/m <sup>3</sup>	0.129
Potasio (K <sub>2</sub> O)	Kg/m <sup>3</sup>	10.438
Potasio (K <sup>+</sup> )	Kg/m <sup>3</sup>	8.665
Calcio (CaO)	Kg/m <sup>3</sup>	3.200
Magnesio (MgO)	Kg/m <sup>3</sup>	1.610
DQO	mg/L	90820
Conductividad eléctrica	dS/m.	18.750
pH	-	4.050
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	1010

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Química de Suelos de la Estación Experimental Agrícola (Casa Grande, 2006).

**Cuadro 18:** Composición química del agua de riego.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>		<b>Cantidad</b>	
<b>Calcio (Ca<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	meq/L	182.400	9.102
<b>Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	meq/L	59.700	4.910
<b>Potasio (K<sup>+</sup>)</b>	mg/L	meq/L	4.500	0.115
<b>Sodio (Na<sup>+</sup>)</b>	mg/L	meq/L	100.000	4.348
<b>Carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/L	meq/L	0.000	0.000
<b>Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/L	meq/L	506.400	8.300
<b>Conductividad eléctrica</b>	dS/m		1.440	
<b>RAS<sup>*</sup></b>	-		1.64	
<b>RAS aj<sup>**</sup></b>	-		2.29	
<b>pH</b>	-		6.95	

RAS: Relación de Adsorción de Sodio

\*\*RAS aj. : Relación de Adsorción de Sodio Ajustado.

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

**Cuadro 19:** Contenido promedio de potasio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.

**Cuadro 19a:** Profundidad 0 – 20 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	25.50	41.80	68.50	74.20	98.50	308.50
II	26.80	47.90	61.40	78.50	102.30	316.90
III	31.70	45.20	70.20	70.50	99.30	316.90
<b>TOTAL</b>	84.00	134.90	200.10	223.20	300.10	942.30
<b>PROMEDIO</b>	28.00	44.97	66.70	74.40	100.03	62.82

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	9195.471	4	2298.868	160.865
BLOQUES	9.408	2	4.704	
ERROR	114.325	8	14.291	
<b>TOTAL</b>	9319.204	14		

C.V.(%)            6.018

El análisis estadístico de los promedios, muestra que existen diferencias altamente significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $160.865 > 3.84$ , se concluye que el tipo de tratamiento, afecta significativamente el contenido promedio de potasio intercambiable en el suelo a esta profundidad, por lo tanto los resultados de los tratamientos son diferentes.

**Cuadro 19b:** Profundidad 20 – 40 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					TOTAL
	T1	T2	T3	T4	T5	
I	21.00	28.20	28.30	27.40	29.10	134.00
II	22.40	23.50	27.40	25.30	28.60	127.20
III	24.50	25.30	24.10	26.70	27.20	127.80
<b>TOTAL</b>	67.90	77.00	79.80	79.40	84.90	389.00
<b>PROMEDIO</b>	22.63	25.67	26.60	26.47	28.30	25.93

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	51.873	4	12.968	4.023
BLOQUES	5.669	2	2.835	
ERROR	25.791	8	3.224	
<b>TOTAL</b>	83.333	14		

C.V.(%)            6.924

El análisis estadístico de los promedios, muestra que existe pequeñas diferencias entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Como  $4.023 > 3.84$ , se concluye que existe diferencia en los resultados de los tratamientos, existiendo pequeña variación entre ellos, no existiendo mayor efecto de los tratamientos sobre el suelo a esta profundidad.

Cuadro 19c: Profundidad 40 – 60 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	17.60	18.40	18.10	21.10	20.30	95.50
II	19.60	17.30	20.70	19.10	19.60	96.30
III	21.30	22.10	19.30	19.60	21.20	103.50
<b>TOTAL</b>	58.50	57.80	58.10	59.80	61.10	295.30
<b>PROMEDIO</b>	19.50	19.27	19.37	19.93	20.37	19.69

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	2.511	4	0.628	0.270
BLOQUES	7.765	2	3.883	
ERROR	18.581	8	2.323	
<b>TOTAL</b>	28.857	14		

C.V.(%)            7.741

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $0.270 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia en los resultados de los tratamientos, es decir no hay efecto de los tratamientos sobre el contenido de potasio intercambiable en el suelo a esta profundidad.

**Cuadro 20:** Contenido promedio de sodio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.

**Cuadro 20a:** Profundidad 0 – 20 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	31.50	31.70	32.80	34.50	33.90	164.40
II	31.30	32.20	33.35	32.85	34.60	164.30
III	35.60	34.40	34.90	34.80	34.85	174.55
<b>TOTAL</b>	98.40	98.30	101.05	102.15	103.35	503.25
<b>PROMEDIO</b>	32.80	32.77	33.68	34.05	34.45	33.55

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	6.762	4	1.690	1.906
BLOQUES	13.873	2	6.936	
ERROR	7.095	8	0.887	
<b>TOTAL</b>	27.730	14		

C.V.(%)            2.807

El análisis estadístico de los promedios, muestra ligeras diferencias entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $1.906 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia en los resultados de los tratamientos, es decir los distintos tratamientos aplicados no ejercen mayor efecto sobre el contenido de sodio intercambiable en el suelo a esta profundidad, por lo que los resultados son muy cercanos con ligera variación entre ellos.

**Cuadro 20b:** Profundidad 20 – 40 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	31.20	31.30	33.40	32.95	34.00	162.85
II	30.40	31.50	31.75	32.75	33.00	159.40
III	32.60	33.10	32.95	33.00	32.15	163.80
<b>TOTAL</b>	94.20	95.90	98.10	98.70	99.15	486.05
<b>PROMEDIO</b>	31.40	31.97	32.70	32.90	33.05	32.40

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	5.851	4	1.463	2.132
BLOQUES	2.144	2	1.072	
ERROR	5.487	8	0.686	
<b>TOTAL</b>	13.482	14		

C.V.(%)            2.556

El análisis estadístico de los promedios, no muestra mayores diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Como el estadístico de prueba  $2.132 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia en los resultados de los tratamientos, es decir los distintos tratamientos aplicados no ejercen mayor efecto sobre el contenido de sodio intercambiable en el suelo a esta profundidad, por lo que los resultados son muy cercanos con ligera variación entre tratamientos.

**Cuadro 20c:** Profundidad 40 – 60 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	29.50	28.50	30.25	29.55	30.30	148.10
II	29.20	29.80	30.15	30.55	29.95	149.65
III	31.50	31.10	29.75	30.33	30.10	152.78
<b>TOTAL</b>	90.20	89.40	90.15	90.43	90.35	450.53
<b>PROMEDIO</b>	30.07	29.80	30.05	30.14	30.12	30.04

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	0.225	4	0.056	0.090
BLOQUES	2.273	2	1.137	
ERROR	4.987	8	0.623	
<b>TOTAL</b>	7.485	14		

C.V.(%)            2.629

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Como el estadístico de prueba  $0.090 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia en los resultados de los tratamientos, es decir los distintos tratamientos aplicados no ejercen efecto sobre el contenido de sodio intercambiable en el suelo a esta profundidad.

**Cuadro 21:** Contenido promedio de calcio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.

**Cuadro 21a:** Profundidad 0 – 20 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	92.10	91.90	91.00	92.45	91.75	459.20
II	91.55	92.75	92.60	92.95	93.60	463.45
III	92.50	92.85	93.00	93.10	93.25	464.70
<b>TOTAL</b>	276.15	277.50	276.60	278.50	278.60	1387.35
<b>PROMEDIO</b>	92.05	92.50	92.20	92.83	92.87	92.49

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	1.613	4	0.403	1.552
BLOQUES	3.325	2	1.663	
ERROR	2.078	8	0.260	
<b>TOTAL</b>	7.016	14		

C.V.(%)            0.551

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Como el estadístico de prueba  $1.552 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, por lo tanto son muy cercanos con pequeña variación entre ellos.

**Cuadro 21b:** Profundidad 20 – 40 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	91.80	91.90	90.40	92.30	90.35	456.75
II	91.40	90.35	92.78	90.40	91.85	456.78
III	91.40	91.45	90.25	91.15	91.65	455.90
<b>TOTAL</b>	<b>274.60</b>	<b>273.70</b>	<b>273.43</b>	<b>273.85</b>	<b>273.85</b>	<b>1369.43</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>91.53</b>	<b>91.23</b>	<b>91.14</b>	<b>91.28</b>	<b>91.28</b>	<b>91.30</b>

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	0.252	4	0.063	0.059
BLOQUES	0.100	2	0.050	
ERROR	8.466	8	1.058	
<b>TOTAL</b>	<b>8.818</b>	<b>14</b>		

C.V.(%)            1.127

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $0.059 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, es decir no existe efecto de los tratamientos sobre el contenido de calcio intercambiable a esta profundidad.

Cuadro 21c: Profundidad 40 – 60 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	92.10	89.95	92.15	91.45	88.75	454.40
II	89.10	90.85	89.95	88.45	90.75	449.10
III	90.00	90.10	88.45	90.55	91.10	450.20
<b>TOTAL</b>	271.20	270.90	270.55	270.45	270.60	1353.70
<b>PROMEDIO</b>	90.40	90.30	90.18	90.15	90.20	90.25

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	0.126	4	0.031	0.015
BLOQUES	3.129	2	1.565	
ERROR	16.957	8	2.120	
<b>TOTAL</b>	20.212	14		

C.V.(%) 1.613

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $0.015 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, es decir no existe efecto de los tratamientos sobre el contenido de calcio intercambiable a esta profundidad.

**Cuadro 22:** Contenido promedio de magnesio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.

**Cuadro 22a:** Profundidad 0 – 20 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	121.00	119.90	121.90	122.10	123.20	608.10
II	119.00	120.35	121.78	123.65	123.60	608.38
III	125.20	126.45	125.85	126.60	127.10	631.20
<b>TOTAL</b>	365.20	366.70	369.53	372.35	373.90	1847.68
<b>PROMEDIO</b>	121.73	122.23	123.18	124.12	124.63	123.18

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	17.936	4	4.484	5.208
BLOQUES	70.296	2	35.148	
ERROR	6.888	8	0.861	
<b>TOTAL</b>	95.120	14		

C.V.(%)            0.753

El análisis estadístico de los promedios, muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $5.208 > 3.84$ , se concluye que existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, es decir existe efecto de los tratamientos sobre el contenido de magnesio intercambiable a esta profundidad.

