

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

**EFFECTO ACUMULATIVO DE LA VINAZA, APLICADA DURANTE
TRES AÑOS, EN EL RENDIMIENTO DE UNA MEZCLA
FORRAJERA Y EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y
BIOLÓGICAS DE UN ANDISOL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

DARWIN EMILIO VACA TAMAYO
evacfly@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FRANKLIN VALVERDE, M.Sc.
franklin.valverde@iniap.gob.ec.

CO-DIRECTORA: ING. SILVIA VALENCIA, Ph.D.
silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2011

© Escuela Politécnica Nacional 2011
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Darwin Emilio Vaca Tamayo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Darwin Emilio Vaca Tamayo

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Darwin Emilio Vaca Tamayo, bajo nuestra supervisión.

Ing. Franklin Valverde, M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Silvia Valencia, Ph.D.
CODIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio técnico, científico del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP y financiero de la empresa LEVAPAN DEL ECUADOR S. A.

AGRADECIMIENTOS

Con el presente trabajo honro a Dios, por todas las virtudes y oportunidades concedidas a mi ser, a su vez ofrezco este trabajo, para bien de su propósito.

Con profundo cariño, agradezco a mi hogar, a mis madres Marthita, Elsitita y en especial a tí Mimita, por todo el amor incondicional entregado. A Sylvia por abrirme las puertas de su hogar.

A mis hermanos Tany, Caty, Edison y David, por tener siempre las manos extendidas, los quiero mucho, gracias Mateito, Lailita y pequeña Salomé, representan la inocencia y transmiten la alegría de la vida y a ti Soleka por tu agradable presencia.

A la empresa Levapan S.A. del Ecuador por el financiamiento otorgado para la realización del presente proyecto.

A mi Universidad, la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, gracias por las enseñanzas compartidas y los buenos momentos en las aulas. Queda impregnado en mí, el nombre de esta noble Institución.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por la confianza depositada, para la realización de la investigación, especialmente al Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA), por su acogida y las enseñanzas ofrecidas.

A mis tutores, Ing. Franklin Valverde, Ing. Silvia Valencia e Ing. Alicia Guevara, por el tiempo, esfuerzo y consejos brindados. A los técnicos de campo, Yamil Cartagena, Rafael Parra y Rusbel Jaramillo, por toda la ayuda prestada.

A la vida, por presentarme a mi respaldo, guía, alegría y sobre todo cómplice y compañera en el camino. Gracias Gaby eres un gran apoyo.

Gracias a todos quienes de alguna u otra manera han colaborado con la realización de esta tesis, mis brazos estarán abiertos en todo momento, lugar o circunstancia, para ustedes.

“Dios les pague”

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, el Economista Manuel Emilio Vaca y a su querida y amada esposa, Edith Tamayo Saltos, mi madre.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	x
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Generalidades de los Andisoles	1
1.1.1 Descripción general	1
1.1.2 Distribución geográfica	2
1.1.3 Principales características de los Andisoles	3
1.1.4 Manejo y uso de los Andisoles	7
1.2 Características de las mezclas forrajeras	10
1.2.1 Gramíneas	12
1.2.2 Leguminosas	16
1.2.3 Fertilización de pasturas	19
1.3 Propiedades de la vinaza	26
1.3.1 Propiedades generales de la vinaza	26
1.3.2 Efecto de la vinaza en las características del suelo	28
1.4 Estudios previos de manejo y aplicación de vinaza en Andisoles	31
1.4.1 Estudios en mezclas forrajeras	31
1.4.2 Estudios en otros cultivos	34
2 METODOLOGÍA	37
2.1 Evaluación del efecto acumulativo de vinaza en una mezcla forrajera	37
2.1.1 Localización política y geográfica	37
2.1.2 Condiciones climáticas	37
2.1.3 Características edáficas	38
2.1.4 Factores en estudio	39
2.1.5 Manejo de la vinaza y fertilización química	40
2.1.6 Variables de evaluación en la mezcla forrajera	42
2.2 Análisis de los cambios químicos, físicos y biológicos del suelo al tercer año	45
2.2.1 Análisis químico de suelos	45
2.2.2 Análisis físico de suelos	45
2.2.3 Análisis biológico de suelos	46
2.3 Análisis combinado de resultados en los tres años	47
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1 Evaluación de variables en la planta	50
3.1.1 Rendimiento de forraje fresco de la mezcla forrajera	50
3.1.2 Composición botánica de la mezcla forrajera	60

3.1.3	Rendimiento de materia seca	61
3.1.4	Eficiencia agronómica	72
3.1.5	Extracción de nutrientes	73
3.2	Evaluación de variables en el suelo	84
3.2.1	Análisis químico de suelos	84
3.2.2	Análisis físico de suelos	94
3.2.3	Análisis biológico de suelos	97
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
4.1	Conclusiones	100
4.2	Recomendaciones	103
	BIBLIOGRAFÍA	104
	ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.	Elementos minerales esenciales y benéficos para las plantas	21
Tabla 2.	Concentración de elementos nutritivos en materiales vegetales, a niveles considerados adecuados	24
Tabla 3.	Valor nutritivo de algunas especies forrajeras de la región interandina	25
Tabla 4.	Composición química de la vinaza	27
Tabla 5.	Compuestos orgánicos de la vinaza	27
Tabla 6.	Rendimiento de materia seca de una mezcla forrajera gramínea leguminosa en dos años de aplicación de vinaza	31
Tabla 7.	Eficiencia agronómica de la vinaza en dos años de aplicación	33
Tabla 8.	Localización del ensayo	37
Tabla 9.	Características climáticas del lugar del ensayo	38
Tabla 10.	Clasificación taxonómica del suelo en estudio	38
Tabla 11.	Características del suelo al inicio del año primero	38
Tabla 12.	Dosis de vinaza aplicadas por año	39
Tabla 13.	Cantidad de nutrientes aplicados según la fertilización	39
Tabla 14.	Cantidad de nutrientes aplicados según la fertilización, en los tres años de investigación	40
Tabla 15.	Fertilización química aplicada en tres años	40
Tabla 16.	Aplicación de vinaza según la fertilización	41
Tabla 17.	Fraccionamiento de nutrientes para la fertilización química	42
Tabla 18.	Esquema del análisis de varianza para los tres años	48
Tabla 19.	Esquema del análisis de varianza para el tercer año	49
Tabla 20.	ADEVA para rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	50
Tabla 21.	Rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	51
Tabla 22.	ADEVA para rendimiento de materia fresca en tres años de aplicación de vinaza, para gramíneas	55
Tabla 23.	Rendimiento de materia fresca de gramíneas en la mezcla forrajera, en los tres años de aplicación de vinaza	56
Tabla 24.	ADEVA para rendimiento de materia fresca para leguminosas, en los tres años de aplicación de vinaza	57
Tabla 25.	Rendimiento de materia fresca de leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza	58

Tabla 26.	ADEVA para rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	62
Tabla 27.	Rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	62
Tabla 28.	ADEVA para rendimiento de materia seca para gramíneas, en tres años de aplicación de vinaza	67
Tabla 29.	Rendimiento de materia seca de gramíneas en la mezcla forrajera, en los tres años de aplicación de vinaza	67
Tabla 30.	ADEVA para rendimiento de materia seca para leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza	70
Tabla 31.	Rendimiento de materia seca de leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza	71
Tabla 32.	Extracción de N de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	74
Tabla 33.	Extracción de P ₂ O ₅ de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	76
Tabla 34.	Extracción de K ₂ O de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	77
Tabla 35.	Extracción de Ca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	78
Tabla 36.	Extracción de Mg de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza	81
Tabla 37.	Extracción de S de la mezcla forrajera en, tres años de aplicación de vinaza	82
Tabla 38.	Análisis químico de suelos para macronutrientes, en tres años de aplicación de vinaza	85
Tabla 39.	ADEVA para contenido de materia orgánica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza	89
Tabla 40.	Porcentaje de materia orgánica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza	89
Tabla 41.	ADEVA para conductividad eléctrica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza	90
Tabla 42.	Conductividad eléctrica del suelo al final del tercer año	90
Tabla 43.	ADEVA para capacidad de intercambio catiónico en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza	91
Tabla 44.	Capacidad de intercambio catiónico del suelo al final del tercer año	92
Tabla 45.	ADEVA para pH del suelo, en tres años de aplicación de vinaza	92
Tabla 46.	pH del suelo en tres años de aplicación de vinaza	93
Tabla 47.	ADEVA para densidad aparente del suelo, en tres años de aplicación de vinaza	95

Tabla 48.	Densidad aparente del suelo en tres años de aplicación de vinaza	95
Tabla 49.	ADEVA para humedad gravimétrica del suelo, en tres años de aplicación de vinaza	96
Tabla 50.	Humedad gravimétrica en tres años de aplicación de vinaza	97
Tabla 51.	Promedios de biomasa microbiana en el estudio del efecto de la vinaza	98

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.	Andisol de la región interandina ecuatoriana	3
Figura 2.	Mezcla forrajera, compuesta por gramíneas y leguminosa	11
Figura 3.	Promedio anual de rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza y prueba de Tukey al 5 %	52
Figura 4.	Rendimientos promedios de materia fresca de la mezcla forrajera, según la fertilización y prueba de Tukey al 5 %, en tres años de aplicación de vinaza	53
Figura 5.	Rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza	54
Figura 6.	Evolución de la composición botánica de las gramíneas, en tres años de aplicación de vinaza	60
Figura 7.	Evolución de la composición botánica de las leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza	61
Figura 8.	Promedio anual de rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza y prueba de Tukey al 5 %	63
Figura 9.	Rendimientos promedios de materia seca de la mezcla forrajera según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza	65
Figura 10.	Rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, según la fertilización y prueba de Tukey al 5 % en tres años de aplicación de vinaza	66
Figura 11.	Rendimiento de materia seca de gramíneas según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza	69
Figura 12.	Incremento en el rendimiento promedio de forraje seco por m ³ de vinaza aplicada, según niveles de vinaza, en tres años de aplicación	73
Figura 13.	pH de suelo para tres años de aplicación de vinaza	93

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I. Mapa de la ubicación del ensayo	115
ANEXO II. Descripción de los métodos usados en los análisis foliares de la mezcla forrajera	116
ANEXO III. Descripción de los métodos usados en el análisis físico químico de suelos	124
ANEXO IV. Distribución del ensayo	134
ANEXO V. Porcentaje de materia seca para gramíneas y leguminosas	135
ANEXO VI. ADEVAs para extracción de nutrientes	136
ANEXO VII. Análisis de suelo	140
ANEXO VIII. Análisis foliar	157
ANEXO IX. Precipitación durante el periodo de evaluación del sitio experimental	161
ANEXO X. Promedios de extracción de micronutrientes	162
ANEXO XI. Análisis químico de la vinaza en el tercer año	163

RESUMEN

La presente investigación corresponde al tercer año de estudio de aplicación de niveles de vinaza sobre una mezcla forrajera más la recopilación de los resultados obtenidos en los años anteriores, en el cual se evaluaron variables en la planta (extracción de nutrientes, rendimiento de forraje fresco y seco) y variables en el suelo (porcentaje de materia orgánica (MO), biomasa, pH, humedad gravimétrica, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), contenido de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y boro (B).

El mayor rendimiento promedio de materia fresca, en los 3 años de estudio, se obtuvo en el año 1 (139,45 t/ha), seguido del año 2 (73,97 t/ha) y el año 3 (63,66 t/ha). Estas diferencias se basaron en la composición de la mezcla forrajera, la cual estuvo compuesta primordialmente por rye grass anual, cuyos rendimientos de materia fresca son altos en los primeros años de establecimiento de la pradera, para luego desaparecer y dar paso al crecimiento de las especies perennes como el pasto azul y rye grass perenne. La fertilización con vinaza generó una respuesta positiva en el rendimiento de forraje fresco, al superar a la fertilización F1 (sin fertilización) en todos los años; sin embargo, la vinaza no superó el rendimiento promedio de materia fresca para los 3 años obtenidos con la fertilización química, por lo que se pudo detectar que la complementación con fertilizante químico es necesaria para alcanzar una mayor producción.

Para el rendimiento de materia seca, la respuesta de la mezcla forrajera a la aplicación de vinaza fue similar al rendimiento de materia fresca. El mayor promedio se alcanzó en el año 1 (23,75 t/ha), seguido del año 3 (12,77 t/ha) y el año 2 (11,99 t/ha). En este caso, el año 3 se destacó antes que el 2, por la alta participación de gramíneas en la mezcla, puesto que el análisis del contenido de materia seca reveló mayor porcentaje para las gramíneas que para las leguminosas. Con respecto a la composición botánica en la mezcla forrajera, se observó una mejor respuesta por parte de las gramíneas a la fertilización con vinaza en comparación con las leguminosas. Esto se debió a características

propias de las especies y a la favorable respuesta a fertilizaciones ricas en nitrógeno que poseen las gramíneas.

La extracción de nutrientes por las pasturas, se relacionó directamente con el contenido de nutrientes en el suelo, el análisis de suelo reportó incrementos en el contenido de N, P y S para los 2 primeros años; sin embargo, para el año 3, existió una reducción de estos elementos en el suelo, pues las especies fueron más exigentes y extrajeron estos nutrientes del suelo nativo, a más de los nutrientes aportados por parte de la fertilización con vinaza. El contenido de K en el suelo mostró incrementos en los 3 años de estudio, las plantas se beneficiaron de este elemento y además, se generaron excesos en el suelo. No obstante, esta acumulación con las dosis altas de vinaza provocó un desbalance en la extracción de Mg y Ca, en el segundo y tercer año de aplicación de vinaza, debido a que se crea un efecto antagónico y se disminuye el poder de absorción de Mg y Ca.

Con respecto al contenido de MO, no existió una respuesta por el efecto de la aplicación de dosis crecientes de vinaza. La conductividad eléctrica incrementó, al igual que la capacidad de intercambio catiónico, a medida que se elevaron las dosis de vinaza en cada año, por las cargas catiónicas, sales y bases intercambiables aportadas por la vinaza. El análisis de suelo final reportó no salinidad, lo que indicó que no existe toxicidad en el suelo por la acumulación de sales, debido a la aplicación de vinaza. La densidad aparente del suelo se mantuvo con valores similares en los 3 años y no se vio afectada por la vinaza. El pH del suelo se incrementó ligeramente en los 3 años.

INTRODUCCIÓN

Según el Servicio de Información y Censo Agropecuario (SICA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2002, el área de pasturas en Ecuador (nativas y naturalizadas), ha sido estimada en 5 510 000 ha, de estas 1 865 460 ha corresponden a páramos y 883 400 ha son pasturas naturalizadas.

La producción de pastos y agricultura en general, se ve amenazada por una degradación acelerada de los recursos agrícolas, especialmente de los suelos. El deterioro del potencial productivo de los suelos agrícolas se ha incrementado en las últimas décadas debido, entre otros factores, al uso indiscriminado de tecnologías de producción agropecuaria de poca sostenibilidad, al laboreo intenso de suelos, al uso de maquinaria inadecuada y al monocultivo extensivo (Nieto *et al.*, 2004).

La promoción de una agricultura dependiente de productos comercializables, como fertilizantes químicos y plaguicidas, que hoy en día representan la mitad del costo total de la producción y la falta de técnicas adecuadas de fertilización, han contribuido a un sobre uso de químicos tóxicos que dañan los ecosistemas y provocan nuevos brotes de plagas y enfermedades, suelos con una vida biótica cada vez menor y aguas contaminadas (Jacobsen y Sherwood, 2002).

Estudios realizados por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Centro Internacional de la Papa (CIP), indican que el resultado de la dependencia de insumos sintéticos en la agricultura, puede causar problemas en la salud humana de productores y consumidores, así como también el deterioro del sistema ecológico, al verse afectados los mecanismos naturales de manejo de plagas y fertilidad de suelos (Crissman y Espinosa, 2002).

Levapan del Ecuador desecha diariamente 35 000 L de residuos alcohólicos del proceso de fermentación biológica, para producir levadura. Estos residuos alcohólicos se conocen como vinaza y constituyen una alternativa para uso como fertilizante líquido por su alto contenido de materia orgánica y nutrientes. Sarria y Preston, 1992, mencionan que un m³ de vinaza diluida contiene sales minerales equivalentes a 2,6 kg de urea (46 % N); 0,3 kg de superfosfato triple (46 % P₂O₅)

y 15,7 kg de KCl (60 % K_2O), lo que representa una importante fuente de fertilización mineral. Entre los compuestos orgánicos más importantes que forman parte de la vinaza, están los alcoholes, ácidos orgánicos y aldehídos. Además, la vinaza incrementa la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de retención de humedad del suelo (Machado, 2007). Sin embargo, la vinaza constituye un material altamente contaminante si se deposita directamente en un cuerpo de agua, debido a su alto contenido de materia orgánica, lo cual hace necesario su tratamiento antes de ser eliminado (Cordovés, 2009).

El Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP investigó la respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de diferentes dosis de vinaza en un suelo Molisol y concluyó que la vinaza mejoró las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Taday, 2009).

Trabajos realizados por este mismo Departamento, en la Unidad de Producción de Leche, de la Estación Santa Catalina en el 2008, muestran que la aplicación de diferentes dosis de vinaza en una mezcla forrajera, incrementó en un 68 % el rendimiento de forraje fresco en comparación con el testigo absoluto. El mayor rendimiento obtenido fue con la dosis de 100 m³/ha/año de vinaza. Esta dosis cubrió los requerimientos de macro y micronutrientes que el cultivo necesita para su desarrollo (Jaramillo, 2010).

En el segundo año de aplicación de vinaza, sobre la mezcla forrajera, mencionada anteriormente, los rendimientos de forraje fresco obtenidos en los tratamientos con vinaza, superaron en un 58,7 % al testigo absoluto, el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 75 m³/ha/año, así como también se manifestó una mejora en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, por efecto de las dosis de vinaza. En general, se mantuvieron las tendencias registradas en el primer año de estudio (INIAP, 2010).

El tercer año de estudio pretende evaluar el efecto acumulativo de la aplicación de dosis de vinaza y corroborar los resultados obtenidos en los periodos preliminares mediante un análisis comparativo de los 3 años.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agua freática-somera: es agua subterránea infiltrada a través de las capas superficiales porosas del suelo, que se depositan sobre una capa impermeable poco profunda del suelo.

Capacidad de sostenimiento: es el número de individuos de una especie dada que pueden ser sostenidos en un determinado ecosistema, sin degradarlo a largo plazo. Por ejemplo, el número máximo de unidades bovinas que pueden permanecer en una pradera, durante el periodo más crítico del año, en términos de disponibilidad de forraje.

Ensilado: es un proceso de conservación de forraje, basado en una fermentación láctica del pasto, que produce una disminución del pH por debajo de 5. Es una técnica que permite retener las propiedades nutritivas del pasto, pero precisa mayores inversiones que la henificación y conocimientos para obtener un producto de calidad.

Henificación: es el proceso mediante el cual el forraje verde es convertido en forraje seco, para su conservación durante largo tiempo y es ofrecido al ganado en momentos de escasez.

Intemperismo: es el proceso de alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad y al efecto de la materia orgánica. Interactúan procesos mecánicos o de desintegración y químicos o de descomposición.

Meteorización ácida: es un proceso que consiste en la descomposición o rotura de las rocas por acción de ácidos y reacciones químicas. La descomposición se debe a la eliminación de los agentes que cementan la roca, e incluso afectan a los enlaces químicos del mineral. Es posible que en el proceso y debido a las reacciones químicas, se formen materiales nuevos.

Palatabilidad: es una característica sensorial de un determinado alimento, que lo hace grato al paladar del consumidor. Para el caso de pasturas, es la aceptación que presenta el ganado a determinada mezcla forrajera.

Podsolización: es un proceso de lixiviación por el cual se acumulan elementos ferruginosos, silicatos y alumínicos en el horizonte B de los suelos. La importancia de la podsolización depende de la cantidad de humus y la presencia de agua en el suelo.