Cuadro 22b: Profundidad 20 – 40 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	122.30	121.30	121.55	120.80	121.32	607.27
II	117.00	118.90	120.70	121.35	120.45	598.40
III	123.40	123.80	124.00	125.55	126.10	622.85
<b>TOTAL</b>	<b>362.70</b>	<b>364.00</b>	<b>366.25</b>	<b>367.70</b>	<b>367.87</b>	<b>1828.52</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>120.90</b>	<b>121.33</b>	<b>122.08</b>	<b>122.57</b>	<b>122.62</b>	<b>121.90</b>

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	6.967	4	1.742	1.158
BLOQUES	61.281	2	30.641	
ERROR	12.028	8	1.504	
<b>TOTAL</b>	<b>80.276</b>	<b>14</b>		

C.V.(%) 1.006

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Puesto que el estadístico de prueba  $1.158 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, estos son muy cercanos presentando ligera variación entre ellos.

Cuadro 22c: Profundidad 40 – 60 cm.

mg/Kg.

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
	T1	T2	T3	T4	T5	TOTAL
I	115.65	115.35	114.65	116.30	116.30	578.25
II	110.00	110.50	110.45	110.25	111.10	552.30
III	118.00	119.30	119.85	120.80	119.90	597.85
<b>TOTAL</b>	<b>343.65</b>	<b>345.15</b>	<b>344.95</b>	<b>347.35</b>	<b>347.30</b>	<b>1728.40</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>114.55</b>	<b>115.05</b>	<b>114.98</b>	<b>115.78</b>	<b>115.77</b>	<b>115.23</b>

Fuente: Elaboración Propia - Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Trujillo (2007).

ANAVA				
FUENTES DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS (S.C.)	GRADOS DE LIBERTAD (G.L.)	MEDIA DE CUADRADOS (M.C.)	F
TRATAMIENTOS	3.449	4	0.862	2.035
BLOQUES	208.824	2	104.412	
ERROR	3.391	8	0.424	
<b>TOTAL</b>	<b>215.664</b>	<b>14</b>		

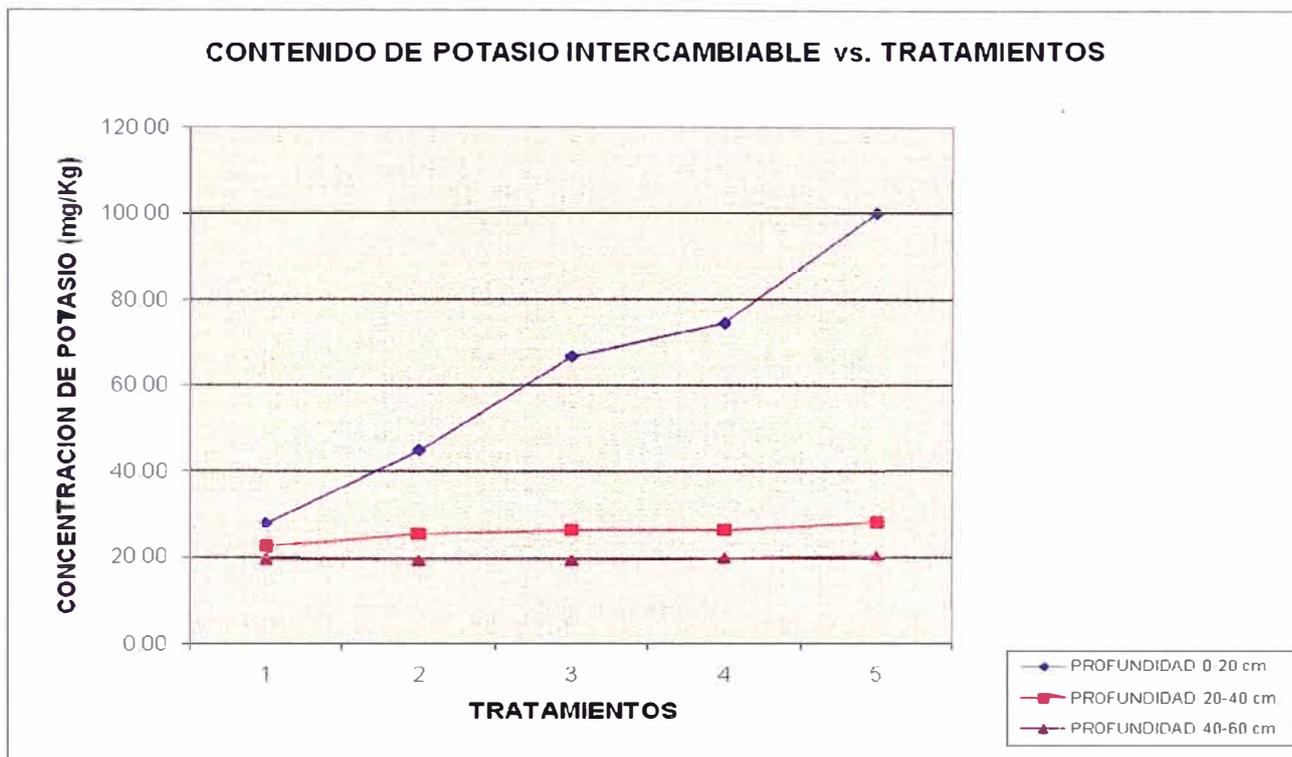
C.V.(%)            0.565

El análisis estadístico de los promedios, no muestra diferencias significativas entre cada tratamiento.

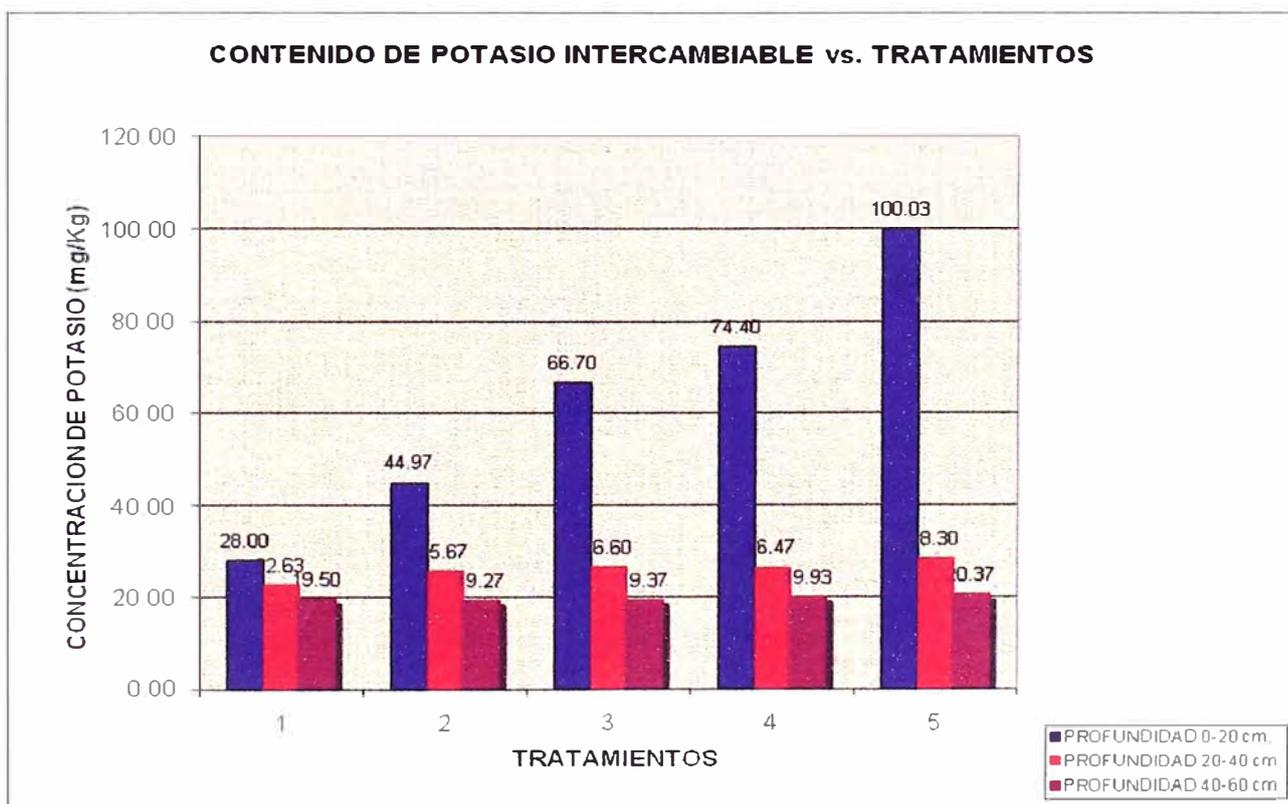
El análisis de varianza muestra, que para una significancia ( $\alpha = 0.05$ ), el valor crítico de F es  $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$ . Se observa que el estadístico de prueba  $2.035 < 3.84$ , se concluye que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos, por lo tanto los distintos tratamientos aplicados al suelo no afectan el contenido de magnesio intercambiable a esta profundidad.

## 5.2 Gráficos

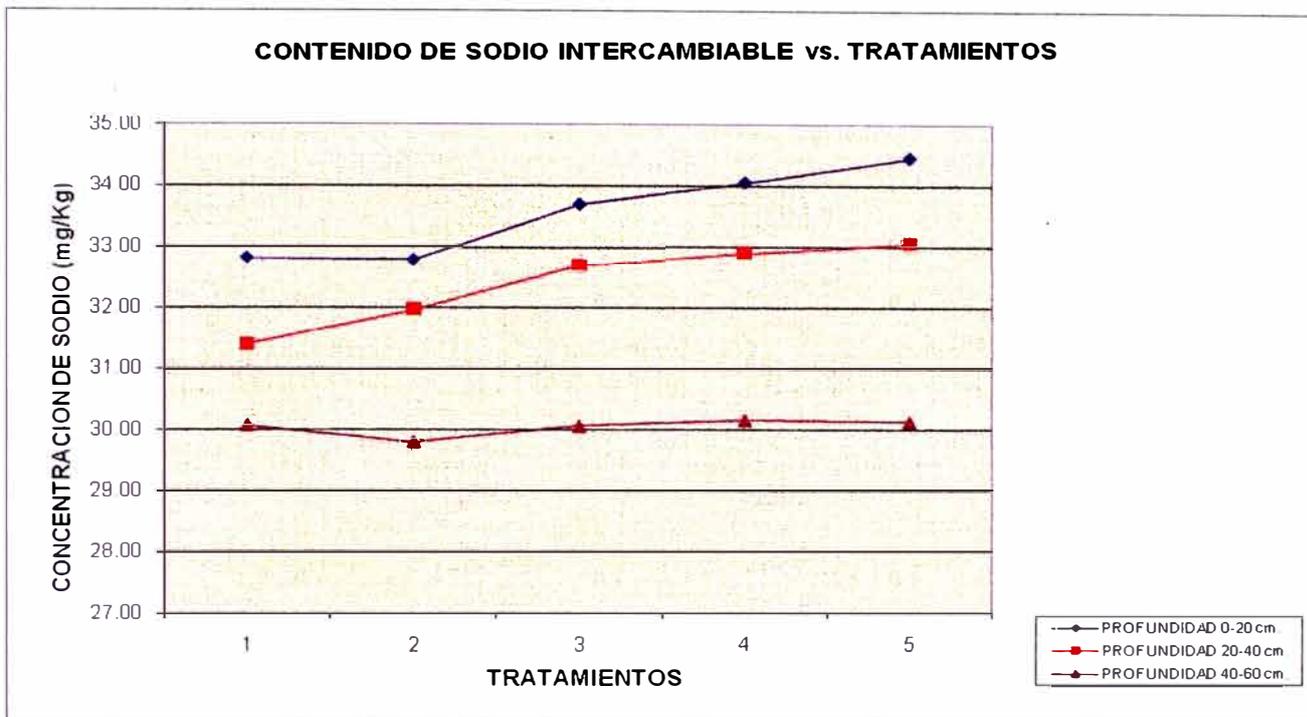
**Gráfico 1:** Contenido promedio de potasio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.



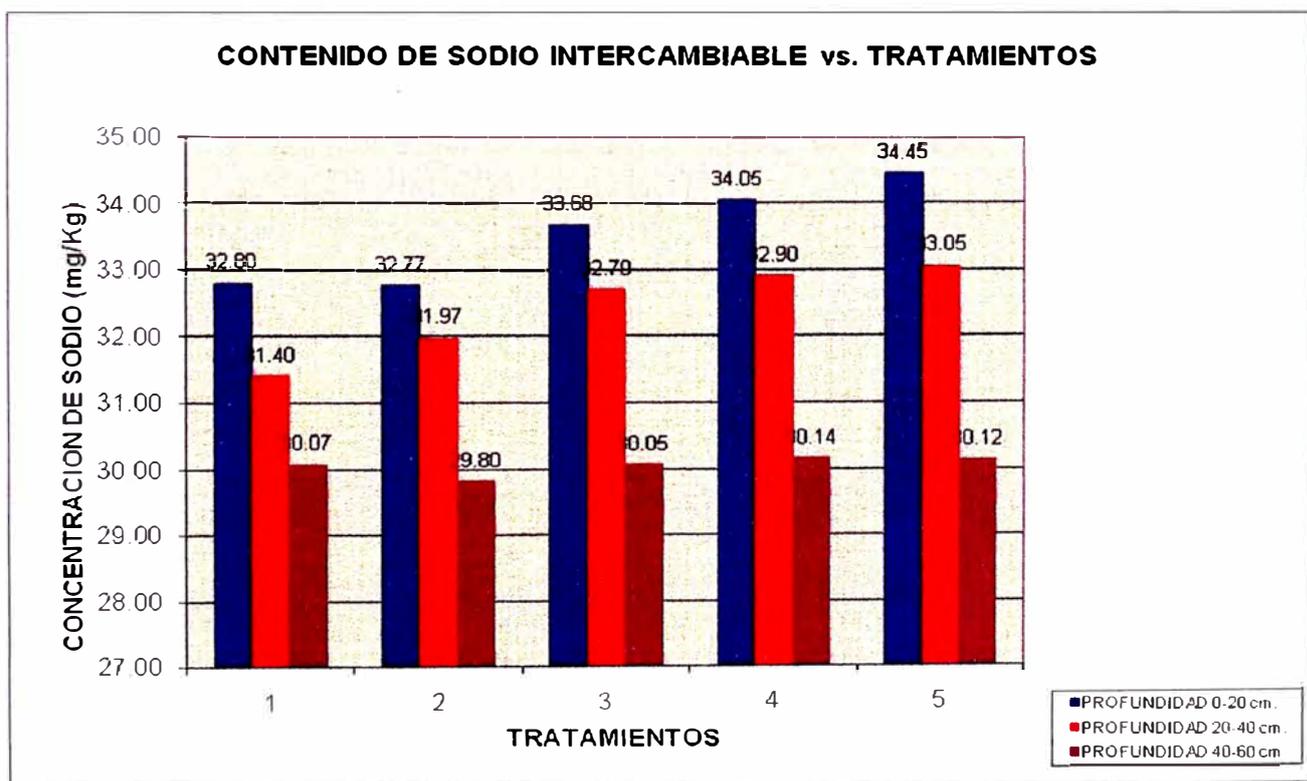
Fuente: Cuadros 19a, 19b, 19c



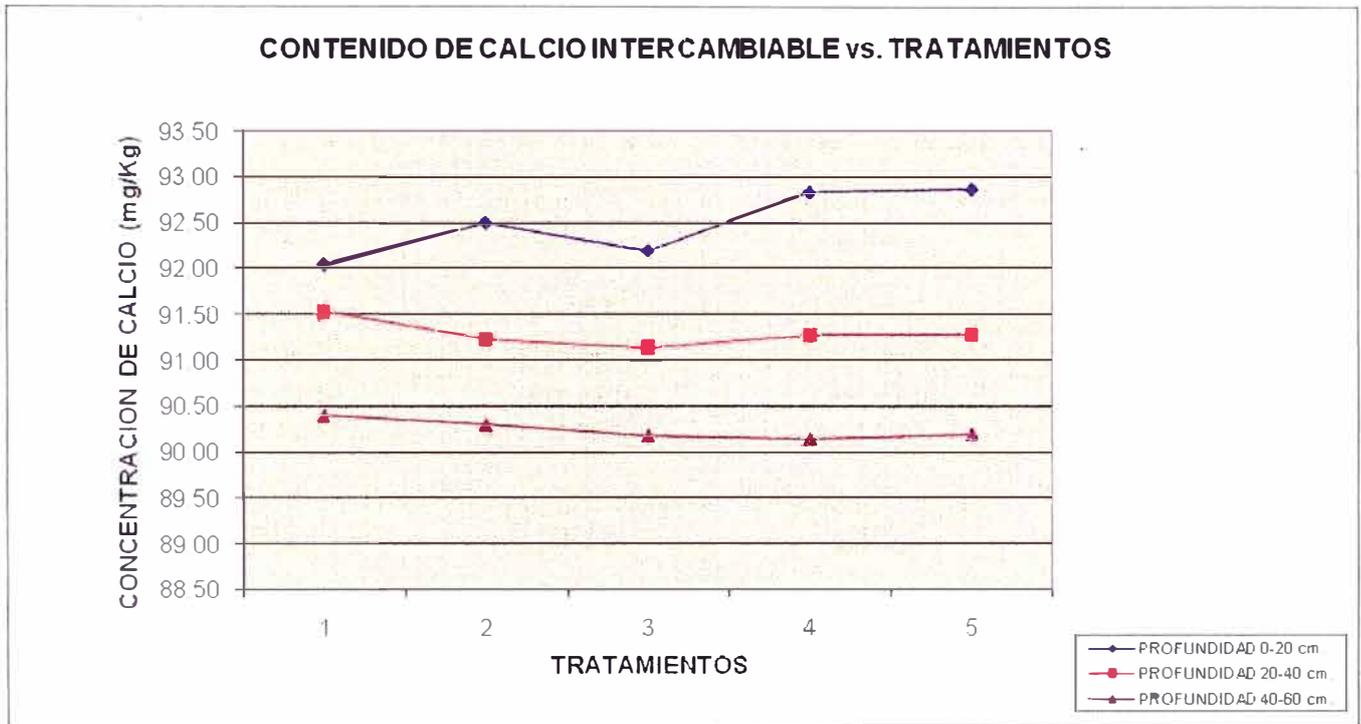
**Gráfico 2:** Contenido promedio de sodio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.