Propiedades ándicas: son un conjunto de características que reúnen los suelos formados a partir de materiales volcánicos, como los Andisoles. Generalmente son suelos negros por el alto contenido de materia orgánica, presentan una baja densidad aparente, alta carga variable, alta capacidad de retención de fosfatos y humedad.

Rhizobium: Bacteria capaz de vivir simbióticamente con plantas, generalmente leguminosas. La bacteria usa nitrógeno atmosférico y los transforma a formas que puedan ser utilizadas por las plantas y a cambio recibe la energía para su metabolismo de la planta hospedera.

Siega: es una actividad agrícola que consiste en cortar y recolectar las pasturas o cereales maduros.

Unidad Bovina Adulta (UBA): es el equivalente a una cabeza de ganado con un peso de 450 kg.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Determinar el efecto acumulativo de la aplicación de vinaza, durante 3 años, en el rendimiento de una mezcla forrajera y en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo correspondiente al orden Andisol.

Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto acumulativo al tercer año de aplicación de dosis de vinaza, sobre el rendimiento y calidad de una mezcla forrajera (gramíneo-leguminosa).
- Determinar los cambios físicos, químicos y biológicos producidos en el suelo al tercer año de aplicación de vinaza.
- Realizar el análisis combinado de los resultados obtenidos en los 3 años de investigación.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 GENERALIDADES DE LOS ANDISOLES

1.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Los Andisoles constituyen un orden de suelos, desarrollados a partir de materiales provenientes de erupciones volcánicas; no obstante, también pueden desarrollarse en otros sustratos, ricos en silicatos, bajo meteorización ácida, en climas húmedos (IUSS, 2007).

Pueden formarse a partir de depósitos de origen aéreo o por depósitos de arrastre, los primeros se derivan de la acumulación de los sólidos arrojados en las erupciones volcánicas que son transportados por el aire. Los segundos, se derivan de los materiales transportados pendiente abajo desde las elevaciones (Mejía, 1997).

Son suelos que a través del intemperismo y la transformación de aluminio silicatos primarios (por ejemplo vidrio volcánico) han llegado al punto de formar materiales, tales como alófana, imogolita, ferrihidrita o complejos humus-aluminio, con predominio del coloide mineral alófano (USDA, 2006).

Los Andisoles son suelos que sufren un rejuvenecimiento frecuente (en cada erupción volcánica). Presentan muchas veces horizontes enterrados que corresponden a anteriores capas superficiales, ricas en materia orgánica (MO) (González *et al.*, 1986). En estos suelos, los depósitos de las erupciones más tempranas sufren intemperización, las plantas crecen en estas nuevas capas y la MO se acumula en la superficie del suelo, al ocurrir una nueva erupción, los materiales piroclásticos nuevos cubren la superficie y la capa de acumulación de MO es sepultada lo que da origen a la presencia de horizontes enterrados ricos en MO (Ishizuka y Black, 1980).

Normalmente, presentan un alto contenido de carbono orgánico, con excepción de los suelos provenientes de cenizas muy recientes (González *et al.*, 1986).

Según Ishizuka y Black, 1980, la causa principal de la acumulación de la MO en los Andisoles, se debe a la gran estabilidad de los combinados entre la MO y la alófana. Según González *et al.*, 1986, son suelos profundos, de color negro intenso en zonas frías, en cambio en zonas cálidas y templadas aparecen de un color amarillento.

Son suelos con buena estructura, por lo tanto con buen drenaje y con buena retención de humedad. Si están cercanos a los volcanes su textura es gruesa y si se encuentran alejados de ellos su textura es más fina como la franco limosa (Méndez y Monge, 2007). Según USDA, 2006, entre los criterios para la identificación de Andisoles aplicados para una fracción de tierra fina, se puede mencionar en términos generales los siguientes:

- Una densidad aparente de $0,9 \text{ g/cm}^3$ o menos.
- Retención de fosfatos mayor o igual al 85 %.
- Contenido de carbono orgánico menor al 25 %.

1.1.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Los Andisoles se desarrollan bajo una amplia gama de condiciones climáticas. Se los encuentra desde regiones de climas fríos subalpinos, hasta aquellas tropicales húmedas ecuatoriales (Ishizuka y Black, 1980).

En Ecuador, los Andisoles se extienden sobre las regiones altas y vertientes internas andinas. Ocupan las estribaciones externas occidentales y orientales de la cordillera de los Andes y su pie de monte en la parte norte y central (hasta la provincia del Azuay). Se localizan también sobre la parte nororiental de la región costera (sector occidental de las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi) y en las llanuras aluviales del noroccidente amazónico (Mejía, 1997).

En la Figura 1 se muestra un Andisol de la región interandina ecuatoriana.



Figura 1. Andisol de la región interandina ecuatoriana
(Espinosa, 2008)

1.1.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS ANDISOLES

El conocimiento de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas, de manera conjunta, permite comprender las características de los Andisoles, para llegar a conclusiones de aplicación práctica (Luna, 1982).

Los materiales constitutivos de estos suelos (ceniza volcánica, piedra pómez, carbonillas y lava) otorgan a los Andisoles características únicas y distintivas, llamadas *propiedades ándicas*, las cuales se asocian a la naturaleza de la fracción arcillosa amorfa y a los complejos organominerales de aluminio (Al) y hierro (Fe). Estos materiales presentan alta superficie específica y abundantes sitios reactivos para la retención de fosfatos (Alcalá *et al.*, 2009).

1.1.3.1 Características morfológicas

Los Andisoles poseen un horizonte A con una profundidad que va de los de los 20 a 50 cm, sin embargo, en ocasiones puede ser menor a 20 cm y en otras puede llegar a los 100 cm (Mizota y Reeuwijk, 1989). En suelos más jóvenes el horizonte B frecuentemente se encuentra ausente (Ishizuka y Black, 1980).

Generalmente los colores oscuros en los Andisoles dominan todo el perfil, aunque hay una clara diferencia en el color de la capa superficial del suelo y el subsuelo. En climas más fríos, donde la acumulación de MO es menos prominente, el promedio de contenido de MO es alrededor del 8 %, pero puede variar a un 30 %, en perfiles más oscuros (Mizota y Reewijk, 1989).

Son suelos que presentan texturas medias (francas, franco arenosas finas o arenosas francas), en las zonas húmedas a veces dan la sensación de un falso limo. En las zonas secas su textura tiende a gruesa. En algunos casos, dentro del perfil se puede encontrar capas de diverso espesor de material pumicítico no alterado (gravilla de pómez). Tienen gran capacidad de absorción, son friables y no muy pegajosos (Mejía, 1997).

1.1.3.2 Características mineralógicas

La composición mineral de la arcilla en los Andisoles varía en función de varios factores y condiciones, tales como la etapa de formación del suelo, el horizonte, la composición del material parental, el pH, el régimen de humedad, la cantidad de ceniza volcánica depositada, la acumulación de MO, entre otros (Mizota y Reewijk, 1989).

La formación y la transformación de los minerales de la arcilla (o sus precursores), a partir de la degradación de los materiales piroclásticos, se ven fuertemente afectados por la acumulación de humus, puesto que forman complejos con el Al y en menor medida con el Fe (Mizota y Reewijk, 1989). La fracción mineral de los Andisoles más jóvenes, consiste principalmente de arena y grava, mientras que en la mayoría de los suelos maduros, el contenido de arcilla puede alcanzar la mitad de la masa total, debido a una alta intemperización del suelo (Ishizuka y Black, 1980).

En el desarrollo de los Andisoles, se puede distinguir que en condiciones neutro hacia poco ácidas ($\text{pH} > 5$) domina la formación de alófana e imogolita, mientras

que en condiciones más ácidas domina la formación de complejos Al-humus (Hofstede *et al.*, 1998).

1.1.3.3 Características físicas y químicas

Según Mejía, 1997, las alófanos son minerales no cristalinos del tamaño de la arcilla, se encuentran en varios tipos de suelos, sin embargo es común encontrarlas en suelos formados de materiales volcánicos. La alófana incluye en su composición química, silicio, aluminio y agua; además, este mineral imprime ciertas características en los suelos como:

- a) Tixotropía en todos sus horizontes, lo que implica que a cierto nivel de compactación, el suelo se convierte de sólido a líquido.
- b) Estructuras favorables y estables, debido a que la alófana forma puentes entre los agregados, lo cual proporciona una alta porosidad. La estructura se presenta en forma de agregados estables al agua, de diámetros mayores a 0,25 mm, esto implica una aceptable agregación y permeabilidad al agua.
- c) Alta capacidad de fijación de fósforo (P), por el alto contenido de óxidos de aluminio.
- d) Porosidad relativamente alta, consecuentemente la densidad aparente es baja y la retención de agua es alta.
- e) Alto contenido de materia orgánica en relación con otros suelos minerales. La alófana reacciona con los radicales orgánicos para formar complejos que permanecen relativamente resistentes a la mineralización, razón por la cual se acumula MO.
- f) Alta capacidad de retención de agua, que puede variar entre 50 y 200 %, según el contenido de alófana y la meteorización de la ceniza, debido al mayor

tamaño de agregados en agua, porosidad y densidad aparente. La alta macro porosidad entre agregados provoca que estos retengan más agua.

- g) Densidad aparente baja (menor a $0,9 \text{ g/cm}^3$), debido a su alto contenido de materia orgánica y alta porosidad. Son suelos susceptibles a la compactación por efecto de maquinaria o tránsito animal.
- h) Son suelos que, generalmente, presentan un alto contenido de Al activo, por lo tanto un pH bajo (Ishizuka y Black, 1980).

Dada su locación predominante en zonas húmedas, casi la totalidad de los Andisoles en el Ecuador muestran reacción ácida, sin embargo, el mayor grado de acidez en superficie, se origina principalmente en los sitios de intercambio de tipo orgánico mas no en el de tipo inorgánico, en términos generales la acidez aumenta, con el contenido de MO (Mejía, 1997).

Según Hofstede *et al.*, 1998, la acidez en Andisoles puede ser generada por ácidos orgánicos, que dependen de la cantidad y calidad de la materia orgánica, también se le atribuye a la falta de bases en los materiales parentales, que poseen bajos contenidos de bases o que se han perdido por lavado excesivo. Los compuestos orgánicos en los Andisoles, además de tener un papel fundamental en el intercambio iónico, también son responsables de la movilización de ciertos elementos como el Fe, a los horizontes inferiores (Luna, 1982).

Los Andisoles pierden su consistencia y se convierten en suelos friables y pulverulentos, en periodos prolongados de sequía. Cuando existe un exceso de lluvias en estos suelos, después de un periodo de sequía, se produce un flujo laminar del suelo hacia zonas bajas de la ladera, lo que provoca erosión (Mejía, 1997).

Las arcillas resultantes de la meteorización de las cenizas volcánicas (alófana, imogolita y complejos humus-Al) originan una alta capacidad tampón (resistencia al cambio del pH) en los Andisoles. Esta capacidad se relaciona con factores que

controlan la meteorización de la ceniza, como pueden ser cambios en la altitud, temperatura, precipitación y edad del material (Espinosa y Molina, 1999).

Por su baja densidad aparente, los Andisoles tienen menor cantidad de nutrientes por unidad de volumen, en comparación con otros suelos; sin embargo, la capacidad de retención de agua en estos suelos es alta (Ishizuka y Black, 1980). La porosidad en los Andisoles se presenta en forma de microporos, por lo que estos suelos poseen alta retención de agua, no obstante, presentan una aireación deficiente (Hofstede *et al.*, 1998).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), no es baja, sin embargo depende en alto grado del pH. Los sitios de intercambio de catiónico en general presentan una preferencia a la retención del calcio (Ca) y magnesio (Mg), más que por el amonio (NH_4) y el potasio (K). Además los sitios de intercambio se encuentran asociados, en su mayor parte, con las sustancias orgánicas y el material alófono del suelo, razón por la cual los cationes como el amonio y el K son susceptibles a lixiviarse (Ishizuka y Black, 1980).

En Andisoles la disponibilidad de elementos menores es baja, generalmente, debido a procesos de lixiviación y formación de quelatos por la presencia de sustancias orgánicas (Ishizuka y Black, 1980).

1.1.4 MANEJO Y USO DE LOS ANDISOLES

Según IUSS, 2007, los Andisoles tienen un alto potencial para la producción agrícola, puesto que son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua. Sin embargo, los Andisoles fuertemente hidratados son difíciles de labrar por su baja capacidad de carga y adhesividad.

La principal limitante química de los Andisoles radica en su capacidad para inmovilizar el P en la superficie de los minerales amorfos, aparentemente la

capacidad de fijación de P de los Andisoles varía con el tipo de arcilla presente y esto a su vez cambia el efecto residual de las aplicaciones de fosfato, por lo que se dificulta la fertilización de este elemento, con base en las recomendaciones de fertilización para ciertos cultivos (Espinosa, 2004).

La reacción de la alófana con los iones fosfato es la más importante de las reacciones desde el punto de vista agrícola. La fijación de P se favorece con un pH ácido del suelo, mientras que disminuye con el incremento del pH, razón por la que es importante el pH del suelo en la fijación del P, en los suelos derivados de cenizas volcánicas (Ishizuka y Black, 1980).

Casanova *et al.*, 2004, señalan que estos suelos son de excelentes condiciones físicas y morfológicas, por lo que se puede cultivar con facilidad. Sin embargo, según lo mencionado anteriormente una de las características principales de los Andisoles es que poseen grandes cantidades de P, debido a las fertilizaciones continuas; sin embargo, éste se encuentra fijado en el suelo en forma no disponible para las plantas, lo que afecta el desarrollo de la vegetación. En consecuencia, se requieren altas dosis de fertilizaciones fosfatadas, para sobreponer el poder de fijación y permitir un adecuado suplemento de este nutriente a los cultivos.

Según Ishizuka y Black, 1980, solo alrededor del 10 % del fósforo aplicado al suelo mediante el uso de fertilizantes fosfatados, es aprovechado por los cultivos. La alta porosidad y capacidad de retención de humedad que poseen los Andisoles los hacen propensos a la erosión eólica y laminar hídrica, además, las plantas cultivadas en estos suelos son susceptibles a daños por heladas.

En algunos Andisoles con pH ácido, el efecto acidificante que produce la fertilización con úrea provoca un decremento sobre el crecimiento vegetal, expresado en incrementos en la disponibilidad de Al y Mn en concentraciones tóxicas para las plantas, bajo condiciones no adecuadas en el manejo de la úrea, tales como la dosificación, la época y la forma de aplicación del fertilizante (Campillo y Rodríguez, 1984).

En Andisoles, el pastoreo animal y el uso de maquinaria agrícola pueden reducir el espacio poroso del suelo, debido a su mal manejo, lo que causa una alteración en la aireación, movimiento y almacenamiento de agua. Además produce una resistencia por parte del suelo al desarrollo radicular de las plantas (Sepúlveda, 2001, citado por Seguel *et al.*, 2002).

Por su parte Meza y Geissert, 2006, mencionan que, si bien, los Andisoles poseen buenas propiedades físicas, si alguna de ellas sufre un cambio fuerte, como por ejemplo la retención de agua o la porosidad, este cambio puede ser irreversible. La alta capacidad tampón que poseen los Andisoles tiene como consecuencia altos requerimientos de cal para modificar el pH del suelo, lo que dificulta su manejo en el encalado (Hofstede *et al.*, 1998).

Según Herrera *et al.*, 2000, para el encalado se debe optar por materiales finos para que reaccionen rápidamente con el suelo. “El óxido de calcio (cal viva) y el hidróxido de calcio (cal apagada), reaccionan más rápidamente que la cal agrícola (CaCO_3). Si la cal se aplica muy cerca de la siembra puede inducir una deficiencia temporal de potasio debido a una alta disponibilidad de calcio”.

En Andisoles, el abonamiento con materiales orgánicos, en especial con gallinaza, ha dado buenos resultados en la producción de cultivos. El uso de este material puede neutralizar parte de la acidez intercambiable, mejorar el contenido de fósforo aprovechable y el de calcio y potasio asimilable. En general el uso de abonos orgánicos hace más eficiente la adición de nitrógeno y fertilizantes químicos a base de nitrógeno, fósforo y potasio (Herrera *et al.*, 2000).

La efectividad de la aplicación de MO en Andisoles se debe a un aumento en la retención de nutrientes en estado catiónico en el suelo. Como resultado de esto existe mayor disponibilidad de elementos tales como nitrógeno fósforo, potasio y micronutrientes disponibles para los cultivos, a su vez disminuye el lavado de bases intercambiables. La materia orgánica se asocia con el aluminio activo, lo que disminuye su capacidad de reacción con el fertilizante fosfórico y mejora la estructura del suelo (Ishizuka y Black, 1980).

Debido al alto contenido de MO y de nitrógeno que poseen los Andisoles en forma natural, cuando son utilizados para uso agrícola, la materia orgánica empieza a mineralizarse y libera nitrógeno a los cultivos, sin embargo, esto provoca que en pocos años exista una deficiencia de este elemento en el suelo (Ishizuka y Black, 1980). Además, según Meza y Geissert, 2006, las consecuencias de la disminución de la MO son la pérdida del nitrógeno orgánico e incremento en los requerimiento de agua de riego.

En los Andisoles de zonas tropicales con altas precipitaciones, la dinámica de los nutrientes en el suelo se encuentra influenciada por el proceso de lixiviación, debido a su estructura porosa. La baja retención de nutrientes ocasiona problemas de absorción de elementos nutritivos por parte de las plantas (Van Wambeke, 1992 citado por Obando y Montes, 2004).

En las regiones de la Costa y Amazonía ecuatoriana, se cultiva una variedad amplia de especies en los Andisoles, entre las cuales se incluye la caña de azúcar, té, vegetales, cultivos frutícolas y hortícolas. El arroz inundado es el uso principal de los Andisoles, en tierras bajas con agua freática somera. Por otra parte, los Andisoles en pendientes pronunciadas se mantienen mejor bajo sistemas agroforestales (IUSS, 2007).

En la Sierra ecuatoriana, los Andisoles se encuentran bajo cultivos de altura como pasto, papa, cereales, entre otros. La fuerte fijación de fosfato de los Andisoles, causada por aluminio (Al) y hierro (Fe) libres, constituye un problema para el manejo de estos suelos. Las medidas para reducir este efecto incluyen la aplicación de cal, sílice, materia orgánica y fertilización fosfatada (González *et al.*, 1986 y IUSS, 2007).

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS FORRAJERAS

Moreno, 1995, describe a las mezclas forrajeras como pasturas integradas por gramíneas y leguminosas forrajeras, como se presenta en la Figura 2. Esta

combinación permite aprovechar con mayor eficiencia la riqueza del suelo, las condiciones del clima, el manejo de la mezcla y el potencial forrajero de las especies sembradas. La asociación de gramíneas con leguminosas da como resultado un producto completo y balanceado (energía y proteína), para la alimentación del ganado.



Figura 2. Mezcla forrajera, compuesta por gramíneas y leguminosa

Las pasturas cultivadas son el principal sustento de la alimentación del ganado al pastoreo, tanto a nivel de valles interandinos, como en zonas alto andinas. Las pasturas son consideradas como un factor primordial en la producción de leche y carne, provenientes de ganado vacuno principalmente, puesto que son la fuente de alimento más económica que existe (Bernal, 2005).

León, 2003, menciona que la composición botánica ideal de una mezcla forrajera, destinada para la sierra ecuatoriana, está constituida por 70 a 75 % de gramíneas, 25 a 30 % de leguminosas y 2 a 3 % de malezas.

Las características principales de las especies que se usan, para conformar una mezcla forrajera, son la homogeneidad y la adaptación a medio ambientes muy específicos. Estas pasturas persisten por más de 2 a 3 años con un manejo adecuado y condiciones climáticas apropiadas. Transcurrido este tiempo, las

especies sembradas desaparecen paulatinamente, para finalmente ser remplazadas por gramíneas invasoras y malezas (Paladines, 2004). Por su parte, Astudillo, 2000, indica que algunas de las características más importantes, al momento de seleccionar las especies de una mezcla forrajera, son:

- Fácil manejo de semillas
- Poder germinativo
- Buena palatabilidad
- Carencia de principios tóxicos
- Resistencia al pisoteo
- Riqueza foliar
- Facilidad de propagación
- Precocidad
- Capacidad de rebrote
- Capacidad de adaptación

1.2.1 GRAMÍNEAS

Las gramíneas representan del 70 al 75 % de las especies en una mezcla forrajera. Aportan gran cantidad de energía al ganado, pero son pobres en proteínas, por lo que se siembran con especies leguminosas para mejorar la calidad de la mezcla forrajera (Gómez, 2005).