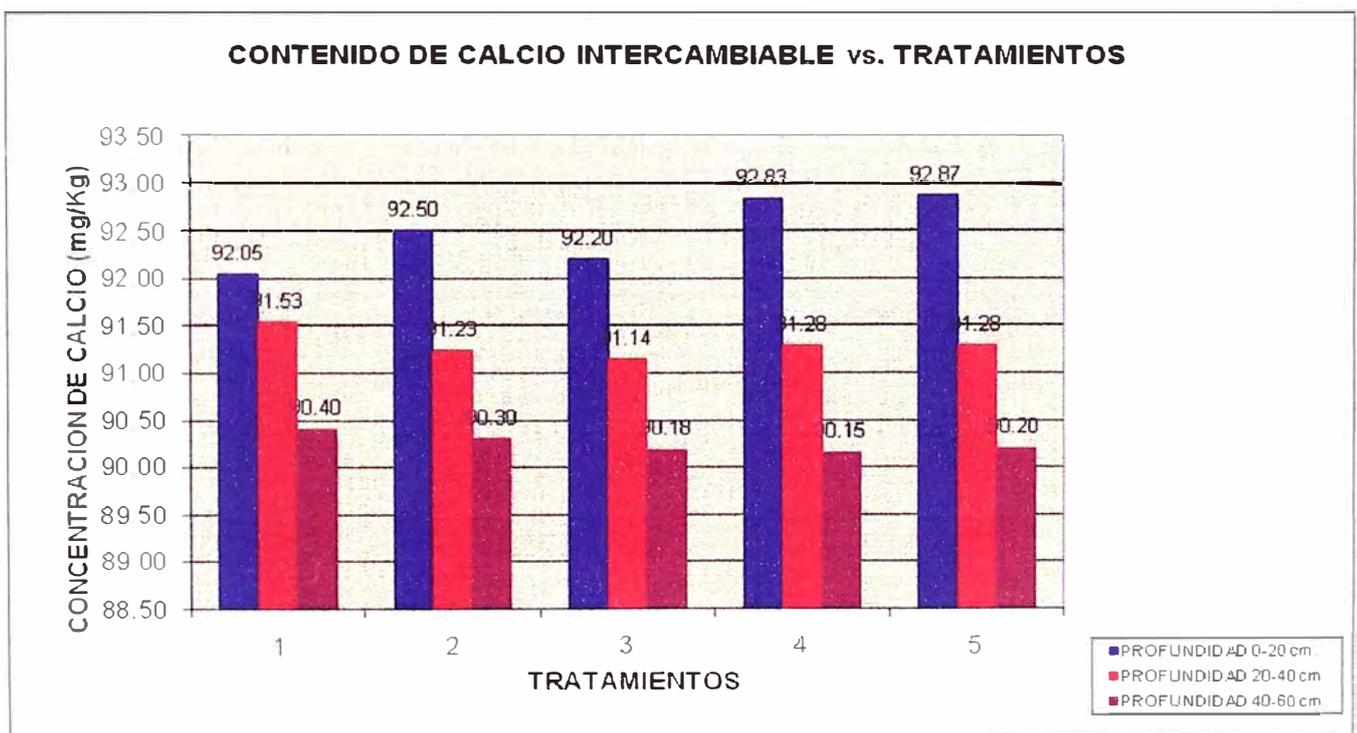
Fuente: Cuadros 20a, 20b, 20c.



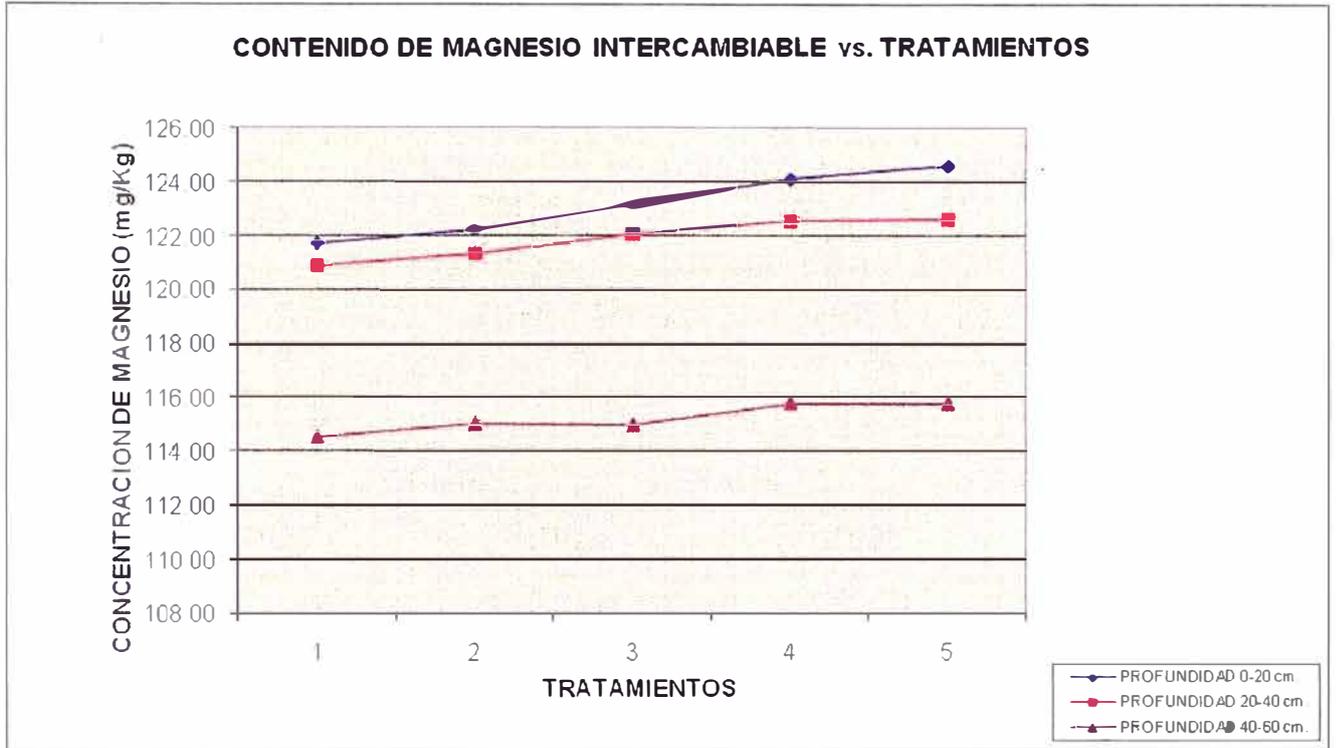
**Gráfico 3:** Contenido promedio de calcio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.



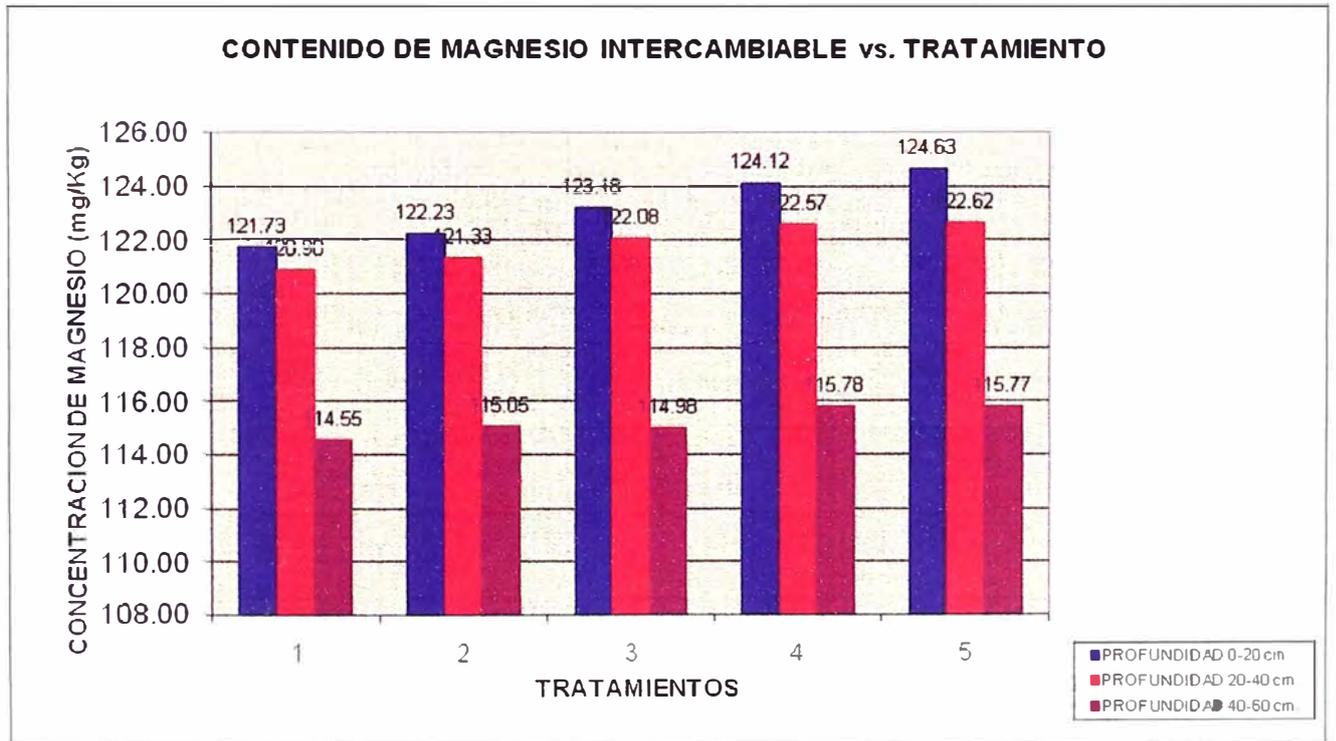
Fuente: Cuadros 21a, 21b, 21c



**Gráfico 4:** Contenido promedio de magnesio intercambiable en el suelo (mg/Kg), a las profundidades de 0-20, 20-40, y 40-60 cm., para los tratamientos aplicados en cada bloque.



Fuente: Cuadros 22a, 22b, 22c.



**5.3. Carga Contaminante de la vinaza equivalente en población:**

Capacidad de producción de destilería = 60000 L. etanol/día.

Producción de vinaza = 13 L. vinaza/L. etanol.

Producción diaria de vinaza = 780000 L. vinaza/día.

DQO vinaza = 90820 mg/L.

DQO diaria en destilería = (780000 L. vinaza/día).(90820 mg. DQO/L. vinaza)

DQO diaria en destilería = 70839.6 Kg. DQO/día

Se estima que 1 persona = 0.12 Kg.DQO/día.

Carga contaminante = (70839.6 Kg. DQO/día)/(0.12 Kg. DQO/día)

**Carga contaminante = 590330 personas.**

## **VI. DISCUSIONES**

**6.1.** En el cuadro 16 , se presentan los resultados del análisis físico y químico del suelo antes de la instalación del ensayo.

a. Profundidad 0 – 20 cm.: El suelo presenta una textura franco limosa, pH ligeramente alcalino (7.68), y contenidos bajos de materia orgánica (1.868%). El contenido de potasio intercambiable (28.987mg/Kg, 2.899 mg/100g), es ligeramente mayor con respecto a las profundidades de 20 – 40 cm. (23.320 mg/Kg, 2.332 mg/100g), y 40 – 60cm. (20.907 mg/Kg, 2.091 mg/100g); lo mismo se observa con el contenido de sodio y magnesio intercambiable, mientras que el contenido de calcio intercambiable no muestra variación significativa a las tres profundidades.