Se usan diferentes especies de gramíneas en las mezclas, en función de las condiciones climáticas y de los requerimientos de producción. Los principales géneros de gramíneas usadas son: *Lolium*, *Dactylis*, *Festuca*, *Bromus* y *Phalaris* (Bernal, 2005).

Las características principales de cada especie, correspondientes a la clasificación taxonómica, origen, duración, usos, requerimientos agronómicos y valor nutritivo, se describen a continuación.

1.2.1.1 Rye grass anual

Reino: Plantae
 División: Magnoliophyta
 Clase: Liliopsida

Orden: Cyperaceae
Familia: Poaceae
Género: Lolium
Especie: *Lolium multiflorum* L.

El rye grass anual, también conocido como rye grass italiano, tiene su origen en la parte baja del Mediterráneo. Se sembró en el norte de África, oeste de Asia y en Italia. Posteriormente, su cultivo avanzó hacia el norte de Inglaterra y se extendió a los países escandinavos y más tarde al hemisferio occidental (González, 2009). Su cultivo tiene una duración máxima de 2 años (Gómez, 2005).

Esta especie se adapta bien al clima templado y frío, resiste sequías y heladas. Su rango de altitud se extiende de 0 a 4 200 m.s.n.m. Requiere suelos de fertilidad media o elevada, arcillo-limosos, húmedos y bien drenados (Alcalde *et al.*, 1990). El pH óptimo, para su desarrollo, es de 6-7. Responde bien a la fertilización (Paladines, 1997).

Tiene una implantación rápida y agresiva. Germina entre los 7 a 10 días después de la siembra. La temperatura óptima de germinación se encuentra entre 16 y 18 °C. La dosis de siembra es de 30 a 35 kg de semilla por hectárea (Gómez, 2005). Antiguamente, se registra el uso del rye grass anual, dentro de mezclas de pasturas permanentes para la producción, en los primeros años de establecida la pastura (Bernal, 2005).

Sin embargo, Gómez, 2005, menciona que conviene aprovechar esta especie mediante siega (corte), puesto que no tolera bien el pisoteo como el rye grass perenne. Una vez segado el rye grass anual, tanto la henificación como el ensilado, son buenos métodos de conservación.

Los cortes del rye grass anual se realizan cada 28-30 días y su rendimiento es de 120 t/ha/año de forraje verde, correspondiente a 10-12 t/corte. Además, es una buena especie productora de semillas, genera de 600-700 kg/ha/año (León, 2003).

El valor nutritivo del rye grass italiano posee un contenido de proteína de 14-20 %, en función de la variedad (Paladines, 1997).

1.2.1.2 Rye grass perenne

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Género: Lolium
Especie: *Lolium perenne* A.

Canals *et al.*, 2009 y González, 2009, señalan que el rye grass perenne (también conocido como rye grass inglés) es nativo de la parte baja de la zona Mediterránea de Europa, especialmente de la península itálica. Fue desarrollado probablemente, a partir de su congénere *Lolium rigidum*. En la actualidad esta especie se encuentra difundida en todas las regiones templadas. Este cultivo tiene una duración aproximada de 4 a 5 años, con características nutricionales excelentes para el ganado. Puede durar más, pero pasado este periodo, baja la calidad de la planta (González, 2009).

El rye grass perenne se adapta a climas templados y fríos, es sensible al calor y a la sequía. La temperatura óptima de germinación se sitúa entre los 16 y 18 °C. No tolera temperaturas extremas, su crecimiento se paraliza a los 35 °C (Canals *et al.*, 2009).

Esta especie puede ser cultivada desde 0 a 4 200 m.s.n.m. (Alcalde *et al.*, 1990). Se adapta a un amplio rango de suelos. Presenta una buena respuesta a la fertilización nitrogenada. En terrenos ricos en nitrógeno y de pH ligeramente ácido, el rye grass perenne se desarrolla profusamente y puede dominar la mezcla forrajera. Soporta la compactación pero no tolera el encharcamiento.

Puede tolerar suelos fuertemente ácidos y alcalinos si dispone agua y nitrógeno en abundancia (Bernal, 2005). Es una planta que resiste bien al pisoteo de los animales, por lo que está adaptada al pastoreo. Si se siega, se recomienda su conservación en forma de ensilado. El rye grass perenne es la gramínea más empleada para el establecimiento de praderas de larga duración, en áreas templadas (Gómez, 2005).

El *Lolium perenne* posee un rendimiento promedio de 47 kg de materia seca/ha/día. Se debe realizar los pastoreos en intervalos de 28 a 35 días (Díaz, 2001). El valor nutritivo del rye grass inglés posee un contenido de proteína de 15-25 %, de acuerdo a la variedad y su digestibilidad es del 80 % (Paladines, 1997). Su dosis de siembra varía entre 30 y 35 kg/ha (León, 2003).

1.2.1.3 Pasto Azul

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Género: Dactylis
Especie: *Dactylis glomerata*

Esta especie es originaria del oeste y centro de Europa. Se encuentra en el hemisferio norte en Europa, Asia, norte de África y América del Norte. En el Hemisferio Sur destaca su presencia en Nueva Zelanda y América del Sur (Canals *et al.*, 2009).

El cultivo de esta especie perenne puede durar de 4 a 5 años (Gómez, 2005). Esta pastura tiene buena adaptación a distintas condiciones climáticas. Tolera la sequía, el calor y la sombra (Canals *et al.*, 2009). El pasto azul es apropiado para alturas y usado para resiembra en suelos montañosos (Bernal, 2005).

Crece a una altitud de 2 500 a 3 600 m.s.n.m. Su temperatura óptima de germinación se sitúa entre los 20 y 25 °C. Tiene una lenta implantación, alrededor de 12 a 15 días después de la siembra. La dosis de siembra es de 20 a 25 kg/ha (Gómez, 2005).

Prefiere los terrenos calizos y ricos en materia orgánica, pero vive bien en los silíceos, no demasiado ácidos (pH entre 6 y 8). Soporta difícilmente el encharcamiento. Como consecuencia de su escasa agresividad inicial, el pasto azul permite el crecimiento de otras especies durante el primer año, no obstante, con el paso del tiempo, puede dominar la mezcla forrajera (Canals *et al.*, 2009).

A diferencia de la mayoría de gramíneas forrajeras, que acumulan sus reservas energéticas en las raíces, para producir rebrotes, el pasto azul es una planta, que acumula las reservas en la base de sus tallos y en la vaina de las hojas. Esta características lo vuelve muy sensible a aprovechamientos intensos y frecuentes; además, es una planta sensible al pisoteo, por lo que el mejor sistema de aprovechamiento es mediante siega (Gómez, 2005).

Cultivado solo, produce 7 t/ha de forraje verde y en asociación con alfalfa o trébol blanco produce 10-15 t/ha, que equivale a 1,5-2,0 t/ha/corte de forraje seco. Al ser una especie perenne, su implantación es lenta, por lo que al principio los rendimientos de materia verde son bajos y suben con los cortes sucesivos (León, 2003).

Esta especie posee un valor nutritivo del 17-18,7 % de proteína, a las 6 semanas y 62,1 % de digestibilidad (Paladines, 1997).

1.2.2 LEGUMINOSAS

La principal propiedad de las leguminosas es su poder de fijación del nitrógeno (N) atmosférico, en el suelo. Las mejores pasturas son aquellas en que las leguminosas están asociadas con las gramíneas, puesto que el N se vuelve

disponible para ambas especies y favorece su crecimiento. En pasturas de clima templado, el trébol blanco y el trébol rojo son las leguminosas más usadas en pasturas (Bernal, 2005).

1.2.2.1 Trébol Blanco

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae
Género: Trifolium
Especie: *Trifolium repens*

El trébol blanco es nativo de África del Norte, Asia y Europa (Bernal, 2005). En la actualidad, es la leguminosa pratense (cultivada en praderas) perenne más extendida en el planeta. Es una planta de 10-50 cm de altura (Canals *et al.*, 2009).

Logra su óptimo desarrollo en climas templados y húmedos. Se adapta desde los 1 800 a 4 200 m.s.n.m. La temperatura óptima para el crecimiento es de 24 °C; a partir de 35 °C y por debajo de 7 °C, presenta un escaso crecimiento. Prefiere suelos bien drenados de tipo franco-limoso, neutros o ligeramente ácidos, no tolera la salinidad ni la alcalinidad (Alcalde *et al.*, 1990).

El pH óptimo de suelo para la fijación de N es de 6,5. Se recomienda sembrar en combinación con gramíneas, en cantidad de 4 a 7 kg/ha (González, 2009).

El *Trifolium repens* se aprovecha mejor mediante pastoreo. Es un cultivo que soporta el pisoteo y posee un rebrote rápido, debido a que las defoliaciones no afectan a los puntos de crecimiento. Este cultivo se lo puede utilizar para henificación y siega. (Canals *et al.*, 2009).

El rendimiento de esta especie es de 10-12 t/ha/año de forraje seco, correspondiente a 50-60 t/ha/año de forraje verde (González, 2009).

El trébol blanco posee un valor de 19 % de proteína, con una digestibilidad in vitro de materia seca de 59 % (Díaz, 2001).

La fijación de nitrógeno por la simbiosis entre la bacteria *Rhizobium* y el trébol blanco puede variar entre 20 y 180 kg de N fijado/ha/año. El trébol blanco aumenta el valor alimenticio de una pradera de rye grass, puesto que produce altos niveles de proteína digestible, alto contenido mineral, alta palatabilidad y digestibilidad (Bernal y Espinosa, 2003).

1.2.2.2 Trébol rojo o rosado

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae
Subfamilia: Faboideae
Género: Trifolium
Especie: *Trifolium pratense* L.

El trébol rojo es oriundo de Asia menor y sureste de Europa (Alcalde *et al.*, 1990). Existen variedades que se utilizan en pasturas permanentes, ya que soportan la defoliación, sin embargo, son más sensibles a esta en comparación con el trébol blanco, por lo que se debe pastorear con bajas cargas para asegurar su presencia en la pradera (Bernal, 2005).

Se adapta a clima templado o frío, su crecimiento se detiene a partir de 30-35 °C y puede desarrollarse desde el nivel del mar hasta los 4 200 m.s.n.m. Es más resistente a heladas y sequías que el trébol blanco. Prefiere los suelos limo-arcillosos o limosos, pero exige buen drenaje y no soporta los encharcamientos

prolongados. Tolera suelos ácidos, con pH 4,5-7,5 (Alcalde *et al.*, 1990). Posee un rendimiento de 51 kg de materia seca/ha/día (Díaz, 2001).

Esta especie mejora los suelos en zonas pobres, por esta razón se la emplea en rotación de cultivos, también mejora pastizales. Preferentemente, se utiliza bajo corte para consumo en verde, heno o ensilado, pues no tolera el pastoreo intensivo (Alcalde *et al.*, 1990).

Se recomiendan sembrar la cantidad de 8-15 kg/ha en cultivo puro y 4-7 kg/ha cuando se siembra en asociación con gramíneas. En general una mezcla forrajera debería tener una densidad de siembra compuesta por 10 kg/ha de rye grass italiano, 20 kg/ha de rye grass inglés, 10 kg/ha de pasto azul, 3 kg/ha de trébol blanco y 5 kg/ha de trébol rojo, para zonas altas, comprendidas entre los 2 800 y 3 200 m.s.n.m. (León, 2003).

1.2.3 FERTILIZACIÓN DE PASTURAS

La fertilización aporta a las plantas, lo que los suelos no pueden proveerlas, es decir, constituyen una corrección de las deficiencias o insuficiencias químicas de los suelos (León, 2003).

El efecto más notable de la fertilización en pastos es el incremento en el rendimiento de materia seca. Esta respuesta es la que generalmente se analiza, para demostrar los beneficios obtenidos con la fertilización. La aplicación de nutrientes afecta también la calidad del forraje, que se mide al evaluar diferentes parámetros, como el contenido de proteína, minerales o por las variaciones en la digestibilidad del pasto (Bernal y Espinosa, 2003).

La fertilización es una de las medidas que interfiere positivamente en la condición del pastizal, pues mejora su composición botánica y producción (Salazar, 2000). Con una adecuada fertilización, se consigue una recuperación rápida del potrero, un aumento en la producción de forraje (se puede duplicar o triplicar la capacidad de carga), un aumento en la resistencia al ataque de plagas y enfermedades de

los pastos y una mejora de la calidad del pasto, lo que redundará en una mejor reproducción del hato ganadero y en un aumento de la producción de carne o leche (León, 2003).

Las especies forrajeras, especialmente las gramíneas, responden muy bien a la fertilización, particularmente a la aplicación de nitrógeno (N). La mayor producción de forraje generada por la fertilización nitrogenada, lleva necesariamente a una mayor extracción o demanda de otros nutrientes, como fósforo (P), potasio (K), azufre (S), magnesio (Mg) y calcio (Ca) (Bernal y Espinosa, 2003).

Si el suelo no dispone suficientes cantidades de estos elementos y si estos no son añadidos con los fertilizantes, se pierde una buena parte del beneficio de la aplicación de N y además, se reduce el valor nutricional del forraje (Bernal y Espinosa, 2003).

1.2.3.1 Minerales esenciales para las plantas

En general se dice que elemento es esencial para el crecimiento y producción de la planta cuando interviene directamente en las funciones metabólicas y la planta no puede completar su ciclo de vida sin la presencia de este elemento (Bernal y Espinosa, 2003).

Los elementos esenciales de los tejidos de las plantas son el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), molibdeno (Mb), cloro (Cl) y níquel (Ni); recientemente, se comprobó que elementos como el sodio (Na), selenio (Se), cobalto (Co) y silicio (Si), son esenciales para un grupo de plantas, pero no se ha probado aún, que sean esenciales para todas las plantas (Bernal y Espinosa, 2003).

En la Tabla 1, se describe la función de los nutrientes, sus formas iónicas captadas por las plantas y los síntomas de deficiencia de cada elemento

Tabla 1. Elementos minerales esenciales y benéficos para las plantas

Elemento	Rol en las Plantas	Formas iónicas captadas por las plantas	Síntomas de deficiencia
MACRONUTRIENTES			
Nitrógeno (N)	Constituyente de todas las proteínas, clorofila, coenzimas y ácidos nucleicos.	NH_4^+ , NO_3^-	Reducción del crecimiento. Clorosis de las hojas viejas, seguido por enrojecimiento y necrosis de los bordes de las hojas.
Fósforo (P)	Importante en la transferencia de energía como parte de la adenosina trifosfato. Constituyente de proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y substratos metabólicos.	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	Reducción del crecimiento. Color verde intenso anormal en leguminosas y consistencia acartonada. En gramíneas, las hojas viejas toman una coloración púrpura.
Potasio (K)	Involucrado en el control de la presión osmótica. Funciona en mecanismos regulatorios como fotosíntesis, translocación de hidratos de carbono, síntesis proteica, etc.	K^+	Clorosis en el ápice de las hojas viejas, seguido por necrosis de las hojas y defoliación.
Calcio (Ca)	Componente de la pared celular. Juega un rol en la estructura y permeabilidad de membranas.	Ca^{2+}	Los puntos de crecimiento activo se dañan o mueren y se pudre el botón en las flores y frutos.
Magnesio (Mg)	Constituyente de la clorofila y activador de enzimas.	Mg^{2+}	Clorosis marginal en las hojas viejas, acompañada por la presencia de pigmentaciones de tono rojizo.
Azufre (S)	Importante constituyente de proteínas vegetales.	SO_4^{2-} , SO_2	Clorosis en las hojas jóvenes. Las hojas viejas conservan su color verde.

Tabla 1. Elementos minerales esenciales y benéficos para las plantas. **Continuación...**

Elemento	Rol en las Plantas	Formas iónicas captadas por las plantas	Síntomas de deficiencia
MICRONUTRIENTES			
Boro (B)	Importante en la translocación de azúcares y en el metabolismo de los hidratos de carbono.	H_3BO_3	Necrosis de las hojas jóvenes. Deformidad de las hojas y encrespamiento de los folíolos. Rebrotos en forma de roseta, que mueren al poco tiempo.
Hierro (Fe)	Síntesis de clorofila y en enzimas para transferencia de electrones.	Fe^{2+}	Clorosis intervenal de las hojas jóvenes, distribuida uniformemente.
Manganeso (Mn)	Controla algunos sistemas de oxidación-reducción, formación de O_2 en la fotosíntesis.	Mn^{2+}	Clorosis intervenal, las venas forman una especie de red sobre un fondo amarillo. Se pueden presentar manchas necróticas en las hojas y necrosis del embrión o de los cotiledones.
Cobre (Cu)	Catalizador de la respiración, constituyente de enzimas.	Cu^{2+}	Enrojecimiento de los bordes de los folíolos, abscisión de las hojas jóvenes y muerte de los meristemos.
Zinc (Zn)	Forma parte de sistemas de enzimas, que regulan varias actividades metabólicas.	Zn^{2+}	Clorosis de hojas jóvenes y encrespamiento de los folíolos.
Molibdeno (Mo)	Forma parte de la enzima nitrogenasa requerida para la fijación del nitrógeno.	MoO_4^{2-}	Necrosis causada por una acumulación de nitratos.
Cloro (Cl)	Influye en actividades para la producción de O_2 en la fotosíntesis.	Cl^-	Apariencia azul verdosa brillante de las hojas jóvenes, seguido por clorosis y necrosis. Plantas son pequeñas y delgadas.

Fuente: León, 2003; Paladines, 1997 y Gómez, 2005

La rentabilidad de las pasturas está directamente relacionada con el uso de fertilizantes, por lo que es necesario conocer la función de cada elemento, dentro de la fisiología de las plantas (Bernal, 2005). En el caso de deficiencia de elementos, uno de los pasos iniciales para determinar si es necesario adicionar un nutriente particular, es el examen de la fertilidad natural del suelo. Para el diagnóstico de deficiencias o excesos en el suelo, es necesario realizar el análisis de suelo y complementarlo con el análisis foliar (León, 2003).

Normalmente, las plantas pueden sufrir una deficiencia sin presentar ninguna evidencia visual. Al momento que aparecen los síntomas visibles de deficiencia de nutrientes, las plantas han perdido una considerable porción del potencial de rendimiento. Por esta razón, es importante detectar las carencias de nutrientes, antes que aparezcan en el campo (CIAT, 1988).

1.2.3.2 Requerimientos nutricionales de los pastos

Según Bernal y Espinosa, 2003, la demanda nutricional de las diferentes especies forrajeras es variable y depende de 3 factores principales:

a) La capacidad para extraer nutrientes del suelo

Las diferentes especies de pastos difieren en su habilidad para extraer elementos del suelo. Así, por ejemplo, las gramíneas son más eficientes en extraer nutrientes que las leguminosas. Generalmente, las especies de clima frío, con niveles intermedios de producción, bajo condiciones tropicales, presentan una extracción de K, ligeramente superior a la del N, con demandas de P inferiores a las de N y K.

b) El potencial de producción de la especie

Las diferentes especies forrajeras tienen distinta capacidad de producir biomasa. Las gramíneas responden muy bien a la aplicación de N, que suele producir

respuestas muy altas en pastos de altura y de clima medio. La mayor producción de forraje generada por la fertilización nitrogenada, lleva necesariamente a la extracción de otros nutrientes. La práctica de la fertilización adquiere mayor significado en aquellas especies con alto potencial genético de producción.

c) El requerimiento interno de la planta

Las concentraciones y las relaciones en las que se encuentran los elementos dentro de la planta varían con la especie y con la forma de cultivo. Se puede decir que en promedio la concentración relativa de nutrientes en las plantas es la que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentración de elementos nutritivos en materiales vegetales, a niveles considerados adecuados

Elemento	Unidad	Símbolo químico	Concentración en la materia seca
Molibdeno	ppm	Mo	0,10
Cobre	ppm	Cu	6,00
Zinc	ppm	Zn	20,00
Manganeso	ppm	Mn	50,00
Hierro	ppm	Fe	100,00
Boro	ppm	B	20,00
Cloro	ppm	Cl	100,00
Azufre	%	S	0,10
Fósforo	%	P	0,20
Magnesio	%	Mg	0,20
Calcio	%	Ca	0,50
Potasio	%	K	1,00
Nitrógeno	%	N	1,50
Oxígeno	%	O	4,50
Carbono	%	C	4,50
Hidrógeno	%	H	6,00

Fuente: Bernal y Espinosa, 2003

1.2.3.3 Valor nutritivo de los pastizales

Paladines, 1992, manifiesta que la composición química y la digestibilidad de los forrajes se ven afectados por 3 factores primordiales:

a) Edad de las plantas

Sin duda la relación más importante y directa, en lo relacionado a la edad de la planta forrajera, es el contenido de proteína cruda y la digestibilidad, que disminuyen a medida que la planta madura.

b) Parte de las plantas

En general, los forrajes son las partes vegetativas de las plantas gramíneas y leguminosas, que proporcionan proteína, energía y fuente mineral a la alimentación del ganado.

c) Tipo de planta

León e Izquierdo, 1993, mencionan que en la región interandina, el valor nutritivo de las especies forrajeras es bastante similar. Esto se corrobora con el análisis de laboratorio realizado por el Departamento de Nutrición del INIAP, en el que se registran variaciones no significativas.

En la Tabla 3, se señala el valor nutritivo de algunas especies forrajeras cultivadas en la región.

Tabla 3. Valor nutritivo de algunas especies forrajeras de la región interandina

Especie	Nombre común	H	MS	PB	FB	D
		%				
<i>Lolium multiflorum</i>	Rye grass italiano	76,7	23,3	16,8	27,8	74,5
<i>Dactylis glomerata</i>	Pasto azul	75,4	24,6	14,5	29,4	69,5
<i>Trifolium repens</i>	Trébol Blanco	72,3	27,7	24,5	26,5	85,7
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	75,6	24,4	25,7	23,5	86,7

H: humedad; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FB: fibra bruta; D: digestibilidad

Fuente: Laboratorio de nutrición del INIAP, citado por León e Izquierdo (1993)

La calidad de un forraje se puede expresar de diferentes maneras: como total de nutrientes digestibles, proteína, digestibilidad o materia seca. Sin embargo, el término más común es la digestibilidad, que representa el grado y calidad de un forraje, en relación con la capacidad de poder ser asimilado, durante el proceso digestivo y depende del estado vegetativo de la planta, al ser consumida por el animal o cosechada por la maquinaria (Salazar, 2000).

1.3 PROPIEDADES DE LA VINAZA

1.3.1 PROPIEDADES GENERALES DE LA VINAZA

La vinaza constituye un residuo alcohólico del proceso de fermentación biológica, para producir levadura y alcohol. Posee una coloración marrón, olor característico a miel y sabor a malta (Bermúdez *et al.*, 2000).

“Los constituyentes inorgánicos de la vinaza son sulfatos, cloruros, fosfatos, potasio, sodio y silicato. Mientras que los constituyentes orgánicos son proteínas y otras sustancias como ácidos orgánicos, alcohol, glicerol y azúcares” (Basanta *et al.*, 2007).

Jaramillo, 2010, reporta que un m³ de vinaza contiene 2,8 kg de N; 2,5 kg de P; 1,4 kg de S y 5,9 kg K, lo que representa una importante fuente de fertilización mineral. Gómez, 2009, considera a la vinaza como un fertilizante orgánico, que se caracteriza por una alta concentración de sólidos, MO, N, K, S, elementos menores, además de contener actividad microbiológica, por lo que su aplicación puede incrementar el contenido de materia orgánica y favorecer las propiedades físicas (permeabilidad y estabilidad de los agregados), químicas y biológicas de los suelos.

En la Tabla 4, se presenta un resumen de las características químicas de la vinaza, generada en el proceso de fabricación de levadura de pan, mientras que en la Tabla 5, se describen los compuestos orgánicos que conforman la vinaza.

Tabla 4. Composición química de la vinaza

Parámetros	Unidades	Valor promedio
pH		6,00
Conductividad eléctrica	dS/m	19,20
N total	g/100 ml	0,28
P	g/100 ml	0,25
K	g/100 ml	0,59
Ca	g/100 ml	0,27
Mg	g/100 ml	0,07
S	g/100 ml	0,14
B	mg/l	3,30
Zn	mg/l	3,35
Cu	mg/l	1,85
Fe	mg/l	37,60
Mn	mg/l	21,60
Materia orgánica	g/100 ml	1,00

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas, EESC- INIAP, citado por Taday, 2009

Tabla 5. Compuestos orgánicos de la vinaza

Compuestos	Concentración (% mL/mL)
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: Medina, 2006

Rivas *et al.*, 1996, mencionan que la turbidez y temperatura de la vinaza son elevadas. Presenta una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que oscila entre

los 7 000 y 20 000 mg de O₂/L. Por otro lado, el material orgánico disuelto, medido como demanda química de oxígeno (DQO), alcanza valores de hasta 150 000 mg de O₂/L, que en comparación con descargas domésticas se consideran altos.

De igual manera Bermúdez *et al.*, 2000, consideran a la vinaza un residuo líquido muy agresivo, que al ser descargada sobre un recurso hídrico ocasiona problemas ambientales, debido a algunas de sus características como pH bajo (4,2-4,6), materias en suspensión y elevada DQO.

1.3.2 EFECTO DE LA VINAZA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Gazca, 2010, señala que la aplicación de vinaza al suelo influye en ciertas características físicas, químicas y biológicas como: contenido de nutrientes (en especial de K), cambios en la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y actividad biológica.

Sarria y Preston, 1992, consideran a la vinaza como un fertilizante eficiente, debido a que incorpora en el suelo nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, además de mejorar las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del suelo. Sin embargo, Bautista *et al.*, 2000, señalan que aplicaciones continuas de vinaza a largo plazo pueden producir formación de horizontes endurecidos en el suelo (pseudo-podsolización), a más de producir toxicidad en el suelo, debido a la formación de quelatos de Fe y Al.

1.3.2.1 Efecto en la materia orgánica

La dinámica entre los componentes del suelo y la materia orgánica, es de gran importancia por su influencia en: el reciclaje de nutrientes, intemperismo, desarrollo del perfil, estabilización de agregados, lixiviación, cambios en la densidad del suelo, capacidad amortiguadora del suelo y la recepción, transformación e inactivación de contaminantes (Bautista *et al.*, 2000). Según Varadachari *et al.*, 1994, los cationes intercambiables se unen a las arcillas y a los

coloides del suelo (formados a partir la intemperización de la materia orgánica y otros minerales). Según el potencial iónico del elemento, los compuestos orgánicos solubles y arcillas pueden formar uniones firmes, en condiciones de humedad y complejos arcilla-humus, en condiciones secas.

La materia orgánica, junto con los contenidos de Ca y otras bases intercambiables provenientes de la vinaza, pueden ayudar la neutralización del Al intercambiable en suelos altamente ácidos o la liberación del Na en suelos sódicos y con problemas de alcalinidad. No obstante esta neutralización debe ser complementada con la implementación de una red de drenaje para eliminar el Na intercambiable y facilitar la recuperación de suelos afectados por este elemento (Quintero, 2003).

1.3.2.2 Efecto en la conductividad eléctrica (CE)

Hernández *et al.*, 2008, mencionan que la aplicación de vinaza en el suelo no afecta los niveles de conductividad eléctrica y no produce efectos negativos en la salinidad del suelo. Sin embargo el uso inadecuado de la vinaza puede aumentar el contenido de elementos químicos en la solución del suelo, en especial de K y Na, lo que provoca un incremento de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (Brito y Rolim, 2005).

1.3.2.3 Efecto en el pH

“El efecto de la vinaza aplicada al suelo, debido a su acidez (pH alrededor de 4), ayuda a la disolución de las diferentes formas de carbonatos, fosfatos de Ca y otros compuestos precipitados, lo que permite lograr una mejor nutrición de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes” (García y Rojas, 2006).

La aplicación de vinaza en un Acrisol eleva el pH del suelo en 1,8 unidades, aunque el efecto difiere según la vinaza utilizada y el tipo de suelo, la aplicación de vinaza favorece el incremento del pH independientemente del tipo de suelo

(Bautista *et al.*, 2000). Becorral, 1987, mencionan que la vinaza aplicada en el suelo puede formar complejos con el Al, lo que neutraliza el efecto acidificante de este elemento. Debido a su alta poder electrolítico, reacción ácida y acción como activador de la fauna del suelo, la vinaza es una enmienda efectiva para la recuperación de suelos afectados por una alta saturación de Na y/o Mg intercambiables (García y Rojas, 2006).

1.3.2.4 Efecto en macro y micronutrientes

García, 1986, indica que la vinaza incrementa el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Na. A la vez, disminuye el contenido de Al, Zn y Mn. En general, se puede verificar que la aplicación de vinaza es favorable para la fertilidad del suelo. Por su parte, Brito y Rolim, 2005, mencionan que con la aplicación de la vinaza se incrementó la concentración de K en los primeros 30 cm del suelo.

1.3.2.5 Efecto en la nutrición y el rendimiento de los cultivos

En general, el uso de vinaza como fertilizante causa un aumento significativo en el rendimiento en comparación con los fertilizantes químicos (N, P y K). Gómez, 1996 y Pande, 1994, citado por Arafat y Yanssen, 2002, reportan incrementos significativos en el rendimiento de trigo y caña de azúcar, con el uso de vinaza, respecto al uso de fertilizantes convencionales. Sin embargo, se detectó que la complementación con fertilizante mineral es necesaria para alcanzar una mayor producción.

1.3.2.6 Efecto en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Según estudios realizados por varios autores, se ha detectado un aumento generalizado de cationes intercambiables en el suelo debido a la aplicación vinaza. Como consecuencia de la alteración de la cantidad de cationes, ocurre una alteración en la suma y porcentaje de saturación de bases (Gazca, 2010).

1.4 ESTUDIOS PREVIOS DE MANEJO Y APLICACIÓN DE VINAZA EN ANDISOLES

1.4.1 ESTUDIOS EN MEZCLAS FORRAJERAS

Jaramillo, 2010 y Pavón 2010, condujeron 2 ensayos de campo durante un periodo de 2 años, donde compararon la respuesta agronómica que presenta una mezcla forrajera (rye grass inglés, rye grass italiano, pasto azul, trébol rojo y trébol blanco) a la adición de 2 tipos de fertilizantes: orgánico (vinaza) y químico (úrea, sulpomag y fosfato diamónico). Se evaluó la influencia de la adición de 6 dosis distintas de vinaza, que fueron desde 0 a 125 m³/ha. Los resultados concernientes al efecto sobre la producción y rendimiento de la mezcla forrajera, se compararon con aquellos resultados obtenidos al aplicar la fertilización química.

En la Tabla 6 se observa un cuadro comparativo de los rendimientos de forraje seco obtenidos por Jaramillo 2010 y Pavón 2010 en sus estudios sobre fertilización con vinaza, en una mezcla forrajera gramínea leguminosa. Los resultados indican que los mayores rendimientos de materia seca para los 2 años de estudio, fueron producidos con la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza.

Tabla 6. Rendimiento de materia seca de una mezcla forrajera gramínea leguminosa en dos años de aplicación de vinaza

Dosis de vinaza m ³ /ha/año	t/ha	
	Año 1	Año 2
0	15,92	8,80
25	22,95	11,75
50	24,28	12,90
75	26,01	12,45
100	25,22	12,20
125	26,32	12,85
Fertilización química	26,27	12,45

Fuente : Jaramillo, 2010 y Pavón, 2010

Además, Jaramillo, 2010 y Pavón, 2010, no encontraron diferencias significativas entre rendimientos de materia seca alcanzados con la aplicación de vinaza en comparación con los rendimientos obtenidos con la fertilización química; no obstante, la respuesta obtenida para el testigo en el rendimiento de materia seca fue significativamente inferior al resto de tratamientos, en los 2 años de estudio, por lo que se evidenció una respuesta positiva en los rendimientos de materia seca por parte de la mezcla forrajera a la fertilización con vinaza.

Por su parte, Pavón, 2010, en el segundo año de investigación, en continuación con los estudios realizados por Jaramillo, 2010, encontró que los mayores rendimientos de materia seca de la mezcla forrajera se produjeron con la dosis de 50 m³/ha/año de vinaza, la que alcanzó 12,90 t de materia seca, rendimientos inferiores a los obtenidos por Jaramillo en el año 1, atribuidos a las condiciones climáticas y características propias de la mezcla forrajera.

En la investigación realizada por Jaramillo, 2010, se indica que el mejor rendimiento de forraje fresco, se obtuvo con la dosis de 125 m³ vinaza/ha, correspondiente a 26,32 t/ha/año. Este tratamiento presentó alta disponibilidad de nutrientes en el suelo y mostró que la vinaza incorpora gran cantidad de N, Ca, S y K, pese a que la extracción de nutrientes, por parte de la mezcla forrajera, es elevada.

Jaramillo, 2010 y Pavón 2010, observaron que la fertilización en la mezcla forrajera con la dosis de 25 m³/ha/año de vinaza produjo la mayor eficiencia agronómica, es decir, con esta dosis por cada m³ que se aplica, se produce 0,28 toneladas más que los rendimientos obtenidos al no aplicar ningún tipo de fertilización, en el año 1; mientras que para el año 2, este incremento fue de 0,12 t como se muestra en Tabla 7.

Por esta razón, a más de no presentar diferencias estadísticas con la fertilización química en los rendimientos de forraje seco, los autores recomiendan la aplicación de la dosis de 25 m³/ha/año de vinaza para fertilización de pasturas.

Tabla 7. Eficiencia agronómica de la vinaza en dos años de aplicación

Dosis de vinaza m ³ /ha/año	t materia seca/m ³ vinaza	
	Año 1	Año 2
25	0,28	0,12
50	0,17	0,08
75	0,13	0,05
100	0,09	0,03
125	0,08	0,03

Fuente : Jaramillo, 2010 y Pavón, 2010

Jaramillo, 2010, en su estudio menciona que la aplicación de vinaza sobre la mezcla forrajera compuesta por gramíneas y leguminosas, no presentó variaciones en el pH, materia orgánica, macro y micronutrientes entre tratamientos, lo cual indica que existió una extracción de nutrientes por parte del pasto, especialmente de las leguminosas. Sin embargo, la vinaza no empobreció el contenido de nutrientes en el suelo. Todos los contenidos de nutrientes del suelo fueron altos, a excepción del Boro.

Mientras que Pavón, 2010, en el segundo año de estudio observó que al aumentar el rendimiento de materia seca en la pastura, también aumenta la extracción de macro y micronutrientes. El macronutriente que obtuvo mayor extracción en la mezcla forrajera fue el K, mientras que el S fue el elemento que presentó menor extracción.

En cuanto al contenido de nutrientes en el suelo, el N presentó incrementos debido a la aplicación de vinaza, a pesar de la extracción de este nutriente por parte de la planta. El contenido de K en el suelo se incrementó conforme aumentó el volumen de vinaza aplicado. La dosis de 25 m³/ha/año de vinaza cumplió con los requerimientos nutricionales de S, además, presentó incrementos en el contenido de este elemento en el suelo al igual que el K a medida que se

incrementaron las dosis de vinaza. Finalmente, Pavón, 2010, concluye que la aplicación de vinaza sobre una mezcla forrajera durante 2 años consecutivos en un Andisol, no produjo efectos en la densidad aparente, humedad gravimétrica y pH del suelo.

1.4.2 ESTUDIOS EN OTROS CULTIVOS

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar evaluó la aplicación de 5 niveles de vinaza (10, 30, 60, 90, 120 m³/ha/año de vinaza) durante un periodo de 4 años consecutivos, sobre caña de azúcar en un Andisol. Los resultados obtenidos indican que el rendimiento de caña aumento significativamente a medida que se incrementaron los niveles de vinaza. El mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 120 m³/ha/año de vinaza, la cual produjo un aumento en la producción del 13 % con relación al testigo (CENGICAÑA, 2009).

Además CENGICAÑA, 2009, menciona que las aplicaciones de vinaza durante un periodo de 4 años sobre un Andisol, provocaron un incremento en el contenido de K en el suelo, el mismo que fue 11 veces mayor al testigo. Se estimó que por cada kg de K₂O aplicado con la vinaza, el K intercambiable del suelo se incremento en 0,23 ppm. Mientras que la variación de la concentración de la MO, pH, Ca y Mg del suelo no tiene una relación definida.

Taday, 2009, en su investigación, sobre la repuesta del cultivo de arveja a la aplicación de niveles crecientes de vinaza, muestra incrementos en el contenido de N, P, S y K en el suelo, en comparación con el análisis de suelo inicial. Mientras que el Ca, Mg, Cu, Fe y Mn mantienen el contenido inicial, con pequeños incrementos numéricos en todos los tratamientos en los que se aplicó vinaza. El pH del suelo no presentó cambios significativos por la aplicación de la vinaza.

Adicionalmente, Taday, 2009, observó que la fertilización química, obtuvo valores más altos en altura de planta, número de vainas/planta, rendimiento de vainas, número de grano/vaina, peso de 100 vainas con grano y peso de grano de las 100

vainas en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, dentro de los tratamientos con vinaza, la dosis correspondiente a 25 m³/ha obtuvo los mejores resultados, con diferencias numéricas mínimas, no significativas estadísticamente, en relación con la fertilización química.

Por lo tanto, concluye que la aplicación de vinaza, en el cultivo de arveja, mejoró notablemente las características físicas, químicas y biológicas del suelo. El mayor porcentaje de humedad gravimétrica (17,14 %), se obtuvo al aplicar la dosis de 125 m³/ha de vinaza, mientras que el tratamiento químico y el testigo absoluto obtuvieron 15,59 % y 15,38 % respectivamente; existió incrementos en macro, micronutrientes y biomasa microbiana, de manera proporcional a la dosis aplicada (Taday, 2009).

Mora, 2010, evaluó el efecto de aplicación de vinaza en el cultivo de papa en un Molisol e indicó que en el suelo la residualidad de la fertilización con vinaza, se vio reflejada para K, al presentar 0,60 meq/100 ml con el testigo y 1,50 meq/100ml con 125 m³/ha de vinaza y para S el análisis final del suelo reportó 8,70 ppm el testigo y 23,80 ppm con 125 m³/ha de vinaza. No obstante, el efecto residual de la aplicación de P en forma química no fue superado por el aporte de P con la aplicación de vinaza. Además, se observó que la fertilización con vinaza favoreció a la acumulación de los nutrientes en cada tratamiento, es decir, mientras se aumentaron las dosis de vinaza, aumentó también la acumulación y disponibilidad de P, S y K en el suelo.

En la investigación realizada por Mora, 2010, se observó que el mayor rendimiento de tubérculos presentaron los tratamientos en los cuales se suministro riego y una dosis de 125m³/ha de vinaza, con lo que se alcanzó un rendimiento promedio de 56,96 t/ha; en tanto que, el menor rendimiento se obtuvo al no suministrar riego, ni vinaza, con un rendimiento de 21,70 t/ha. Además, indicó que la aplicación de vinaza por un periodo de 3 años, aumenta la conductividad eléctrica en el suelo, de manera proporcional a las dosis de vinaza aplicadas. Sin embargo, el reporte de análisis de suelo no reportó salinidad para

ninguna de las dosis de vinaza. La conductividad eléctrica más alta fue de 0,61 dS/m, mediante la aplicación de 375 m³/ha en 3 años.

Flores, 2009, en su investigación sobre la aplicación de vinaza en el cultivo de alfalfa, obtuvo datos que indican una mayor conductividad eléctrica a 23 cm de profundidad del suelo, la que disminuye conforme incrementa la profundidad, así como también mencionó que la conductividad eléctrica aumenta a medida que aumenta la dosis de vinaza, debido a que hay mayor concentración de iones (K⁺, Mg⁺², Na⁺ y Ca⁺²) y materia orgánica presente en la vinaza.