La capacidad de intercambio cationica es moderada (14.114 meq/100g.), y decrece ligeramente a las profundidades de 20 – 40 cm. (13.407 meq/100g.), y 40 – 60 cm. (12.771 meq/100 g.) El suelo presenta de moderada a baja conductividad eléctrica y desciende con la profundidad.

b. Profundidad 20 – 40 cm., 40 – 60 cm: Los suelos presentan textura franco arcillo arenosa, pH ligeramente alcalino (idéntico a la profundidad 0 – 20 cm.), y contenidos bajos en materia orgánica que van en descenso con la profundidad (1.676 %, 0.914 %), respectivamente.

**6.2.** En el cuadro 17, se muestra la composición química de la vinaza utilizada en este ensayo, la cual provino de un mosto compuesto principalmente de melaza. La vinaza empleada presenta valores elevados en contenido de potasio intercambiable (8.665 Kg/m<sup>3</sup>), carga orgánica (DQO = 90820 mg/L.), conductividad eléctrica (18.750 dS/m.), y pH ácido (4.05). La alta conductividad eléctrica de la vinaza y sus aplicaciones sucesivas podrían implicar riesgo de salinidad del suelo, si no se realiza bajo condiciones racionales de manejo. Esto esta también en función del tipo de cultivo y su tolerancia a las sales, así como de las características del suelo. En nuestro caso se determinó que los suelos experimentales presentan conductividad eléctrica moderada a baja (salinidad moderada a baja), siendo apto para aplicaciones controladas de vinaza. La escasa lixiviación del potasio intercambiable, podría provocar un exceso de este elemento en los primeros

20 cm. del suelo, con posible incremento de la salinidad y un desbalance nutricional, si no se hace un control adecuado de los suelos después de realizar las aplicaciones de vinaza. Estudios realizados en Colombia (Quintero, 2006), muestran que un adecuado manejo de la vinazas, puede sustituir parcial o totalmente la fertilización mineral, mejorando las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Ver anexo, cuadro 11).

**6.3.** En el cuadro 18, se muestra la composición química del agua de riego empleada en este ensayo. Los valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS), y Relación de Adsorción de Sodio Ajustado (RAS aj.) son bajos (anexo, cuadro 7 y 8), siendo 1.64 y 2.29, respectivamente, por lo tanto no presenta problemas de sodificación y salinidad (No existe Riesgo de Impermeabilización, ni restricciones de uso para la agricultura). El agua utilizada presenta moderada conductividad eléctrica (1.44 dS/m.) encontrándose en la calidad de buena a tolerable (anexo, cuadro 6), bajo contenido de potasio intercambiable (4.5 mg/L), y pH neutro (6.97).

**6.4.** El cuadro 19 a, gráfico 1; indica que a la profundidad de 0 – 20 cm., al incorporar dosis crecientes de vinaza, se incrementa el contenido de potasio intercambiable en el suelo. En tal sentido se evidencia que a partir de la aplicación de 25 m<sup>3</sup>/ha de vinaza, aumenta el contenido de potasio intercambiable en el suelo hasta alcanzar el valor promedio de 100.03 mg/Kg, cuando se aplicó 100 m<sup>3</sup>/ha de vinaza.

**6.5.** Los cuadros 19 b, 19c, gráfico 1; indican que a las profundidades de 20 – 40 cm. (25.93 mg/Kg, 2.59 mg/100g), y 40 - 60 cm. (19.69 mg/Kg, 1.97 mg/100g), valores promedio para los cinco tratamientos, las aplicaciones de vinaza no lograron incrementar el contenido de potasio intercambiable, en tal sentido, los niveles de suficiencia permanecieron bajos con las sucesivas aplicaciones de vinaza. La insignificante variación del contenido de potasio intercambiable a estas profundidades, se debió posiblemente, a que no hubo una adecuada lixiviación de este elemento a través del suelo. La escasa lixiviación de potasio intercambiable en el suelo, puede ser consecuencia de

la inadecuada aplicación de agua de riego por un tiempo corto, impidiendo de esta manera, que la lámina neta de riego se infiltre a la profundidad deseada, como para permitir que el frente de humedecimiento llegue al menos a los 60 cm. de profundidad.

6.6. Los cuadros 20, 21, 22, y sus gráficas respectivas 2, 3 y 4 muestran las variaciones en contenido de sodio, calcio, y magnesio intercambiable respectivamente. En estos cuadros (20, 21), el contenido de sodio y magnesio intercambiable presentan una leve tendencia creciente a las profundidades de 0 – 20cm., y 20 - 40cm., variando desde 32.80 mg/Kg. (3.28 mg/100g) a 34.45 mg/Kg. ( 3.44 mg/100g) para el sodio, y de 121.73 mg/kg. (12.17 mg/100g) a 124.63 mg/Kg. (12.46 mg/100g) para el magnesio respectivamente para la profundidad de 0 – 20 cm.; mientras que a la profundidad de 20 – 40 cm., las variaciones fueron de 31.40 mg/kg. (3.14 mg/100g) a 33.05 mg/Kg. (3.31 mg/100g) y de 120.90 mg/Kg. (12.09 mg/100g) a 122.62 mg/Kg. (12.26 mg/100g), a medida que se incremento la dosis de aplicación de vinaza, no ocurriendo variación significativa a la profundidad de 40 – 60 cm., con valores promedios de 30.04 mg/Kg. (3.00 mg/100g), y 115.23 mg/Kg. (11.53 mg/100g), para el sodio y magnesio respectivamente. En lo que respecta al contenido de calcio intercambiable, se observó un ligero incremento a la profundidad de 0 – 20 cm., variando de 92.05 mg/Kg. (9.21 mg/100g) a 92.87 mg/Kg. (9.29 mg/100g), en tanto que a las profundidades de 20 – 40 cm. (91.29 mg/Kg., 9.13 mg/100g), 40 – 60 cm. (90.25 mg/Kg., 9.03 mg/100g), los niveles permanecieron invariables con las sucesivas aplicaciones de vinaza. Esto indica que la probabilidad de que exista riesgo de sodificación del suelo con las sucesivas aplicaciones de vinaza es mínima debido a que el incremento en sodio intercambiable es insignificante, y la acidez de la vinaza aplicada al suelo ocasiona la disolución de parte de las sales cálcicas presentes en este, originando que el calcio disuelto, por efecto antagonico, y de fuerza eléctrica ( $Ca^{++} > Mg^{++} > K^+ > Na^+$ ), desplace a parte del Magnesio, y este a su vez al sodio y potasio incrementado sus concentraciones en la solución, haciendo que el sodio sea drenado o lavado progresivamente del suelo, y la mayor parte del potasio pase a ser absorbido inmediatamente por las raíces de las plantas.

## **VII. CONCLUSIONES**

- 7.1.** La vinaza empleada en el ensayo, presenta características altamente contaminantes y corrosivas.
- 7.2.** La dosis más adecuada de vinaza fue de 100 m<sup>3</sup>/ha, encontrándose una concentración de potasio intercambiable de 100.03 mg K<sup>+</sup>/Kg.
- 7.3.** Existe desplazamiento de iones por su distinta fuerza eléctrica y efecto antagónico, mediante reacciones posibles que involucran intercambios: K<sup>+</sup>-Ca<sup>++</sup>-Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>-Ca<sup>++</sup>, y K<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>-Mg<sup>++</sup>.
- 7.4.** A las profundidades de 20 – 40, 40 – 60 cm.; la aplicación de vinaza no logró incrementar el contenido de potasio intercambiable.
- 7.5.** La aplicación de vinaza incrementó en forma significativa el contenido de potasio intercambiable a la profundidad de 0 – 20 cm.
- 7.6.** La vinaza es una alternativa ambiental para su reuso como fertilizante natural a la dosis de 100 m<sup>3</sup>/ha.
- 7.7.** El contenido de sodio intercambiable en los horizontes de 0 -20 cm. y 20 – 40 cm., se incrementó, sin embargo el aumento no fue considerable.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- 8.1.** Con la finalidad de lograr una distribución uniforme de la vinaza, es indispensable que el tiempo de aplicación del agua en el surco sea el suficiente para que se infiltre la lámina neta de riego a todo lo largo del surco.
  
- 8.2.** Es necesario detectar el efecto que pudiera tener la vinaza a mediano, y a largo plazo en las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo, en especial aquellas relacionadas con el movimiento de agua y aire en el suelo, la salinidad, los desbalances nutricionales y con la microflora del suelo, los cuales son importantes en la recuperación y/o mantenimiento de la vida en el suelo, indispensable para una agricultura sostenible. Así mismo considerar o estudiar los aspectos económicos de su aplicación en sus diferentes usos.
  
- 8.3.** Seguir investigando sobre la vinaza, y darle uso agrícola u otros usos, y no verterla directamente a cuerpos de agua o alcantarillado, por los daños ambientales que esta produce.

## **IX. FUENTES DE INFORMACIÓN**

1. American Public Health Association, "Métodos Normalizados para Análisis de Agua Potable y Residuales", Ediciones Díaz de Santos S.A. España, 1992.
2. Bohn, H.L., McNeal, B.L. and O` Connor, G.A. 1979. Soil Chemistry. New York. Wiley Interscience. 329 p.
3. Borrero S.J., García A. O.VII Congreso 2006. Dinámica y Disponibilidad de Potasio en Suelos Alcalinos del Valle del Río Cauca Dedicados a Producción de Caña de Azúcar. Revista Técnicaña. Vol. 1. Pág. 98 – 110.
4. Castro de Esparza María L., " Procedimientos Simplificados de Análisis Químicos de Aguas Residuales", Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima- Perú, 1993.
5. Cobertera Laguna E., "Relación Agua – Suelo – Planta", Ediciones Cátedra S.A, España, 1993.
6. COPERSUCAR. 1986. Efeitos da aplicacao da vinhaca como fertilizante en cana de acucar. Boletín Técnico Copersucar. Vol. 7. Pág. 9-14.
7. Daniel Irisarri. VII Congreso 2006. Usos Industriales y Agrícolas de la Vinaza de Caña de Azúcar. Revista Técnicaña. Vol. 10. Pág 20 - 25.
8. Eppink D., Leo. 1976. La Relación entre la Cifra Arany y el Límite Superior de Plasticidad según Atterberg. No.1. ICIA. Perú.
9. Freeman H. M., "Hazardous Waste Minimization", Mc Graw Hill Edition, 1994.
10. García O. A., Rojas C. C.A. VII Congreso 2006. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Revista Técnicaña. Vol. 10. Pág. 3 - 13.
11. Gloria, N.A.; Orlando, J. 1983. Aplicacao da vinhaca como fertilizante. Boletín Técnico Planalsucar. Piracicaba. Vol. 5. No 1. Pág. 5 – 38.
12. Gomez, J.M. 1996. Efecto de la Aplicación de Vinaza en la Producción y Calidad de la Caña de Azúcar. Vol 14. N° 1. Pág. 15 - 34.
13. Gonzalo Berón Medina. VII Congreso 2006. Usos Alternativos de las Vinazas de Acuerdo con su Composición Química. Revista Técnicaña. Vol. 10. Pág. 15 - 19.