Narváez, 2008, estudió en invernadero, el efecto de la vinaza sobre la actividad de las enzimas fosfatasas, deshidrogenasas y la biomasa vegetal, en 2 tipos de suelos del Valle de Cauca (Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll) sembrados con maíz dulce (*Zea mays* L.). En ambos suelos, el pH y la relación (Ca+Mg)/K disminuyeron significativamente, mientras que los contenidos de K⁺ y B⁺ se incrementaron. En el Fluventic Haplustoll, el Na⁺ y el Fe se incrementaron sin alcanzar niveles tóxicos. En el Typic Argiudoll, se presentó significativamente mayor biomasa vegetal. Los resultados señalaron respuestas diferentes en función del tipo de suelo.

Brito y Rolim, 2005, encontraron que la adición de vinaza en el suelo disminuyó significativamente el pH de lixiviados en los primeros 30 días, pero a los 60 días dicho pH aumentó a niveles comparables con los de los testigos, lo cual se explica en la degradación intensa de la materia orgánica después de 30 días, lo que llevó a la liberación de electrones y redujo el oxígeno en el agua y, por tanto, disminuyó la concentración de hidrógeno.

2 METODOLOGÍA

2.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO ACUMULATIVO DE VINAZA EN UNA MEZCLA FORRAJERA

La presente investigación comprende el tercer año de estudio de aplicación de diferentes dosis de vinaza, como fuente de fertilización, sobre una mezcla forrajera, establecida hace 2 años, con las siguientes características.

2.1.1 LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

La investigación se realizó en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) perteneciente al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas y en la Unidad de Producción de Leche y Pastos, ubicada en el km 1 de la Panamericana Sur. La información de la localización geográfica del sitio experimental, se encuentra en la Tabla 8. Un mapa con la ubicación del ensayo se muestra en el Anexo I.

Tabla 8. Localización del ensayo

Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía
Parroquia	Cutuglagua
Altitud	3 069 m.s.n.m.
Latitud	0° 21' 39" S
Longitud	78° 33' 13" O

Fuente: INIAP, 2010

2.1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

La clasificación ecológica del sitio experimental corresponde a bosque muy húmedo montano (b.m.h.M.), ubicado entre los 2 200 a 3 100 m de altitud (Cañadas, 1983). Las condiciones climáticas se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Características climáticas del lugar del ensayo

Variables climáticas	Parámetros
Precipitación anual (mm)	1 400
Temperatura media anual (°C)	11,6
Humedad relativa anual (%)	79

Fuente: INAMHI, Estación Meteorológica Izobamba, 2009

2.1.3 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

En la Tabla 10, se presenta la clasificación taxonómica del sitio experimental y sus características físico químicas se encuentran en la Tabla 11.

Tabla 10. Clasificación taxonómica del suelo en estudio

Orden	Andisol
Suborden	Udands
Gran grupo	Hapludands
Subgrupo	Typic Hapludands

Fuente: INIAP, 2010

Tabla 11. Características del suelo al inicio del año primero

Elemento	Unidad	Valor	Interpretación
N	ppm	46,00	M
P	ppm	36,00	A
S	ppm	7,30	B
K	meq/100 mL	0,69	A
Ca	meq/100 mL	10,10	A
Mg	meq/100 mL	1,90	A
Zn	ppm	4,30	M
Cu	ppm	6,70	A
Fe	ppm	412,00	A
Mn	ppm	8,60	M
B	ppm	0,41	B
MO	%	9,30	A
pH		5,60	Lig. Ácido
Ca/Mg		5,30	
Mg/K		2,80	
(Ca + Mg)/K		17,40	
Textura		Franco limoso	

B =Bajo M=Medio A=Alto

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas. EESC. INIAP, 2008

2.1.4 FACTORES EN ESTUDIO

Se estudiaron 6 dosis de fertilización con vinaza: 0, 25, 50, 75, 100 y 125 m³/ha/año, más la fertilización química, durante un periodo de 3 años de investigación. Las cantidades de vinaza fueron establecidas con base en estudios anteriores, llevados a cabo por Jaramillo, 2010 y Pavón, 2010. En la Tabla 12, se detallan las cantidades de vinaza que se utilizó y la simbología para cada fertilización.

Tabla 12. Dosis de vinaza aplicadas por año

Simbología	Dosis de vinaza m ³ /ha/año
F1	0
F2	25
F3	50
F4	75
F5	100
F6	125
F7	Fertilización química (F.Q.)

En la Tabla 13, se indica la cantidad de nutrientes aplicados al suelo con las diferentes dosis de vinaza y con la fertilización química (F.Q.).

Tabla 13. Cantidad de nutrientes aplicados según la fertilización

Fert.	Vinaza m ³ /ha/año	kg/ha/año							g/ha/año				
		MO	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	25	250	70	143	35	177	67,5	18	3,50	1,85	37,60	21,60	3,30
F3	50	500	140	286	70	354	135	35	7,00	3,70	75,20	43,20	6,60
F4	75	750	210	429	105	531	203	53	10,50	5,55	112,80	64,80	9,90
F5	100	1 000	280	573	140	708	270	70	14,00	7,40	150,40	86,40	13,20
F6	125	1 250	350	716	175	885	338	88	17,50	9,25	188,00	108,00	16,50
F7	F.Q.	0	210	60	45	75	0	30	0	0	0	0	0

La Tabla 14 presenta la suma de las cantidades de los nutrientes aplicados según la fertilización, para los 3 años de investigación.

Tabla 14. Cantidad de nutrientes aplicados según la fertilización, en los tres años de investigación

Fert.	Vinaza m ³ /ha	kg/ha							g/ha				
		MO	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	75	750	210	429	105	531	202,5	54	10,50	5,50	112,80	64,80	9,90
F3	150	1500	420	858	210	1062	405	105	21,00	11,10	225,60	129,60	19,80
F4	225	2250	630	1287	315	1593	609	159	31,50	16,60	338,40	194,40	29,70
F5	300	3000	840	1719	420	2124	810	210	42,00	22,20	451,20	259,20	39,60
F6	375	3750	1050	2148	525	2655	1014	264	52,50	27,70	564,00	324,00	49,50
F7	Químico	0	435	160	30	105	0	52	10,50	5,50	112,80	64,80	9,90

En la Tabla 15, se expone la fertilización química aplicada en los 3 años de estudio.

Tabla 15. Fertilización química aplicada en tres años

Elemento	Fertilización química kg/ha			Total de fertilizante kg/ha
	Año	Año	Año	
	1	2	3	
N	100	125	210	435
P ₂ O ₅	40	60	60	160
K ₂ O	30	30	75	135
S	30	30	45	105
Mg	11	11	30	52

2.1.5 MANEJO DE LA VINAZA Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA

2.1.5.1 Corte del pasto

Debido a que la investigación se realizó en una pradera establecida, compuesta por rye grass anual, rye grass perenne, pasto azul, trébol rojo y trébol blanco, se

realizó el corte del pasto con maquinaria agrícola, a una altura de 10 cm, para igualar la altura de la mezcla y obtener un crecimiento homogéneo en cada parcela, antes de realizar la aplicación de la vinaza. Se realizó un total de 7 cortes al año con intervalos de 35 a 40 días.

2.1.5.2 Aplicación de vinaza

La vinaza se aplicó al día siguiente de realizado el corte del pasto (cada 35 a 40 días). La cantidad de vinaza a ser aplicada, se midió en baldes graduados. Posteriormente, se regó la parcela total con la ayuda de mangueras, por gravedad. Las dosis de vinaza se aplicaron en las mismas cantidades y sobre las mismas parcelas de los 2 años anteriores de estudio.

En la Tabla 16, se presentan las cantidades de vinaza y agua que se aplicaron a cada uno de los tratamientos, incluido el tratamiento con fertilizante químico (F.Q.). La cantidad total de vinaza para cada tratamiento se dividió para 7 aplicaciones.

Tabla 16. Aplicación de vinaza según la fertilización

Fertilización	Vinaza				Compensación de agua (L)
	m ³ /ha/año	L/ha/año	L/año/parcela 24 m ²	L/aplicación/parcela 24 m ²	
F1	0	0	0	0	42,8
F2	25	25 000	60	8,6	34,2
F3	50	50 000	120	17,2	25,7
F4	75	75 000	180	25,7	17,2
F5	100	100 000	240	34,2	8,6
F6	125	125 000	300	42,8	0,0
F7	F.Q.				42,8
Total/año/repetición			900	128,5	
Total/año/riego/aplicación			3 600	514	

2.1.5.3 Fertilización química

La fertilización química se realizó con base en los resultados del análisis químico del suelo y se aplicó únicamente a la fertilización F7 de cada repetición, al día siguiente de realizado el corte del pasto. Se realizó una fertilización nitrogenada y una completa y se usó como fuente mineral úrea, 18-46-0, muriato de potasio y sulpomag. La aplicación nitrogenada se efectuó en todos los cortes, mientras que la fertilización completa se fraccionó para ser aplicada en el primero, cuarto y sexto corte, como se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Fraccionamiento de nutrientes para la fertilización química

Nº corte	Tipo de fertilización	kg/ha				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg
Corte 1	Completa	30	15	15	5	10
Corte 2	Nitrogenada	30				
Corte 3	Nitrogenada	30				
Corte 4	Completa	30	25	30	20	10
Corte 5	Nitrogenada	30				
Corte 6	Completa	30	20	30	20	10
Corte 7	Nitrogenada	30				
Total anual		210	60	75	45	30

2.1.6 VARIABLES DE EVALUACIÓN EN LA MEZCLA FORRAJERA

El muestreo para la evaluación de las variables en la mezcla forrajera se realizó un día antes del corte del pasto de la siguiente manera:

2.1.6.1 Rendimiento de forraje fresco

Se cortó la mezcla forrajera en la parcela neta (3 m²) de cada unidad experimental, con intervalos de 35 a 40 días. Se determinó el peso de forraje fresco en kg/parcela neta y se transformó a t/ha, para determinar el rendimiento por corte. Para calcular el rendimiento de forraje fresco por año, se sumaron los rendimientos de todos los cortes y los resultados se reportaron en t/ha/año.

2.1.6.2 Composición botánica de la mezcla forrajera

En la parcela neta, en cada corte, se extrajo una muestra de 1 kg de forraje fresco para separar las especies de la mezcla forrajera (gramíneas, leguminosas y malezas), las cuales fueron pesadas y de acuerdo a sus pesos se determinó el porcentaje de las especies que conforman la mezcla forrajera en los tratamientos.

2.1.6.3 Rendimiento de materia seca

En cada corte, en la parcela neta, se recolectaron muestras de 150 a 200 g de las especies de la mezcla forrajera (gramíneas, leguminosas y malezas), las cuales fueron pesadas para obtener el peso fresco de cada especie y posteriormente fueron secadas en la estufa a 65 °C, hasta que registraron pesos constantes, para poder determinar el peso seco de la especie. Con los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de materia seca, con la fórmula [2.1], que se muestra a continuación:

$$MS = (PS / PF) \times 100 \quad [2.1]$$

Donde:

MS: Materia seca (%)

PF: Peso fresco (g)

PS: Peso seco (g)

El rendimiento de materia seca se calculó con la fórmula [2.2]:

$$RMS = (RFF \times MS) / 100 \quad [2.2]$$

Donde:

RMS: Rendimiento materia seca (t/ha)

RFF: Rendimiento forraje fresco (t/ha)

MS: Materia seca (%)

2.1.6.4 Extracción de nutrientes

Las muestras de gramíneas y leguminosas secadas en la estufa para la obtención de materia seca, fueron agrupadas de acuerdo a la fertilización y al tipo de especie, para ser molidas y tamizadas en una malla de 2 mm de diámetro, de cada corte se extrajo 10 g del material molido. Las muestras obtenidas en los 7 cortes, se unieron para formar una muestra compuesta de 70 g para cada especie según la fertilización, la cual fue homogenizada y llevada al laboratorio para realizar los análisis químicos de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe y Mn).

El contenido de macro y micronutrientes se determinó con la metodología de análisis foliar utilizada en el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP, la misma que se presenta en el Anexo II.

Con los resultados obtenidos de concentración de nutrientes en el tejido vegetal y rendimiento de materia seca de cada especie, se calculó la extracción de nutrientes. Los resultados se expresaron en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes. Para los cálculos de extracción de macronutrientes se aplicó la fórmula [2.3]:

$$EN = (RMS \times CN) / 100$$

[2.3]

Donde:

EN: Extracción de nutrientes (kg/ha)

RMS: Rendimiento de materia seca (kg/ha)

CN: Concentración de nutrientes del tejido vegetal (%)

Para la extracción de micronutrientes, los cálculos se realizaron con la fórmula [2.4]:

$$EN = (RMS \times CN) / 1000$$

[2.4]

Donde:

EN: Extracción de nutrientes (g)

RMS: Rendimiento de materia seca (kg)

CN: Concentración de nutrientes del tejido vegetal (ppm)

2.2 ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL SUELO AL TERCER AÑO

2.2.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

Al inicio y final de la investigación, se recolectaron 15 sub muestras de suelo por tratamiento, con la ayuda del barreno, a una profundidad de 0 a 10 cm. Se las identificó y procesó en el laboratorio para los análisis químicos de nutrientes, MO, CE y CIC, para determinar los cambios químicos ocurridos en el suelo, debido a la aplicación de diferentes niveles de vinaza.

El contenido de macronutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg), micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn), CE y CIC, presentes en el suelo, se determinó mediante la metodología establecida por el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP, la que se muestra en el Anexo III.

2.2.2 ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

La densidad aparente del suelo fue determinada al inicio y final del ensayo, a través del método del cilindro, descrito por Henríquez y Cabalceta, 1999. Para ello, se extrajeron muestras de suelo con el tomador de núcleos de suelo, a una profundidad de 0 a 10 cm, dentro de la parcela neta, para lo cual se introdujo el cilindro de muestreo en el tercio medio de cada profundidad. Estas muestras se

llevaron al laboratorio para registrar el peso fresco, luego se las colocó en la estufa Thelco modelo 28 (Illinois-EEUU), a 105 °C, durante 24 horas, para determinar el peso seco. Se aplicó la ecuación [2.5]:

$$Da = Mss / Vt \quad [2.5]$$

Donde:

Da: Densidad aparente (g/cm³)

Mss: Masa de suelo seco a 105 °C (g)

Vt: Volumen total (cm³)

Para determinar la humedad gravimétrica, se recolectaron muestras de suelo al inicio y al final de la evaluación, en la parcela neta de cada tratamiento. El muestreo se realizó con el tomador de núcleos de suelo a una profundidad de 0 a 10 cm, las muestras fueron pesadas y colocadas en la estufa a 105 °C por 24 horas, para la obtención de sus pesos secos. La determinación de la humedad se realizó con el método gravimétrico (Henríquez y Cabalceta, 1999).

Se expresó en porcentaje mediante la ecuación [2.6]:

$$Hg = ((PSH - PSS) / PSS) \times 100 \quad [2.6]$$

Donde:

Hg: Porcentaje de humedad gravimétrica del suelo (%)

PSH: Peso del suelo húmedo (g)

PSS: Peso del suelo seco (g)

2.2.3 ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUELOS

Se midió la cantidad de CO₂ producido durante la incubación de las muestras de suelo en un sistema cerrado. El CO₂ fue atrapado en una solución de NaOH,

resultado de la respiración y descomposición de los microorganismos y fue titulada con HCl 1N (Reyes, 2009 y Horwath, 1994). Para determinar la biomasa microbiana del suelo, en los cortes primero y séptimo, se realizó el muestreo a 2 profundidades: de 0 a 7,5 cm y de 7,5 a 15 cm de profundidad.

El muestreo se lo realizó con el barreno de tubo. En cada unidad experimental, se recolectaron 15 sub muestras para cada profundidad. Las muestras fueron llevadas al laboratorio y se las analizó mediante el método de fumigación con cloroformo - incubación, propuesto por Horwath, 1994. Los datos se obtuvieron mediante la aplicación de la ecuación [2.7]:

$$\text{BMS} = \text{mg de C del CO}_2 / \text{g de SS}$$

[2.7]

Donde:

BMS: Biomasa microbiana del suelo (mg/g)

mg de C: mg de carbono

g de SS: g de suelo seco

2.3 ANÁLISIS COMBINADO DE RESULTADOS EN LOS TRES AÑOS

En el presente ensayo se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los 3 años de estudio de aplicación de vinaza y fertilización química. Para analizar y comparar la fertilización con los años de aplicación de vinaza, se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo factorial F x A.

Para el análisis combinado, el diseño con el arreglo factorial (F x A) del ensayo, obtenido a partir de las 7 fertilizaciones (0, 25, 50, 75, 100, 125 m³/ha/año de vinaza más la fertilización química) y 3 años de aplicación, permitió obtener para cada fertilización 3 resultados, los cuales fueron promediados. Con los promedios obtenidos se determinó la respuesta que generó cada fertilización en la que se

aplicó vinaza, en comparación con la fertilización F1 (sin fertilización) y la fertilización F7 (fertilización química), sobre las siguientes variables: rendimiento de forraje fresco; rendimiento de forraje seco; extracción de nutrientes para N, P, K, Ca, Mg y S; análisis químico de nutrientes; MO del suelo; densidad aparente; humedad gravimétrica y pH. El análisis de varianza respectivo se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Esquema del análisis de varianza para los tres años

Fuentes de Variación	G.L.
Total	83
Repeticiones	3
Años (A)	2
Error	6
Fertilizaciones (F)	6
F x A	12
Error	54

Además los resultados permitieron realizar el análisis de la evolución de los efectos de la aplicación de vinaza durante 3 años de estudio, lo que permitió observar el comportamiento de la vinaza en cada año de estudio.

En el Anexo IV, se muestra el mapa de la disposición del ensayo. Las características del experimento fueron las siguientes:

- Área total del ensayo: 1 110 m²
- Área neta del ensayo: 672 m²
- Área de la unidad experimental: 24 m² (6 m x 4 m)
- Área de la parcela neta: 3 m² (1 m x 3 m)
- Número de unidades experimentales: 28
- Número de repeticiones: 4
- Número de fertilizaciones: 7

El resto de variables, debido a que se evaluaron únicamente en el tercer año, se analizaron estadísticamente mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar

(DBCA) con 7 tratamientos y 4 repeticiones. El esquema del análisis de varianza (ADEVA) se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Esquema del análisis de varianza para el tercer año

Fuentes de Variación	G.L.
Total	27
Fertilizaciones	6
Bloques	3
Error	18

Se determinó el coeficiente de variación (CV), que es una medida relativa de variabilidad, utilizada para medir el grado de precisión del diseño y de la conducción del experimento. Mediante el CV se verifica si el proceso investigativo fue realizado correctamente.

Debido a la respuesta agronómica de los cultivos a una aplicación heterogénea de un fertilizante, la interpretación del valor del CV obtenido se basa en rangos previamente determinados, que varían según se trate de ensayos de laboratorio o pruebas de campo. Generalmente, para estudios en campo se consideran valores aceptables de 15 a 25 %, mientras que para laboratorio de 0 a 15 % (González, 1985).

Para las fuentes de variación de interés que presentaron significación estadística, se realizó la prueba de Tukey al 5 %, usada para realizar comparaciones múltiples entre medias de tratamientos (González, 1985).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LA PLANTA

3.1.1 RENDIMIENTO DE FORRAJE FRESCO DE LA MEZCLA FORRAJERA

En la Tabla 20, se encuentra el análisis de varianza (ADEVA) para el rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, la cual indica que existe una alta diferencia significativa en los años de aplicación, fertilización y en la interacción años por fertilización de vinaza en la mezcla forrajera. Además, el coeficiente de variación es de 6,24 %, valor que valida el proceso investigativo.