14. Herrada U.J., Besosa T. R. VII Congreso 2006. Uso de la Vinaza como Fertilizante en el Ingenio Providencia. Revista Tecnicaña. Vol. 1. Pág. 124 - 127.
15. Jackson M.L., "Soil Chemical Analysis", Prentice Hall Books, New York, 1997.
16. James C. P. Chen, "Manual de Azúcar de Caña para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados", Editorial Limusa S.A., 2<sup>da</sup> Edición, México, 1999.
17. Lopez Ritas J., Lopez Melida J.;" El Diagnóstico de Suelos y Plantas"; Editorial Mundi-Prensa, 4<sup>ta</sup> Edición, Madrid, 1985.
18. Leslie Hart & Harry Fisher, "Análisis Modernos de los Alimentos", Editorial Acribia, 2<sup>da</sup> Edición, España, 1971.
19. Mancheno Gnecco J. "Usos de la Vinaza: Fertilización y Riego", Colombia, 2003.
20. Manual de Espectroscopía de Absorción Atómica a la Llama, Análisis 300, Perkin Elmer, 2005.
21. Mejía, L. 1978. Mineralogía del Potasio en el Suelo y en el Material Parental. En: Suelos Ecuatoriales. Vol. 9. Pág. 1 – 18.
22. Nunes, M; J. Leal; A. Velloso. 1981. Efeito da vinhaca na lixiviacao da nutrientes do solo Potásico e Magnésico. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Vol. 17. Pág 371 - 374.
23. Quintero Durán R. VII Congreso 2006. Respuestas de la Caña de Azúcar a las Vinazas Aplicadas al Suelo. Revista Tecnicaña. Vol. 1. Pág. 12 - 19.
24. Sans Fonfría R., Pablo Ribas J.; "Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos", Grupo Editor Alfaomega, España, 1999.
25. Segura L. Acción de Nutrientes en Caña de Azúcar en Suelos de la Serie Rodeo. Agronomía Tropical. Vol. 21. No 5. Pág. 449 - 464.
26. Shainberg, I. and Letey, J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia 52: 1 - 57.
27. Sharpley, A.N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. Soil Sci. Vol. 149. Pág. 44 - 52.
28. Sparks, d.L. 1987. Potassium dynamics in soil. Adv. Soil. Sci. 6, 1 – 63.

29. Talibudeen, O. 1981. Cation exchange in soils. In: The chemistry of soil processes. Edited by D.J. Greenland and M.H.B. Hayes, John Wiley and Sons. pp 115 - 117.
30. Water quality for agriculture: Irrigation and drainage. Edited by FAO. Rome - Italy, 1985.

## X. ANEXOS

**Cuadro 1:** Interpretación de la "CIFRA ARANY"

Clasificación Textural	Valor mediano de $K_A$	Límites de $K_A$ correspondientes a los siguientes rangos de frecuencia		
		80%	90%	95%
<b>Arena</b>	30	28 - 36	27 - 41	26 - 44
<b>Arena franco</b>	31	28 - 39	28 - 43	27 - 46
<b>Franco arenoso</b>	36	29 - 42	29 - 45	28 - 47
<b>Franco arcillo arenoso</b>	45	41 - 50	40 - 52	-----
<b>Franco</b>	48	41 - 56	39 - 59	38 - 61
<b>Franco limoso</b>	52	45 - 62	43 - 65	42 - 68
<b>Limo</b>	57	47 - 61	44 - 62	-----
<b>Franco arcilloso</b>	59	52 - 69	50 - 77	48 - 90
<b>Franco arcillo limoso</b>	63	55 - 73	53 - 77	51 - 81
<b>Arcillo limoso</b>	77	69 - 95	-----	-----
<b>Arcilla</b>	86	68 - 125	-----	-----

Fuente: Laboratorio Físico del Departamento de Agrohidrología y Agrometeorología (Estación Experimental). Epink, 1976<sup>8</sup>.

**Cuadro 2:** Miliequivalentes por litro en partes por millón.

<b>Multiplique</b>	<b>Por</b>	<b>Para obtener</b>
<b>Miliequivalentes por litro</b>	<b>Peso equivalente</b>	<b>Partes por millón</b>
Ca	20.04	Ca
Mg	12.16	Mg
Na	23.00	Na
K	39.10	K
Cl	35.46	Cl
SO <sub>4</sub>	48.03	SO <sub>4</sub>
CO <sub>3</sub>	30.00	CO <sub>3</sub>
HCO <sub>3</sub>	61.01	HCO <sub>3</sub>
PO <sub>4</sub>	31.65	PO <sub>4</sub>
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	86.09	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
CaCO <sub>3</sub>	50.04	CaCO <sub>3</sub>
S	16.03	S
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	49.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .18H <sub>2</sub> O	111.07	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .18H <sub>2</sub> O
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	139.01	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O

Fuentes: El Diagnóstico de Suelos y Plantas, España, 1985<sup>17</sup>.

**Cuadro 3:** Niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos.**3.1. Textura:**

<b>Gruesa</b>	Arena, Arena franca, (bajos contenidos de m.o.).
<b>Moderadamente gruesa</b>	Franco arenoso.
<b>Media</b>	Franco, Franco limoso, Limo.
<b>Fina</b>	Franco arcilloso, Franco arcilloso arenoso, Franco arcilloso limoso, Arcilloso arenoso, Arcilloso limoso, Arcilla.
<b>Muy fina</b>	Mayor en 60% de arcilla

### 3.2. Reacción del suelo:

pH < 5.5	Muy ácido (problemas importantes: deficiencia de fósforo)
pH = 5.6 – 6.5	Ácido
pH = 6.6 – 7.8	Neutro
pH = 7.9 – 8.4	Básico
pH = 8.5 – a más	Muy básico (problemas importantes: malas propiedades físicas, deficiencia de micronutrientes).

### 3.3. Salinidad del suelo:

Parámetros	Suelo Salino	Suelo sódico	Suelo salino sódico
pH	Menor 8.5	Mayor 8.5	Mayor 8.5
C.E.(mmhos/cm.)	Mayor 4	Menor 4	Mayor 4
% PSI	Menor 15	Mayor 15	Mayor 15

% PSI : Por ciento de Sodio Intercambiable.

### 3.4. Materia orgánica:

Bajo	Menos de 2 %
Medio	2 – 4 %
Alto	Mayor 4 %

### 3.5. Calcáreo total (%CaCO<sub>3</sub>):

Bajo	Menos de 1 %
Medio	1 – 5 %
Alto	5 – 15 %

### 3.6. Elementos:

Nivel	%N (Kjeldahl)	P(ppm. Olsen)	K <sub>2</sub> O (ppm.)
Bajo	0 – 0.1	0 – 6.9	0 - 300
Medio	0.1 – 0.2	7 – 14.0	300 - 600
Alto	Mayor a 0.2	Mayor a 14	Mayor a 600

### 3.7. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g.)

<b>Bajo</b>	6 – 12; si es menor a 6 es muy bajo
<b>Medio</b>	12 – 20
<b>Alto</b>	Mayor a 20

Fuentes: El Diagnóstico de Suelos y Plantas, España, 1985 <sup>17</sup>.

#### Cuadro 4: Claves de conductividad para determinar salinidad en suelos.

<b>Característica</b>	<b>Conductividad eléctrica (mmhos/cm)</b>
Salinidad baja	0.00 – 0.25
Salinidad moderada	0.25 – 0.75
Salinidad entre media y alta	0.75 – 2.25
Salinidad alta	2.25 – 4.00
Salinidad muy alta	4.00 – 6.00
Salinidad excesiva	Más de 6.00

Fuente: Soil Chemical Analysis, Jackson M.L., 1997 <sup>15</sup>.

#### Cuadro 5: Valores críticos de la disponibilidad de potasio.

<b>Disponibilidad de K (meq/100 g. de suelo): Extracción con acetato de amonio</b>				
<b>Valores altos</b>	<b>Valores medios</b>	<b>Valores bajos</b>	<b>Comentario (Bases)</b>	<b>Fuente</b>
0.8 – 0.4	0.4 – 0.2	0.2 – 0.03	Suelos de Malawi	Young y Brown (1962)
> 0.5	0.5 – 0.25	< 0.25	Prom. Suelos USA	G. W. Thoma
> 0.8	0.8 – 0.5	0.5 – 0.3	New Zelanda	Metson (1961)
> 0.6	0.6 – 0.15	0.15	Suelos de UK	MAFF (1967)

Fuente: Booker Tropical Soil Manual by J.R. Landon, 1991 <sup>15</sup>.

**Cuadro 6:** Guía acerca de la calidad del agua de riego.

<b>Conductividad específica (dS/m)</b>	<b>Porcentaje de sodio</b>	<b>Boro Ppm</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> residual Meq/L.</b>	<b>Calidad del agua de riego</b>
< 0.75	< 65	0.3 – 1	<< 1.25	Excelente a buena
0.75 - 2	50 - 65	0.7 – 2	< 1.25	Buena a tolerable
2 - 3	92	1 – 3	1.25 – 2.5	Dudosa a inadecuada
> 3	> 92	1.2 – 3.8	> 2.5	Inadecuada

Fuente: Soil Chemical Analisis, Jackson M.L., 1997 <sup>15</sup>.