Tabla 20. ADEVA para rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fuentes de Variación	SC	GL	CM	F	Interpretación
Repeticiones (4)	3745,88	3	1248,63		
Años (3)	94632,73	2	47316,37	616,82	**
Error	460,27	6	76,71		
Fertilización (7)	15650,45	6	2608,41	78,66	**
Años (3)*Fertilización (7)	2637,86	12	219,82	6,63	**
Error	1790,60	54	33,16		
Total	118917,79	83			
CV (%)	6,24				

**Significación estadística al 1%

En la Tabla 21, se observa que en los 3 años, la fertilización F1 (sin fertilización) tiene los rendimientos más bajos, con base en lo cual se afirma que la aplicación de vinaza es favorable para el rendimiento del cultivo en cada año. En el año 1 la fertilización F5 (125 m³/ha/año de vinaza) produjo el mayor rendimiento de materia fresca para las fertilizaciones con vinaza, la cual superó en 40,45 % el rendimientos obtenido con la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que la fertilización química (F7) superó en 39,55 % el rendimiento alcanzado con la fertilización F1.

Tabla 21. Rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(t/ha)					
	Año1		Año 2		Año 3	
F1	91,04	B	49,17	FG	41,13	G
F2	139,50	A	72,88	CD	56,42	EF
F3	142,33	A	79,33	BCD	64,82	DE
F4	147,45	A	80,04	BCD	64,88	DE
F5	152,87	A	78,17	BCD	68,83	CDE
F6	152,34	A	79,67	BCD	67,88	CDE
F7	150,60	A	78,50	BCD	81,63	BC

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores, según la prueba de Tukey al 5 %

En el año 2 la fertilización F4 (75 m³/ha/año de vinaza) obtuvo el mayor rendimiento de forraje fresco para este año, la cual superó en 38,57 % los rendimientos de la fertilización F1, mientras que la fertilización química superó en 37,34 % los rendimientos de materia fresca producidos con la F1.

La fertilización química en el año 3 superó en 49,64 % el rendimiento de la fertilización F1, el mayor rendimiento obtenido con la aplicación de vinaza se produjo con la fertilización F5 (100 m³/ha/año de vinaza), la que superó en 40,24 % los rendimientos de materia fresca alcanzados con la fertilización F1.

Para el año 3 el mayor rendimiento de forraje fresco se produjo con la fertilización química, a diferencia de los años anteriores en los cuales la fertilización con vinaza generó los mayores rendimientos de forraje fresco, debido a un incremento realizado en la cantidad de nutrientes que se aplicó con la fertilización química, con base en el análisis de suelo inicial del año 3.

En la Figura 3, se indican los promedios anuales del rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera para cada fertilización, así como también los rangos estadísticos según la prueba de Tukey al 5 % (letras a, b, c).

Al realizar el análisis de los promedios anuales que se muestran en la Figura 3, se observa que el mayor rendimiento promedio anual de materia fresca, se obtuvo en

el año 1 con un rendimiento de 139,45 t/ha, el cual superó en 46,95 % al año 2 y en 54,34 % al año 3. Las diferencias en los rendimientos de materia fresca entre años, fueron generadas por la composición de la mezcla forrajera, la cual estuvo compuesta por el rye grass anual, cuyos rendimientos de materia fresca son altos en los primeros años de establecimiento de la pradera, para luego desaparecer y dar paso al crecimiento de las especies perennes como el pasto azul y rye grass perenne que poseen rendimientos de materia fresca inferiores (Bernal y Espinosa, 2003).

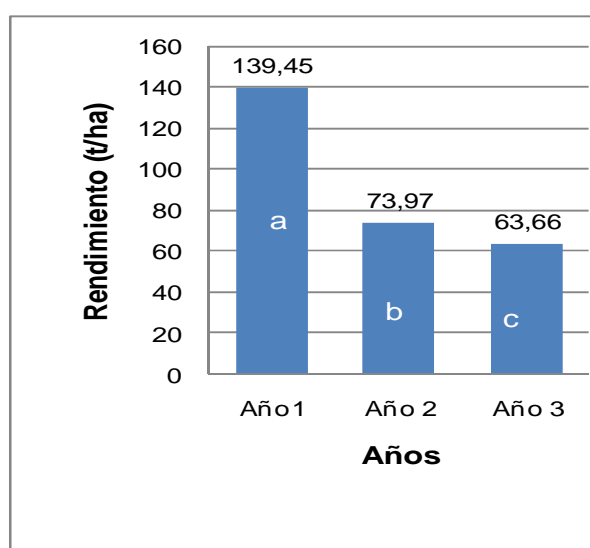


Figura 3. Promedio anual de rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza y prueba de Tukey al 5 %

En la figura 4, se exponen los rendimientos promedios de materia fresca de los 3 años de estudio, según la fertilización agrupados mediante la prueba de Tukey al 5 %. El rango primero (a) se ubicó con la fertilización F7 (fertilización química) la cual superó en 41,63 % los rendimientos obtenidos con la fertilización F1 (sin fertilización).

Los mayores rendimientos obtenidos a través de la fertilización con vinaza se produjeron con las fertilizaciones F5 (100 m³/ha/año de vinaza) y F6 (125 m³/ha/año de vinaza), las cuales superaron en 39,53 % a los rendimientos obtenidos con la fertilización F1 (sin fertilización), que se ubicó en el último rango estadístico (d). La fertilización con vinaza generó una respuesta positiva en el

rendimiento de forraje fresco al superar el rendimiento de materia fresca producido con la fertilización F1 (sin fertilización).

También se observa una tendencia creciente en el rendimiento de materia fresca hasta la fertilización F3 (50 m³/ha/año de vinaza), a partir de la cual los rendimientos se mantienen con incrementos no significativos a medida que se incrementan los niveles de vinaza en la fertilización.

Además se observa que a partir de la fertilización F4 (75 m³/ha/año de vinaza) los rendimientos de materia fresca comparten el mismo rango estadístico con la fertilización química (F7), sin embargo las fertilizaciones F2 (25 m³/ha/año de vinaza) y F3 (50 m³/ha/año de vinaza), se ubicaron en menor rango estadístico, por lo que se puede mencionar que en la fertilización con vinaza para las dosis bajas necesita la complementación de fertilizantes químicos para asegurar mayor rendimiento de forraje fresco.

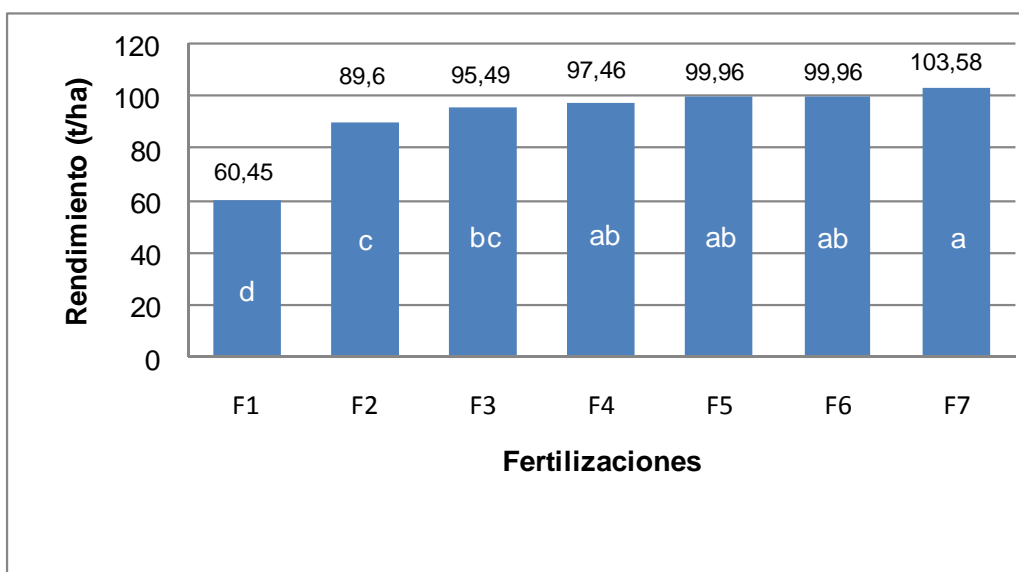


Figura 4. Rendimientos promedios de materia fresca de la mezcla forrajera, según la fertilización y prueba de Tukey al 5 %, en tres años de aplicación de vinaza

Lo mencionado anteriormente corrobora lo descrito por Gómez, 1996 y Pande, 1994, citado por Arafat y Yanssen, 2002, quienes reportaron aumentos significativos en el rendimiento de trigo, caña de azúcar y garbanzo, con el uso de vinaza.

En la Figura 5, se observa que existe una modificación en la tendencia de la fertilización en los años, especialmente con la fertilización química (F7), cuyos rendimientos de materia fresca fluctúan en el año 3 con respecto al año 2, debido a incrementos en el contenido de nutrientes aplicado con la fertilización química en el año 3.

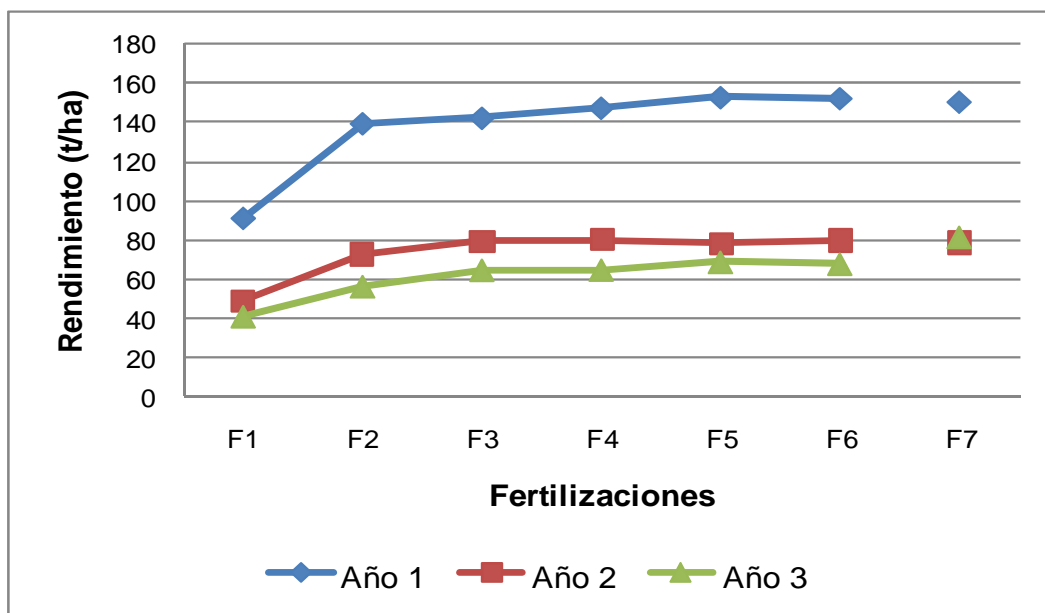


Figura 5. Rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza

Para las fertilizaciones con vinaza se muestra en la Figura 5, una variación de la tendencia en los años. En el año 1 se observa que la tendencia es creciente en el rendimiento de materia fresca por efecto de aplicación de niveles crecientes de vinaza, hasta la fertilización F5 (100 m³/ha/año de vinaza), a partir de esta fertilización, los rendimientos se mantienen a medida que se aumenta los niveles de vinaza. Para los años 2 y 3 existe una tendencia creciente en los rendimientos hasta la fertilización F3 (50 m³/ha/año de vinaza), luego de esta los rendimientos se mantiene hasta la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza).

Estas variaciones obtenidas a partir del año 2, se pueden atribuir a un exceso de K en el suelo por efecto acumulativo de la aplicación de este elemento a través de la fertilización con vinaza, que generó un desbalance en la absorción de elementos (Ca y Mg) por parte de la mezcla forrajera, a partir de la fertilización F4

(75 m³/ha/año de vinaza) que se vio reflejado en los rendimientos de materia fresca.

3.1.1.1 Rendimiento de forraje fresco de gramíneas

Con el objeto de analizar el comportamiento individual de las especies de la mezcla forrajera, comprendida por gramíneas y leguminosas, se presenta en la Tabla 22, el ADEVA para el rendimiento de materia fresca en gramíneas, el cual detectó significación estadística para los años, fertilización e interacción años por fertilización, mientras que el coeficiente de variación (10,93 %) se mantuvo en el rango permitido para investigaciones de campo, lo que valida el proceso de la investigación.

Tabla 22. ADEVA para rendimiento de materia fresca en tres años de aplicación de vinaza, para gramíneas

F.V.	SC	GL	CM	F	
Repeticiones (4)	1527,50	3	509,17		
Años (3)	9086,39	2	4543,19	77,08	**
Error	353,64	6	58,94		
Fertilización (7)	10519,09	6	1753,18	48,94	**
Años (3)*fertilización (7)	1361,33	12	113,44	3,17	**
Error	1934,45	54	35,82		
Total	24782,39	83			
CV (%)	10,93				

**Significación estadística al 1 %

En la Tabla 23, se encuentran resultados de los rendimientos de forraje fresco de gramíneas, en los 3 años de aplicación de vinaza y los rangos estadísticos según la prueba de Tukey al 5% para los promedios anuales; promedios por fertilización y para los rendimientos obtenidos según la fertilización en los 3 años de estudio.

Además se observa en la Tabla 23 que los menores rendimientos de materia fresca para las gramíneas en los 3 años de estudio, se produjo con la fertilización F1 (sin fertilización), lo que indica una respuesta favorable por parte de la mezcla forrajera a la aplicación de vinaza durante los 3 años de evaluación. También se

muestra una tendencia creciente en el rendimiento de materia fresca de las gramíneas, conforme se incrementa los niveles de vinaza para los 3 años.

Tabla 23. Rendimiento de materia fresca de gramíneas en la mezcla forrajera, en los tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(t/ha)			Promedio por fertilización
	Año 1	Año 2	Año 3	
F1 ³	36,95 HIJ ³	24,90 J ³	30,59 IJ ³	30,81 e²
F2 ³	62,57 BCDE ³	40,27 GHIJ ³	41,31 GHI ³	48,05 d²
F3 ³	68,20 ABCD ³	47,42 EFGH ³	51,30 EFGH ³	55,64 c²
F4 ³	71,42 ABC ³	46,88 EFGH ³	53,38 DEFG ³	57,23 bc²
F5 ³	81,05 A ³	46,82 EFGH ³	57,95 CDEF ³	61,94 abc²
F6 ³	83,10 A ³	53,35 DEFG ³	58,21 CDEF ³	64,89 a²
F7 ³	77,40 AB ³	46,21 FGHI ³	70,32 ABC ³	64,65 ab²
Promedio anual	68,67 a¹	43,69 c¹	51,87 b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

En los años 1 y 2 la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) presentó el mayor rendimiento de forraje fresco de gramíneas, la cual superó en 55,54 % y en 53,33 % los rendimientos producidos con la fertilización F1 (sin fertilización) en el año 1 y en el año 2 respectivamente.

En el año 3, la fertilización química (F7) produjo el mayor rendimiento de forraje fresco de gramíneas la que superó en 56,50 % el rendimiento producido con la fertilización F1 debido a un aumento en la disponibilidad de nutrientes generada por el incremento de la cantidad de fertilizante químico aplicado, para este año el mayor rendimiento alcanzado a través de la fertilización con vinaza se produjo con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza), la cual superó en 47,44 % lo rendimientos obtenidos con la fertilización F1 (sin fertilización).

En la Tabla 21, se observa que el mayor promedio anual de rendimiento de materia fresca, se alcanzó en el año 1 con 68,67 t/ha, el cual superó en 36,37 % al año 2 y en 24,55 % al año 3, este último a su vez fue superior en 15,77 % al

año 2 que se ubicó en el último rango. Esto se debe a que en la pradera las gramíneas anuales desaparecieron y las perennes (pasto azul y rye grass perenne) comenzaron a tomar posición en el año 2 y se establecieron mejor en el año 3.

En los promedios por fertilización que se indican en la Tabla 23, se observa que el mayor promedio de materia fresca obtenido durante los 3 años se produjo con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) con un rendimiento de 64,65 t/ha, que superó en 52,51 % a la fertilización F1 (sin fertilización), la que a su vez ocupó el último rango estadístico (e) con un rendimiento de 30,81 t/ha. Las dosis de vinaza 100 y 125 m³/ha/año de vinaza compartieron el mismo rango estadístico que la fertilización química. Todas las fertilizaciones superaron a la fertilización F1, lo que indica que la vinaza aplicada fue aprovechada por las gramíneas.

3.1.1.2 Rendimiento de forraje fresco de leguminosas

El ADEVA para el rendimiento de forraje fresco de leguminosas se muestra en la Tabla 24. Indica alta significación para los años y la fertilización, mientras que para la interacción años por fertilización no existe diferencia estadística. El coeficiente de variación señala un valor de 14,6 %, el cual se encuentra en un rango aceptable para investigaciones de campo y valida el proceso.

Tabla 24. ADEVA para rendimiento de materia fresca para leguminosas, en los tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GL	CM	F	
Repeticiones(4)	806,94	3	268,98		
Años (3)	51016,09	2	25508,04	1195,88	**
Error	127,96	6	21,33		
Fertilización (7)	1178,93	6	196,49	6,74	**
Años(3)*fertilización (7)	633,43	12	52,79	1,81	ns
Error	1573,51	54	29,14		
Total	55336,86	83			
CV (%)	14,60				

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

En la Tabla 25, se presentan los promedios de rendimientos de forraje fresco para las especies leguminosas y los rangos de clasificación según la prueba de Tukey al 5 %, para los factores que el ADEVA reportó significación estadística en los 3 años de aplicación de vinaza.

Tabla 25. Rendimiento de materia fresca de leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(t/ha)			Promedio por fertilización ²
	Año1	Año 2	Año 3	
F1	53,47	23,76	9,76	29,00 b ²
F2	76,40	32,54	14,62	41,19 a ²
F3	73,59	31,11	12,56	39,09 a ²
F4	74,42	32,69	10,42	39,18 a ²
F5	71,33	31,18	9,70	37,40 a ²
F6	68,85	26,10	9,03	34,66 ab ²
F7	72,52	31,90	10,69	38,37 a ²
Promedio anual	70,08 a ¹	29,90 b ¹	10,97 c ¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey
¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

En la Tabla 25, se observa que las especies leguminosas tienen una mejor respuesta en el rendimiento de materia fresca a la aplicación de dosis bajas de vinaza en los años de estudio. En el año 1 el mayor rendimiento de forraje fresco para las leguminosas se obtuvo con la fertilización F2 (25 m³/ha/año de vinaza), la cual superó en 30,01 % a los rendimientos producidos con la fertilización F1 (sin fertilización), para el año 2 los mayores rendimientos se produjeron con la fertilización F4 (75 m³/ha/año de vinaza), que superó en 27,31 % el rendimiento de materia fresca alcanzado con la fertilización F1.

Finalmente para el año 3 los mayores rendimientos de forraje fresco se produjo con la fertilización F2 (25 m³/ha/año de vinaza), la que superó en 33, 24 % los rendimientos obtenidos con la fertilización F1. También se observa en el año 3, que los rendimientos obtenidos con las fertilizaciones F5 y F6 son menores que el rendimiento de materia fresca producido con la fertilización F1, esto se puede

atribuir a un alto contenido de K en el suelo debido a las aplicaciones con dosis altas de vinaza, que provocó problemas de absorción de Ca y Mg, por parte de las leguminosas.

En la Tabla 25 se muestra que el mayor rendimiento promedio anual de materia fresca para las leguminosas se produjo en el año 1 el cual superó en 57,33 % al año 2 y en 84,34 % al año 3. En segundo rango (b) se ubicó el año 2 el cual superó en 63,31 % los rendimientos de materia fresca del año 3 el cual obtuvo el último rango (c). Estas diferencias marcadas se produjeron porque las leguminosas perdieron posicionamiento frente a las gramíneas perennes que comenzaron a establecerse en el año 2 y dominaron la pradera en el año 3.

Los rendimientos promedios por fertilización para el rendimiento de materia fresca de leguminosas, los cuales se muestran en la Tabla 25, comparten el mismo rango estadístico (a), a excepción de la fertilización F1 (sin fertilización) que posee el último rango (b). Se observa que la dosis más baja de vinaza (25 m³/ha/año) obtuvo los mayores rendimientos de materia fresca para las fertilizaciones con vinaza, la cual superó en 29,60 % el rendimiento de materia fresca producido con fertilización F1, mientras que la fertilización química superó en 24,42 % el rendimiento de materia fresca obtenido con la fertilización F1. Por lo que se puede mencionar que existe una respuesta positiva en los rendimientos de materia fresca de las leguminosas a la aplicación de vinaza.

Además, se observa en la Tabla 25, una tendencia numéricamente decreciente para los rendimientos promedios de 3 años según la fertilización, a medida que se incrementó la dosis de vinaza. Se produjo el mismo efecto en los rendimientos por año.

Esto se debe a que las especies gramíneas son más favorecidas que las leguminosas, al tener un aporte externo de nutrientes, provenientes de la vinaza, que concuerda con lo descrito por Bernal y Espinosa, 2003, quienes mencionan que las especies forrajeras en particular las gramíneas responden muy bien a la fertilización especialmente a la nitrogenada

3.1.2 COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA MEZCLA FORRAJERA

En la Figura 6, se muestra que el porcentaje de participación en la mezcla forrajera, de las especies gramíneas aumenta con los años, esto se debe a características propias de las especies que se usaron en el ensayo. Bernal, 2005 y Canals *et al.*, 2009, mencionan que en terrenos ricos en N y de pH ligeramente ácido, el rye grass perenne se desarrolla profusamente y puede dominar la mezcla forrajera, mientras que el pasto azul, como consecuencia de su escasa agresividad inicial permite el crecimiento de otras especies durante el primer año; no obstante, con el paso del tiempo, puede dominar la mezcla forrajera, lo que se evidencia en el tercer año de la presente investigación.

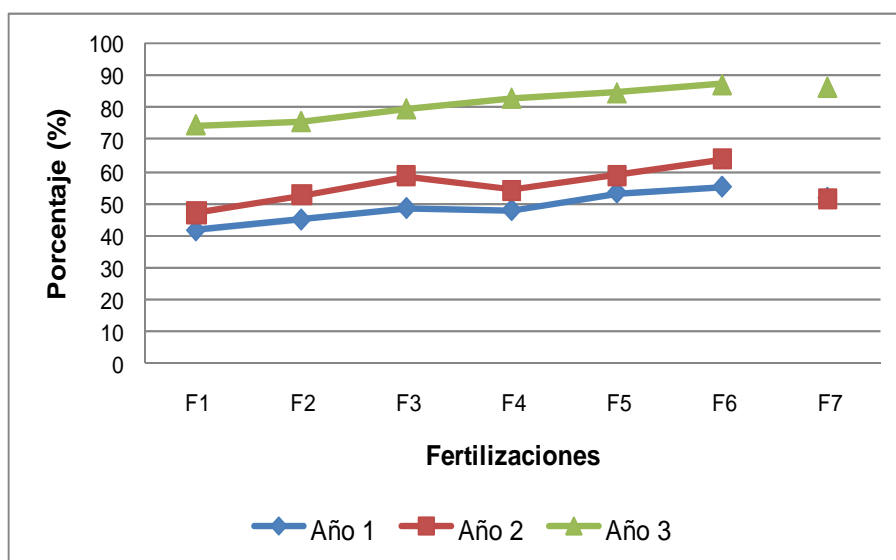


Figura 6. Evolución de la composición botánica de las gramíneas, en tres años de aplicación de vinaza

Además, se observa una tendencia creciente en el porcentaje de participación de las gramíneas en la mezcla forrajera, a medida que se incrementan los niveles de vinaza en la fertilización, con base en lo que se puede afirmar que el aporte de los nutrientes provenientes de la vinaza es favorable para el crecimiento de las gramíneas, durante los 3 años de estudio.

El comportamiento de las leguminosas se indica en la Figura 7. Se presenta una disminución de esta especie en el porcentaje de participación de la mezcla

forrajera con los años, debido a lo mencionado anteriormente sobre el posicionamiento dominante que poseen las gramíneas perennes sembradas. Además, se observa una tendencia decreciente en el porcentaje de participación por parte de las leguminosas, a medida que se incrementaron los niveles de vinaza, por lo que se puede indicar que los nutrientes aportados por la vinaza, como el caso del nitrógeno, no favorecen al crecimiento de las leguminosas.

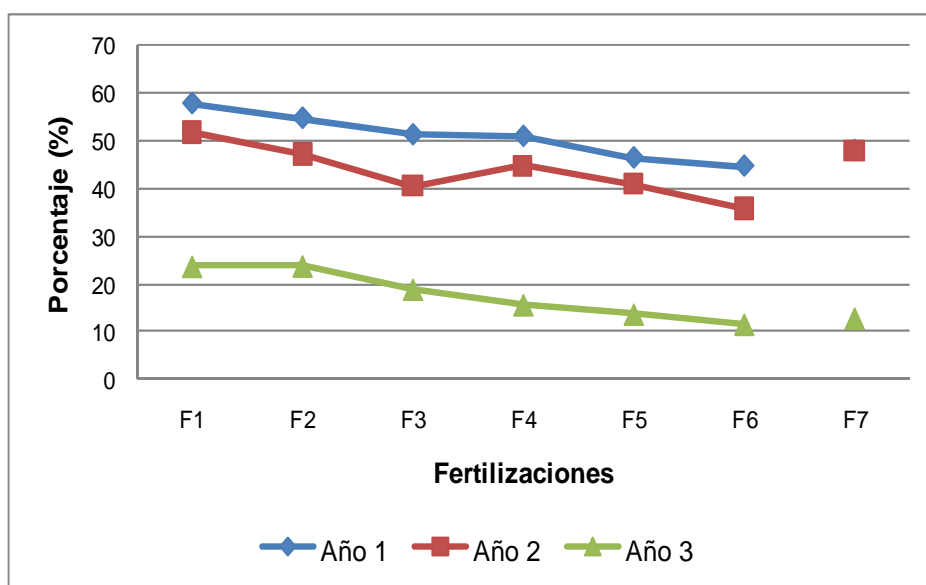


Figura 7. Evolución de la composición botánica de las leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza

Bernal y Espinosa, 2003, mencionan que las leguminosas reducen su porcentaje de participación en mezclas forrajeras al hacer aplicaciones altas de N, lo que tiende a favorecer un crecimiento rápido de las gramíneas.

3.1.3 RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

El análisis de varianza para el rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera que se muestra en la Tabla 26, indica una alta significación estadística para las fertilizaciones, los años y la interacción años por fertilización.

El coeficiente de variación obtenido fue de 8,13 %, que está en el rango permitido para investigación en campo y valida el proceso.

Tabla 26. ADEVA para rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F
Repeticiones (4)	23,04	3	7,68	
Años (3)	2416,36	2	1208,18	1196,22 **
Error	6,08	6	1,01	
Fertilización (7)	393,28	6	65,55	37,91 **
Años(3)*fertilización (7)	102,65	12	8,55	4,95 **
Error	93,37	54	1,73	
Total	3034,78	83		
CV (%)	8,13			

**Significación estadística al 1 %

En la Tabla 27, se indican los resultados obtenidos en el rendimiento de materia seca para la mezcla forrajera según la fertilización y los años, así como los rangos estadísticos, según la prueba de Tukey al 5 % para los rendimientos de materia seca de la mezcla forrajera en los 3 años de estudio.

Tabla 27. Rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(t/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
F1	15,78 BC	8,80 F	9,24 EF
F2	22,87 A	11,81 DEF	11,50 DEF
F3	24,18 A	13,03 BCD	12,97 BCD
F4	25,89 A	12,65 CDE	12,33 CDE
F5	25,15 A	12,23 DEF	13,53 BCD
F6	26,28 A	12,93 BCD	13,56 BCD
F7	26,16 A	12,51 CDE	16,32 B

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores, según la prueba de Tukey al 5 %

Se observa en la Tabla 27 una respuesta positiva en el rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera a la fertilización con vinaza, al superar en los 3 años, los rendimientos de materia seca producidos con la fertilización F1 (sin fertilizar). Además, se observa que para el año 1 el mayor rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera se obtuvo con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza), que superó en 39,95 % al rendimientos alcanzado con la fertilización F1, mientras

que la fertilización química (F7) superó en 36,68 % al rendimiento de materia seca obtenido con la fertilización F1. En el año 2 el mayor rendimiento de materia seca se produce con la fertilización F3 (50 m³/ha/año de vinaza), que superó en 32,42 % el rendimiento de materia seca producido con la fertilización F1, mientras que la fertilización química superó en 29,66 % el rendimiento alcanzado con la fertilización F1.

Para el año 3 la fertilización química obtuvo el mayor rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, debido a un incremento en las cantidades de fertilizante químico aplicado para este año, la fertilización química superó en 43,38 % los rendimientos de materia seca obtenidos con la fertilización F1. La mejor respuesta en el rendimiento de materia seca a través de la fertilización con vinaza, se produjo con la dosis de 125 m³/ha/año (F6), la que superó en 31,86 % los rendimientos alcanzados con la fertilización F1 (sin fertilización).

Los promedios anuales del rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera se muestran en la Figura 8. El mayor promedio anual en el rendimiento de materia seca ubicado en rango (a), se alcanzó en el año 1, el cual superó en 49,51 % y 46,23 % a los rendimientos producidos en el año 2 y el año 3 respectivamente, los cuales se ubicaron en el rango (b).

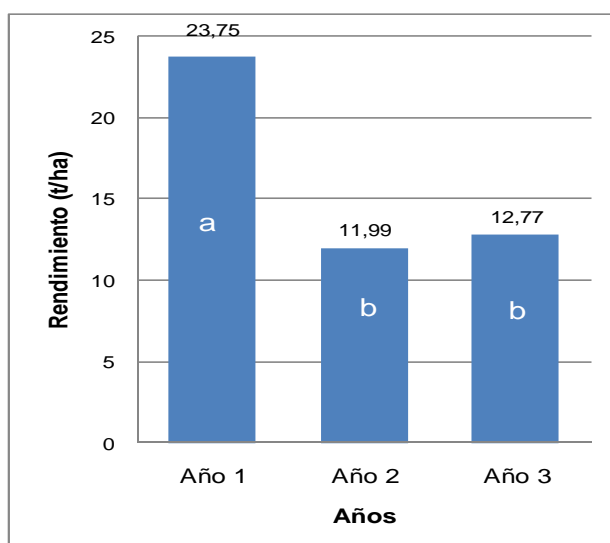


Figura 8. Promedio anual de rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza y prueba de Tukey al 5 %

Los mayores rendimientos de materia seca responden a características propias de la especie de gramínea anual usada, la cual presenta mayores contenidos de materia seca que las gramíneas perennes de la mezcla forrajera, lo que corrobora lo indicado por Bernal y Espinosa, 2003, quienes mencionan que el rye grass anual (gramínea anual) posee un rendimiento de materia seca superior al rye grass inglés y pasto azul (gramíneas perennes).

Cabe mencionar que a pesar de que el rendimiento de forraje fresco en el año 2 superó al rendimiento de forraje fresco del año 3 en el rendimiento de materia seca, los 2 comparten el mismo rango estadístico. Este comportamiento se debe a que en el año 3, el porcentaje de gramíneas fue mayor que el de leguminosas y los análisis del contenido de materia seca por especies mostraron que las gramíneas tienen mayor porcentaje de materia seca que las leguminosas, como se muestra en el Anexo V, lo que provocó este incremento de materia seca en el año 3.

En la Figura 9 se muestra el rendimiento promedio de materia seca de los 3 años de estudio según la fertilización y la prueba de Tukey al 5 % para la mezcla forrajera. Se observa que con las fertilizaciones F3 (50 m³/ha/año de vinaza), F4 (75 m³/ha/año de vinaza), F5 (100 m³/ha/año de vinaza), F6 (125 m³/ha/año de vinaza) se obtiene los mayores rendimientos de materia seca las cuales comparten el rango primero estadístico (a) en conjunto con la fertilización química.

El mayor rendimiento se obtuvo con la fertilización química, la que superó en 38,51 % a la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que el mayor rendimiento obtenido con la aplicación de vinaza, se produjo con la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza (F6) la que superó en 35,92 % a la fertilización F1. Estos resultados corroboran la información presentada por Jaramillo, 2010, en el primer año de investigación, en donde se atribuye la mejor fertilización a una dosis de 125 m³/ha de vinaza, para el rendimiento de forraje seco.

Además se observa incrementos en el rendimiento promedio de materia seca, para las fertilizaciones con vinaza en comparación con la fertilización F1, lo que

indica una respuesta favorable por parte de la mezcla forrajera, independientemente de la dosis de vinaza aplicada, en rendimiento de materia seca. Sin embargo para la fertilización F2 ($125 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ de vinaza), es necesario la complementación con fertilizante químico para alcanzar una mayor producción de materia seca de la mezcla forrajera.

Finalmente en la Figura 9, se observa una tendencia creciente en los rendimientos promedios de materia seca, hasta la dosis de $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ de vinaza (F3), a partir de la cual, la tendencia se mantiene con ligeros incrementos en el rendimiento, a medida que se incrementó la dosis de vinaza.

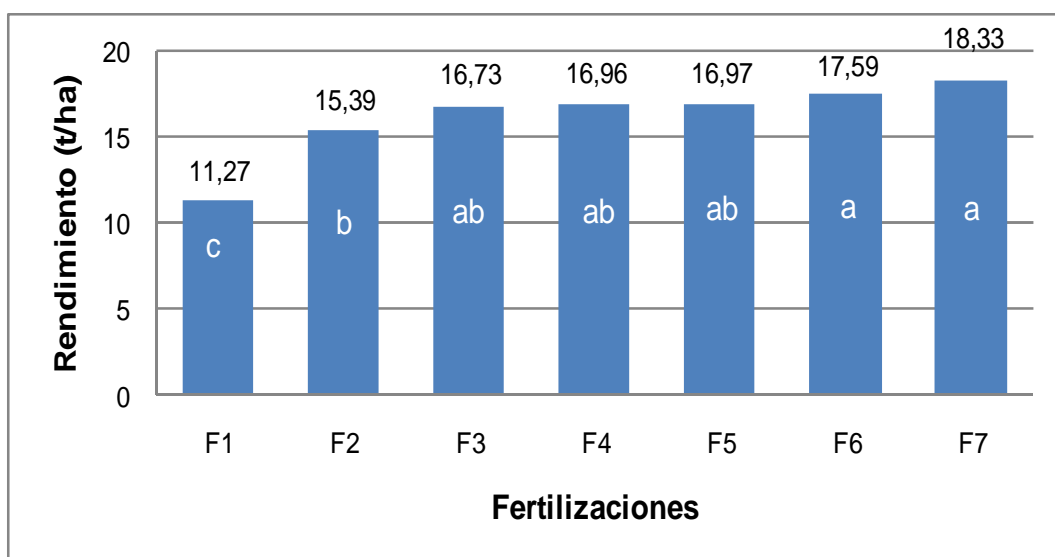


Figura 9. Rendimientos promedios de materia seca de la mezcla forrajera según la fertilización y prueba de Tukey al 5 %, en tres años de aplicación de vinaza

La Figura 10 presenta los rendimientos de materia seca de la mezcla forrajera en 3 años de aplicación de vinaza según la fertilización, se observa una variación en los años, de la tendencia creciente de los rendimientos de forraje seco, generada por las fertilizaciones con vinaza, en especial el año 1 con respecto a los 2 y 3.

Para el año 1 existe una tendencia creciente en los rendimientos de materia seca hasta la fertilización F4 ($75 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ de vinaza), luego de la cual los rendimientos se mantienen con ligeros incrementos a medida que se incrementaron los niveles de vinaza. En los años siguientes se observa una

tendencia creciente en el rendimiento de materia seca, pero menor que en el año 1, conforme se incrementan los niveles de vinaza en la fertilización hasta la dosis de 50 m³/ha/año de vinaza (F3), luego los rendimientos de materia seca se mantienen hasta la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza (F6).

Este cambio en la tendencia de los rendimientos de materia seca a través de los años, se las puede atribuir al efecto acumulativo de K en el suelo, que generó un aumento en el contenido de este elemento en el suelo, debido a la fertilización con vinaza, lo que produjo un desbalance en la absorción de elementos (Ca y Mg) por parte de la mezcla forrajera, lo que limitó el crecimiento de esta, a partir de la fertilización F4 (75 m³/ha/año de vinaza) en los años 2 y 3.

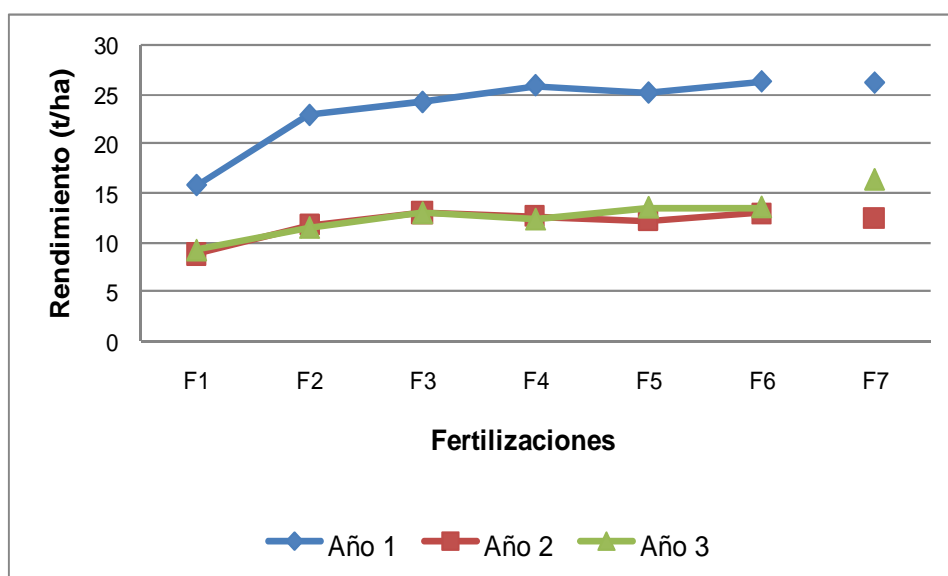


Figura 10. Rendimiento de materia seca de la mezcla forrajera según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza

3.1.3.1 Rendimiento de forraje seco de gramíneas

Para el estudio particular de las gramíneas, en la Tabla 28, se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca de esta especie, la cual indica una alta significación estadística para la interacción años por fertilización, fertilización y años. El coeficiente de variación fue de 11,97 %, lo que valida el proceso investigativo para esta variable.

Tabla 28. ADEVA para rendimiento de materia seca para gramíneas, en tres años de aplicación de vinaza

F. V.	SC	GI	CM	F	
Repeticiones (4)	13,33	3	4,44		
Años (3)	455,21	2	227,60	329,86	**
Error	4,16	6	0,69		
Fertilización (7)	289,57	6	48,26	31,04	**
Años (3)*fertilización (7)	60,47	12	5,04	3,24	**
Error	83,95	54	1,55		
Total	906,70	83			
CV (%)	11,97				

**Significación estadística al 1 %

En la Tabla 29, se presentan los resultados obtenidos del rendimiento de materia seca para las gramíneas, según la fertilización durante los 3 años de investigación y los rangos de significación según la prueba de Tukey al 5 % para los promedios anuales, promedios por fertilización y para los rendimientos según la fertilización en los 3 años de estudio.