**Cuadro 7:** Riesgo de impermeabilización

<b>Riesgo de impermeabilización</b>	<b>Relación de Adsorción de Sodio Ajustado (RAS aj.)</b>
No existen problemas	< 6
Problemas aumentan	6 - 9
Severas complicaciones	> 9

Fuente: El Diagnóstico de Suelos y Plantas, España, 1985 <sup>17</sup>.

**Cuadro 8:** Guías para la interpretación de la calidad del agua de irrigación.

<b>Problemas Potenciales de Irrigación</b>	<b>Unidades</b>	<b>Grado de Restricción de Uso</b>		
		<b>Ninguno</b>	<b>Ligero a Moderado</b>	<b>Severo</b>
Infiltración (Se evalúa usando la C.E., y RAS.)				
Conductividad eléctrica (C.E)	dS/m			
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	meq/L			
SAR = 0 – 3                      y                      C.E. =		>0.7	0.7 – 0.2	<0.2
= 3 – 6		>1.2	1.2 – 0.3	<0.3
= 6 – 12		>1.9	1.9 – 0.5	<0.5
= 12 – 20		>2.9	2.9 – 1.3	<1.3
= 20 – 40		>5.0	5.0 – 2.9	<2.9

Fuente: Water quality for agriculture. FAO. Rome – Italy, 1985 <sup>30</sup>.

**Cuadro 9: Composición media de vinaza de Usina da Pedra (Zafra 1971/1972)**

Elementos	Unidad	1971	1972
N	Kg/m <sup>3</sup>	1.61	1.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Kg/m <sup>3</sup>	0.58	0.15
K <sub>2</sub> O	Kg/m <sup>3</sup>	7.11	7.87
CaO	Kg/m <sup>3</sup>	5.18	3.64
MgO	Kg/m <sup>3</sup>	1.52	0.98
SO <sub>4</sub>	Kg/m <sup>3</sup>	8.08	6.40
Materia orgánica	Kg/m <sup>3</sup>	76.22	53.91
pH	-	4.83	4.90

Fuente: Usina da Pedra, Sao Paulo, Brasil <sup>6</sup>.

**Cuadro 10: Variación de algunas propiedades químicas de varios suelos de los ingenios Manuelita y Riopaila (Promedios)**

Propiedades	Profundidad 0 – 20 cm.		Profundidad 20 – 40 cm.	
	Con vinaza	Sin vinaza	Con vinaza	Sin vinaza
pH	6.68	6.63	6.86	6.80
M. orgánica - %	3.35	3.19	2.68	2.61
P – ppm.	50.40	28.30	28.60	23.72
Ca – cmol/Kg	16.59	17.35	17.51	16.02
Mg – cmol/Kg	9.23	8.98	9.80	8.46
K – cmol/Kg	0.70	0.40	0.49	0.37
Na – cmol/Kg	0.34	0.21	0.39	0.23
C.E. – dS/m.	0.44	0.39	0.41	0.23
(Ca + Mg)/K	37	66	67	66

Fuente: Conferencia del Dr. Rafael Quintero – Cenicaña <sup>23</sup>.

**Cuadro 11:** Variación de algunas propiedades químicas de varios suelos de Central Tumaco por la aplicación de vinaza durante 18 años

Propiedades	Profundidad 0 – 20 cm.		Profundidad 20 – 40 cm.	
	Con vinaza	Sin vinaza	Con vinaza	Sin vinaza
pH	6.90	6.80	7.10	7.23
M. orgánica - %	1.88	1.53	1.07	0.95
P – ppm.	73.15	85.23	70.72	96.32
Ca – cmol/Kg	24.29	23.39	27.05	27.01
Mg – cmol/Kg	9.20	8.57	11.82	12.12
K – cmol/Kg	1.48	0.66	1.33	0.60
Na – cmol/Kg	0.18	0.17	0.24	0.26
C.E. – dS/m.	0.60	0.60	0.52	0.43
(Ca + Mg)/K	22.63	48.42	29.23	65.22

Relación (Ca + Mg)/K óptima = 16:1 para la mayoría de los cultivos.

Fuente: Conferencia de Dr. Rafael Quinteros – Cenicaña<sup>23</sup>.



Acceso a Campo Nuevo



Campo Nuevo (Suelo Experimental)



Canal de Riego de Campo Nuevo



Demarcación de Parcelas Experimentales



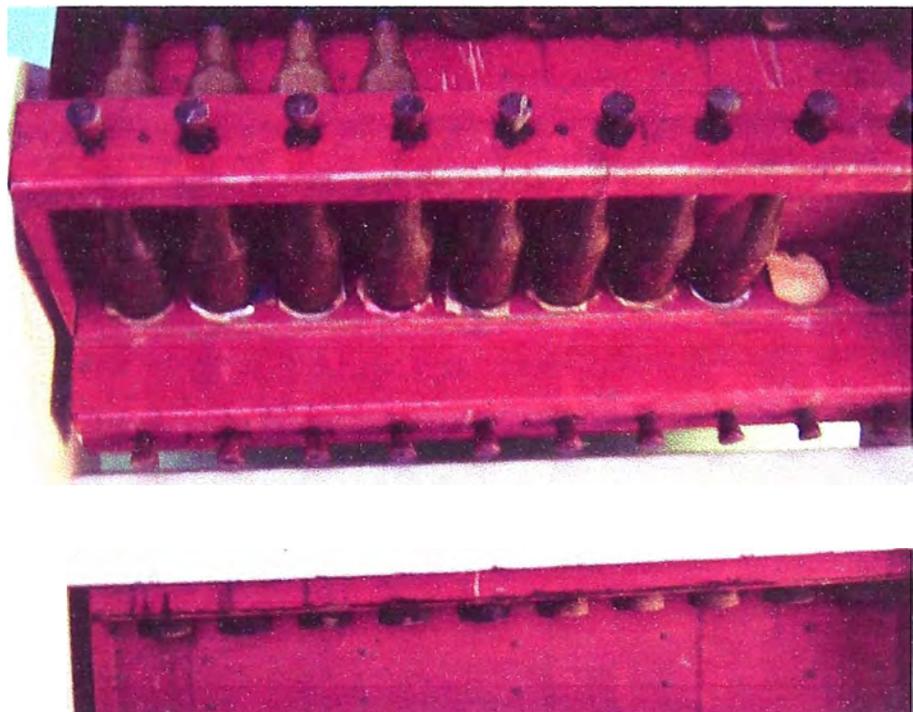
Identificador de Parcela y Tratamiento (P1 – T3)



Identificador de Parcela y Tratamiento (P8 – T5)



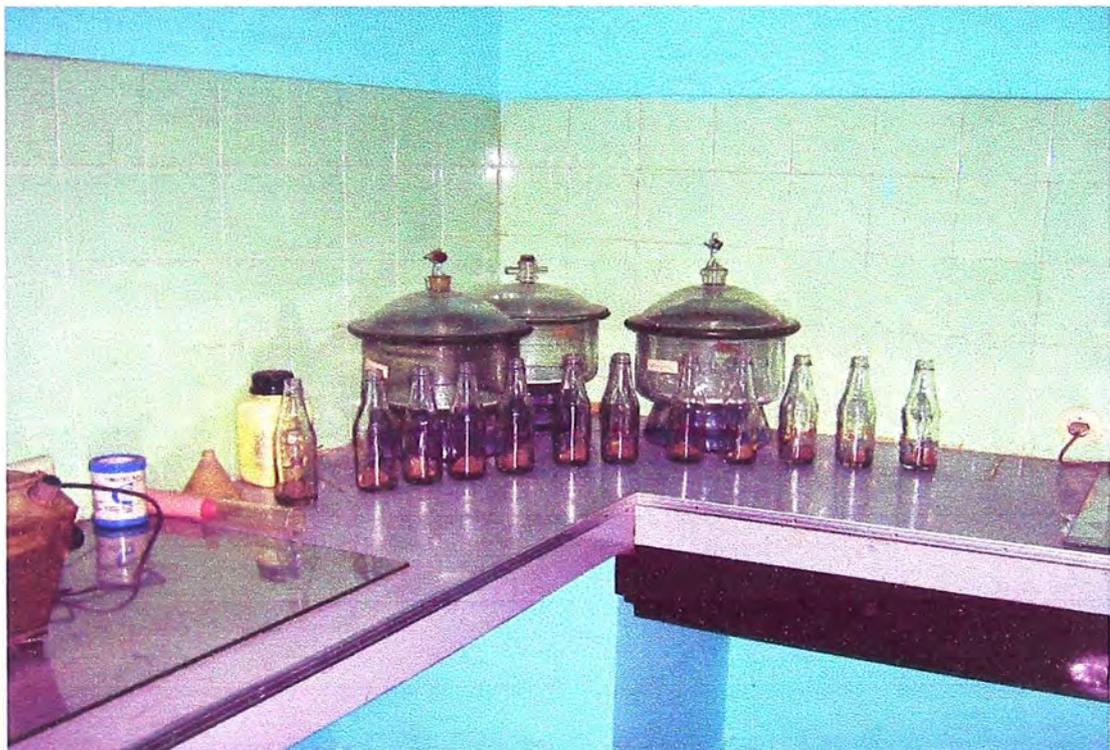
Identificador de Parcela y Tratamiento (P15 – T3)



Agitador de Muestras



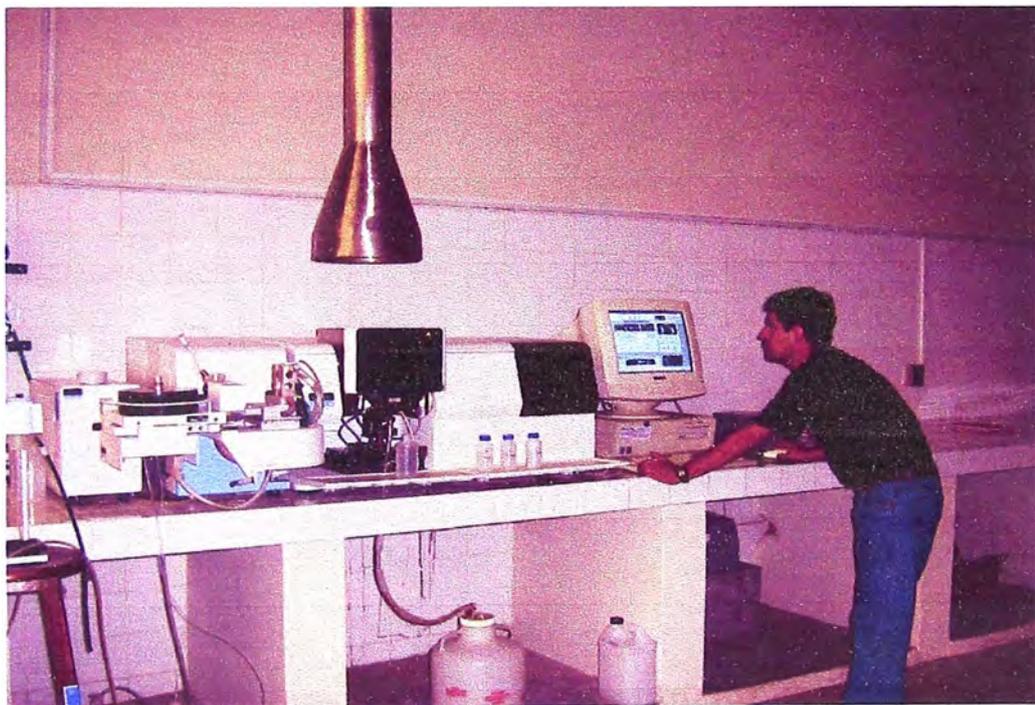
Laboratorio de Suelos (Estación Experimental)



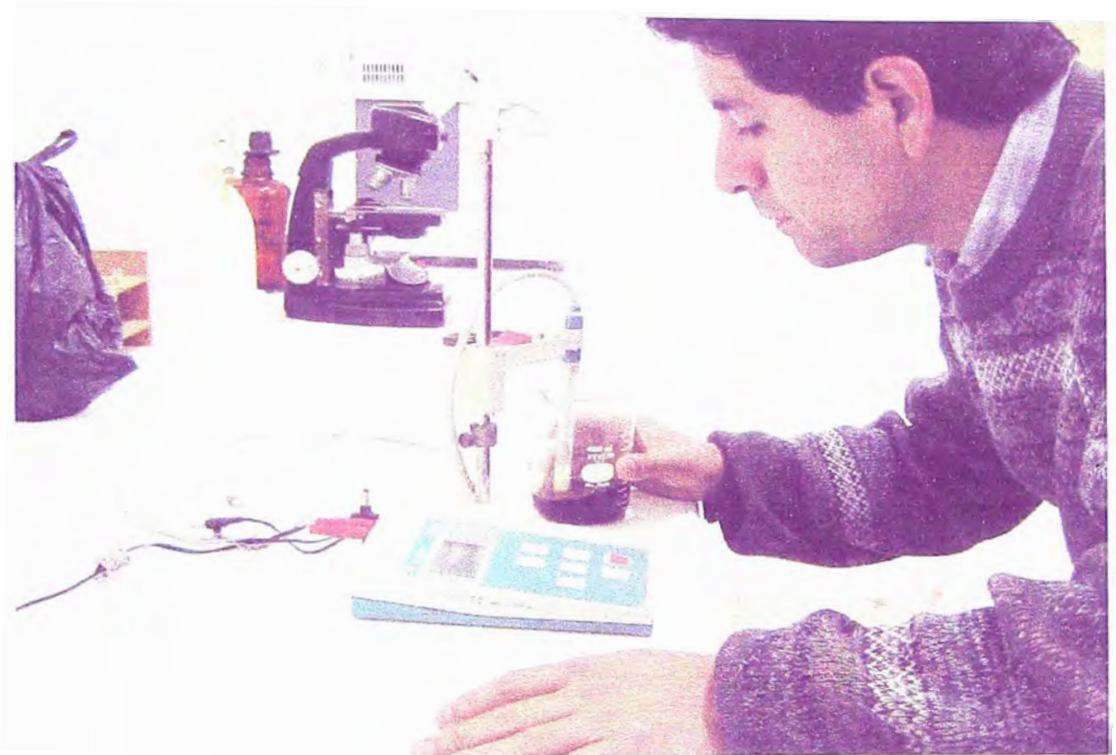
Cuarto de Balanzas (Estación Experimental)



Equipo de Absorción Atómica a la Llama ( Laboratorio UNT)



Analizando Muestras de Suelo (Laboratorio UNT)



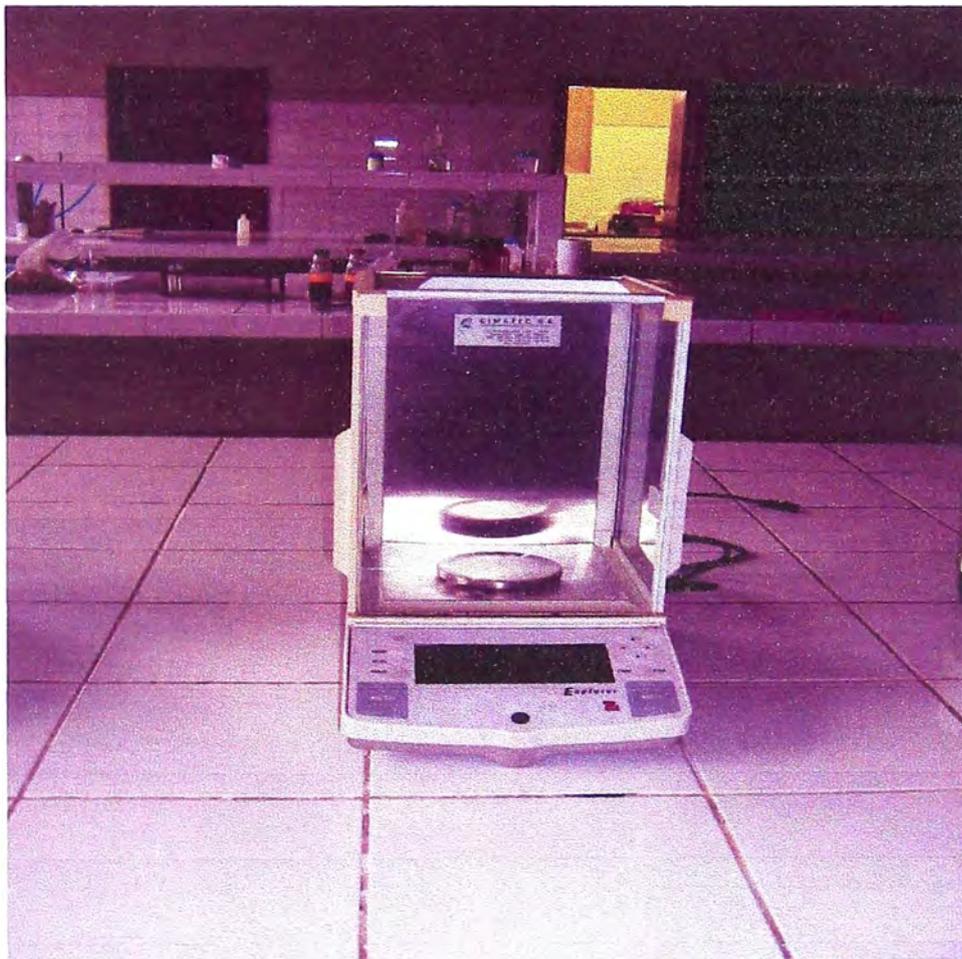
Determinando pH en Vinaza



pH metro (Estación Experimental)



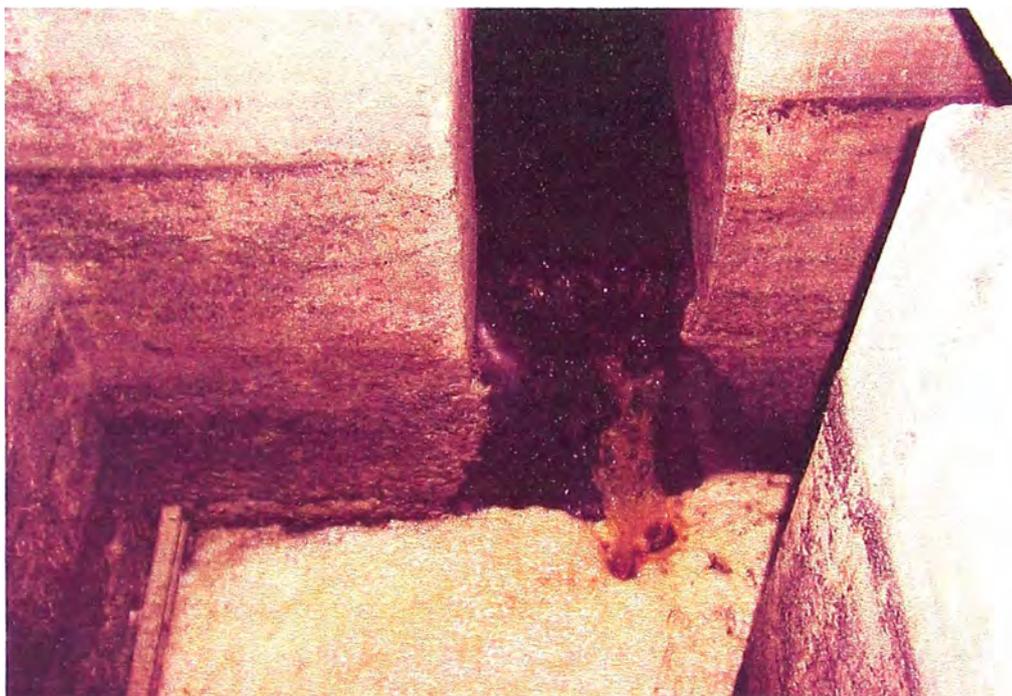
Conductimetro (Estación Experimental)



Balanza Análitica (Laboratorio UNT)



Bomba Vertical para Extraer Vinaza de Canaleta



Descarga de Vinaza a Desague



Bombeo de Vinaza al Tanque Cisterna



Cisterna para Transporte de Vinaza



Cisterna Alimentador de Vinaza al Suelo Experimental



Riego por Mangas



Riego de Parcelas



Surco con Vinaza