Tabla 29. Rendimiento de materia seca de gramíneas en la mezcla forrajera, en los tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	t/ha			Promedio por fertilización
	Año 1	Año 2	Año 3	
F1	7,51 EFGH ³	4,70 H ³	7,35 FGH ³	6,52 d²
F2	11,94 BCD ³	6,85 GH ³	8,85 CDEFG ³	9,21 c²
F3	12,13 ABC ³	8,21 EFG ³	10,76 CDE ³	10,37 bc²
F4	14,75 AB ³	7,92 EFGH ³	10,53 CDEF ³	11,07 ab²
F5	14,94 AB ³	7,62 EFGH ³	11,84 BCD ³	11,47 ab²
F6	14,82 AB ³	8,76 DEFG ³	12,00 BCD ³	11,86 ab²
F7	15,37 A ³	7,69 EFGH ³	14,12 AB ³	12,39 a²
Promedio anual	13,07 a¹	7,39 c¹	10,78 b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey
¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización
³Tukey al 5 % para la fertilización por años

En la tabla 29 se observa en los 3 años que las fertilizaciones con vinaza tuvieron una respuesta positiva en el rendimiento de materia seca para las gramíneas al superar a la fertilización F1 (sin fertilización). En el año 1 el mayor rendimiento de

materia seca se produjo con la fertilización química (F7), la que superó en 51,14 % al rendimiento producido con la fertilización F1, mientras que el mayor rendimiento de materia seca producido a través de las fertilizaciones con vinaza se obtuvo con la dosis de 100 m³/ha/año (F5), la cual superó en 49,73 % al rendimiento de materia seca producido con la fertilización F1.

Para el año 2 el mayor rendimiento de materia seca de las gramíneas se alcanzó con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza), la que superó en 46,35 % el rendimiento de materia seca obtenido con la fertilización F1. En el año 3 el mayor rendimiento de forraje seco, se alcanzó con la fertilización química, debido al incremento en la cantidad de nutrientes en la fertilización química, la cual superó en 47,94 % a los rendimientos de materia seca obtenidos con la fertilización F1. La fertilización con vinaza que produjo el mayor rendimiento en el año 3 fue la F6, la que superó en 38,75 % los rendimientos alcanzados con la fertilización F1.

Los promedios anuales para el rendimiento de materia seca de gramíneas se muestran en la Tabla 29. Se observa que el mayor rendimiento de materia seca para las gramíneas, se produjo en el año 1 el cual superó en 43,45 % al rendimiento promedio anual 2 y en 17,52 % al rendimiento promedio anual del año 3. La diferencia entre años se debe a la presencia del rye grass anual en el año 1 el cual desapareció en el año 2 y causó una disminución en el rendimiento de materia seca a partir de este año.

En segundo rango (b) se ubicó el año 3 cuyo rendimiento promedio anual de materia seca superó en 31,44 % al rendimiento obtenidos en el año 2 ubicado en el último rango (c), se produce un incremento en el rendimiento promedio anual de materia seca del año 3 en comparación al año 2, debido a la presencia de gramíneas perennes que se posicionan en la pradera en el año 3, por el aporte de nutrientes provenientes de la fertilización con vinaza y fertilización química.

Para los promedios por fertilización para gramíneas los cuales se muestran en la Tabla 29, se observa que los mayores rendimientos se obtuvieron con las fertilizaciones F4 (75 m³/ha/año de vinaza), F5 (100 m³/ha/año de vinaza), F6

(125 m³/ha/año de vinaza) las cuales compartieron el primer rango estadístico (a) junto con la fertilización química (F7) la que superó en 47,37 % el promedio de rendimiento de materia seca obtenido con la fertilización F1 (sin fertilización), el mayor rendimiento promedio de materia seca obtenido a través de la fertilización con vinaza se produjo con la dosis de 125 m³/ha/año (F6), la que superó en 47,37 % al promedio de materia seca alcanzado con la fertilización F1.

La vinaza demostró ser una importante fuente de nutrientes para las gramíneas al superar el rendimiento promedio de materia seca producido con el testigo sin fertilización (F1) con todos los niveles de vinaza. Sin embargo, la fertilización con vinaza no superó numéricamente el rendimiento promedio de materia seca obtenido con la fertilización química, por lo que es necesario complementar con fertilización mineral, para alcanzar mayores rendimientos.

La Figura 11 muestra el rendimiento de materia seca para las gramíneas, según la fertilización en los 3 años de estudio y se observa un comportamiento diferente en la fertilización para cada año.

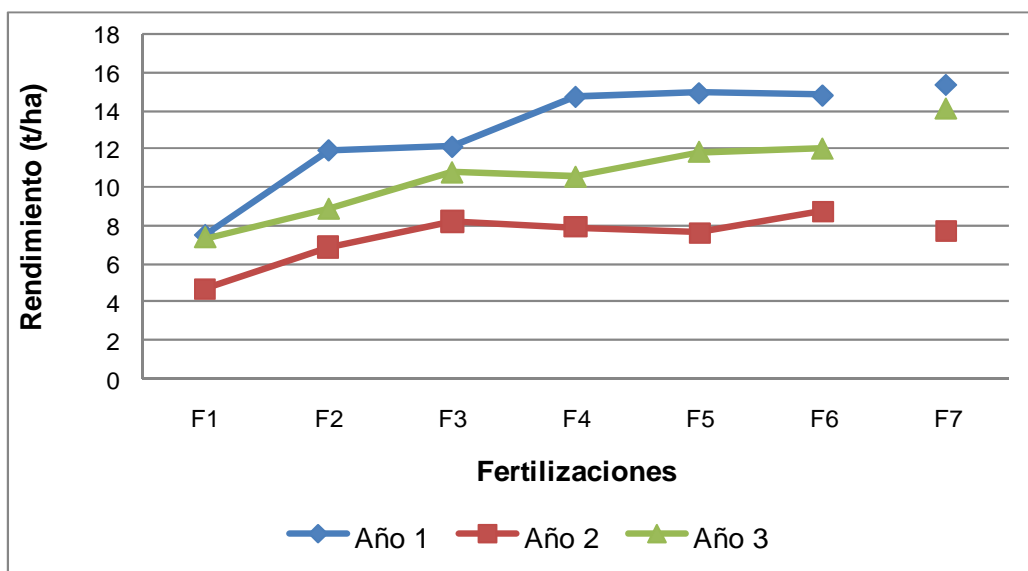


Figura 11. Rendimiento de materia seca de gramíneas según la fertilización, en tres años de aplicación de vinaza

Existe una tendencia creciente en los rendimientos de materia seca a medida que se incrementan los niveles de vinaza en la fertilización, hasta la fertilización F4 (75

m³/ha/año de vinaza) para el año 1; hasta la fertilización F3 (50 m³/ha/año de vinaza) para el año 2 y finalmente hasta la fertilización F5 (100 m³/ha/año de vinaza) para el año 3, luego en general los rendimientos se mantienen hasta la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) para los 3 años. Estas variaciones en la tendencia de cada año, se las puede atribuir al desbalance en la absorción de nutrientes provocados por un exceso de K en el suelo para el año 2 y 3, a partir de la dosis de 75 m³/ha/año de vinaza.

Según Finck, 1988, El suministro excesivo de K en la fertilización puede llevar a la disminución en la absorción del Mg por la planta, además indica que la discrepancia entre el exceso de nutrientes por un lado y la carencia de otros en el suelo por otro lado, puede producir un estrés de nutrición, que causa un descenso significativo en la producción.

3.1.3.2 Rendimiento de forraje seco de leguminosas

Para el caso de las especies leguminosas, en la Tabla 30, se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de materia seca, el cual indica que existe alta significación estadística para los años, mas no encontró diferencias significativas para la fertilización e interacción años por fertilización. Presenta un coeficiente de variación de 23,68 % dentro del rango permitido para investigaciones en campo lo que valida el proceso según González, 1985.

Tabla 30. ADEVA para rendimiento de materia seca para leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F
Repeticiones (4)	4,59	3	1,53	
Años (3)	1115,38	2	557,69	313,31 **
Error	10,68	6	1,78	
Fertilización	19,9	6	3,32	1,78 ns
Años (3)*fertilización (7)	21,25	12	1,77	0,95 ns
Error	100,47	54	1,86	
Total	1272,26	83		
CV (%)	23,68			

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

En la Tabla 31, se presentan los promedios de rendimientos de forraje seco para las especies leguminosas y los rangos de clasificación según la prueba de Tukey al 5 % para los factores en que existió significación estadística.

Tabla 31. Rendimiento de materia seca de leguminosas, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(t/ha)		
	Año 1	Año 2	Año 3
F1	8,27	4,10	1,89
F2	10,93	4,95	2,65
F3	12,06	4,82	2,21
F4	11,14	4,72	1,80
F5	10,21	4,61	1,68
F6	11,46	4,17	1,56
F7	10,78	4,81	2,21
Promedio anual	10,69 a	4,60 b	2,00 c

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre valores, según la prueba de Tukey al 5 %

Al no existir diferencias significativas entre las fertilizaciones e interacción años por fertilización, se puede mencionar que las leguminosas no respondieron estadísticamente a la aplicación de vinaza y fertilización química, en comparación a las gramíneas. Sin embargo se observa que las dosis bajas presentaron los mayores rendimientos de materia seca para leguminosas.

Se observa en la Tabla 31, que en el año 1 el mayor rendimiento de materia seca se produce con la fertilización F3 (50 m³/ha/año de vinaza), la que superó en 31,43 %, el rendimiento de materia seca obtenido con la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que la fertilización química (F7) superó en 23,28 % los rendimientos de materia seca producidos con la fertilización F1.

Para el año 2 el mayor rendimiento de materia seca se alcanzó con la fertilización F2 (25 m³/ha/año de vinaza), que superó en 17,18 % el rendimiento de materia seca producido con la fertilización F1, la fertilización química superó en 14,76% a los rendimientos de materia seca obtenidos con la fertilización F1.

En el año 3 el mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con la fertilización F2 (25 m³/ha/año de vinaza), la que superó en 28,67 % el rendimiento producido con la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que la fertilización química superó en 14,47 % los rendimientos de materia seca alcanzados con la fertilización F1.

Además, se observa en este año que las dosis de 75, 100 y 125 m³/ha/año, producen rendimientos de materia seca inferiores a los del testigo sin fertilización (F1). Este efecto se puede atribuir a la alta concentración de K en el suelo que generó un desbalance en la absorción de Ca y Mg por parte de las leguminosas además de presentar la vinaza una disminución en el contenido de P, en el análisis del año 3 y según lo mencionado por Bernal y Espinosa, 2003 el Ca y P aumentan la producción de forraje en las leguminosas.

La prueba de Tukey para los rendimientos de los promedios anuales de materia seca que se muestran en la Tabla 31, ubicó en el primer rango (a), al año 1 el cual superó en 56,96 % al rendimientos producidos en el año 2 y en 81,29 % a los rendimientos del año 3. Este decremento en el rendimiento de materia seca, conforme avanzan los años, se presenta al igual que el rendimiento de materia fresca, por el mayor porcentaje de participación que tienen las leguminosas en el año 1, que se reduce en los años siguientes debido al posicionamiento de las gramíneas perennes, al tener las condiciones favorables para su crecimiento.

3.1.4 EFICIENCIA AGRONÓMICA

Los incrementos producidos en el rendimiento promedio de forraje seco por cada m³ de vinaza aplicada se muestran en la Figura 12. Se observa una tendencia decreciente a medida que se incrementan los niveles de vinaza. La mayor eficiencia agronómica se produjo con la fertilización de 25 m³/ha/año de vinaza, pues con este nivel se obtiene 0,16 toneladas métricas de materia seca por cada m³ de vinaza aplicada. Otro dato importante es la eficiencia agronómica producida con la fertilización de 50 m³/ha/año, con la cual se obtiene un incremento en el rendimiento de forraje seco de 0,11 toneladas métricas por cada m³ de vinaza aplicada. Este decremento conforme aumentan el nivel de vinaza en la

fertilización ocurre debido a que la mezcla forrajera, a medida que se aumenta la cantidad de nutrientes en la planta se aproxima al consumo de lujo, que es la fase en el rendimiento de forraje en la cual incrementos en la concentración mineral de materia seca, no produce aumento en el crecimiento o rendimiento de la planta (Bernal y Espinoza, 2003).

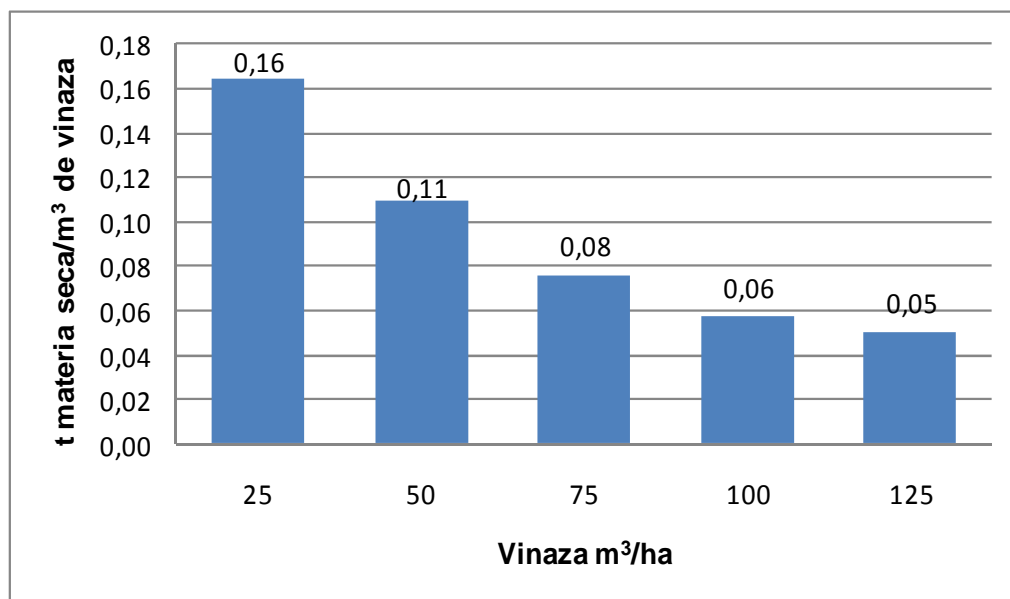


Figura 12. Incremento en el rendimiento promedio de forraje seco por m³ de vinaza aplicada, según niveles de vinaza, en tres años de aplicación

3.1.5 EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES

El análisis de varianza para extracción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg S, B, Zn, Cu, Fe y Mn), en la mezcla forrajera, como se puede observar en el Anexo VI. Se realizó la prueba de Tukey al 5 %, para los factores años, fertilización e interacción años por fertilización.

3.1.5.1 Extracción de nitrógeno

En la Tabla 32, se observan los promedios anuales de extracción de N de la mezcla forrajera. La mayor extracción de este elemento se produjo en el año 1 la cual superó a la extracción obtenida en el año 2 en 29,71 % y 29,38 % a la extracción del año 3.

Tabla 32. Extracción de N de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)						Promedio por fertilización
	Año 1		Año 2		Año 3		
F1	365,94	DEF ³	255,02	F ³	270,92	EF ³	297,29 c ²
F2	550,20	AB ³	387,92	D ³	370,81	DE ³	436,31 b ²
F3	601,50	A ³	436,25	BCD ³	407,10	D ³	481,62 ab ²
F4	587,46	A ³	430,52	CD ³	366,00	DEF ³	461,33 b ²
F5	566,02	A ³	407,31	D ³	415,94	D ³	463,09 b ²
F6	619,17	A ³	415,98	D ³	397,54	D ³	477,56 ab ²
F7	618,26	A ³	414,24	D ³	531,81	ABC ³	521,44 a ²
Promedio anual	558,36	a¹	392,46	b¹	394,30	b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

Existe una relación directa entre el suplemento de nutrientes y el rendimiento de forraje; entre el rendimiento de forraje y la concentración de nutrientes del forraje (Bernal y Espinosa, 2003). Con base en esta afirmación, se indica que la mayor extracción en el año 1 es generada, por la presencia de rye grass anual, cuyos rendimientos de forraje son superiores a las especies perennes de los años siguientes, además del mayor porcentaje de leguminosas en la mezcla forrajera presentada en el año 1, que tuvieron mayor concentración de N a comparación con las gramíneas, las cuales disminuyeron su porcentaje de participación a partir de segundo año, lo que causó un decremento en la extracción de N.

Al analizar los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de N se observa en la Tabla 32, que las fertilizaciones F3 (50 m³/ha/año de vinaza) y F6 (125 m³/ha/año de vinaza) compartieron el primer rango estadístico (a), junto con la fertilización química F7 la misma que superó en 42,98 % a la extracción promedio obtenida con la fertilización F1 (sin fertilización). La mayor extracción promedio de N obtenida con la aplicación de vinaza se alcanzó con la fertilización F3, la que superó en 37,74% la extracción producida con la fertilización F1.

Los resultados del promedio por fertilización los cuales se muestran en Tabla 32, indican que la mezcla forrajera tiene una respuesta positiva en la extracción de N,

para las fertilizaciones con vinaza, al superar con todas las dosis de vinaza la extracción producida con la fertilización F1 (sin fertilización).

En el Anexo VII, se encuentran los análisis finales de suelo para el primero y segundo año de evaluación, en los que se aprecian incrementos en el contenido de N en el suelo en estos 2 periodos. Este comportamiento indica que la mezcla forrajera extrajo el N a partir de la vinaza y de la fijación de este elemento por parte de las leguminosas, que forman parte de la mezcla forrajera.

Por el contrario, en el tercer año, el N aportado por la vinaza y por la fijación de N de las leguminosas fue extraído por la planta, pero no fue suficiente, puesto que el cultivo extrajo el N nativo del suelo, lo cual se refleja en el análisis final de suelo.

Lo mencionado anteriormente ocurrió debido a una disminución en el tercer año del porcentaje de leguminosas, las cuales obtienen la mayor parte de los requerimientos de N para su crecimiento, del N fijado del aire y en menor cantidad lo extraen del suelo, por lo que la demanda de N del suelo nativo fue menor en los primeros años y se incrementó a medida que las gramíneas aumentaron el porcentaje de participación en la mezcla forrajera.

3.1.5.2 Extracción de fósforo

En la Tabla 33, se encuentran los promedios de extracción de P_2O_5 de la mezcla forrajera en 3 años de aplicación de vinaza. El mayor promedio anual en la extracción de P_2O_5 el cual se indica en la Tabla 33, se obtuvo en el año 1 el cual superó en 28,98 % la extracción anual obtenida en el año 2 y en 26,12 % a la extracción producida en el año 3.

Esta diferencia entre años en la extracción de P se debe a la existencia de gramíneas anuales que poseen altos rendimientos de forraje, lo que generalmente se traduce en mayor extracción de nutrientes. Esta extracción disminuyó a medida que aparecieron las especies perennes, que presentaron menor extracción de P_2O_5 en el año 2 y 3.

Tabla 33. Extracción de P₂O₅ de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)			Promedio por fertilización
	Año 1	Año 2	Año 3	
F1	112,51 EFG ³	85,42 H ³	88,80 GH ³	95,58 e²
F2	128,45 DE ³	104,92 EFGH ³	103,50 FGH ³	112,29 d²
F3	149,60 ABCD ³	109,42 EFGH ³	102,94 FGH ³	120,66 bcd²
F4	171,84 A ³	111,17 EFG ³	107,67 EFGH ³	130,23 ab²
F5	141,10 CD ³	103,96 FGH ³	110,35 EFG ³	118,47 cd²
F6	165,56 AB ³	104,77 EFGH ³	105,57 EFGH ³	125,30 bc²
F7	164,52 ABC ³	114,35 EF ³	144,77 BCD ³	141,21 a²
Promedio anual	147,66 a¹	104,86 b¹	109,08 b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

Al realizar el análisis de los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de P₂O₅ (Tabla 33), se observa una respuesta positiva en la extracción de fósforo desde el nivel más bajo de vinaza.

Las mayores extracciones se produjeron con la fertilización química la que superó en 32,31 % a la extracción de la fertilización F1 (sin fertilización) y con la fertilización F4 (75 m³/ha/año de vinaza) la cual superó en 26,60 % la extracción obtenida con la fertilización F1.

Según el análisis final de suelo, en el Anexo VII, para el primero y segundo año, el contenido de P se mantiene, lo que indica que la mezcla forrajera extrae este elemento de la vinaza.

Sin embargo, para el tercer año, el análisis final de suelo reporta decrementos en el contenido de P, puesto que la vinaza no suplió los requerimientos de fósforo de la mezcla forrajera y el elemento fue extraído del suelo nativo, por un incremento en el porcentaje de gramíneas que fueron más exigentes en fósforo, como muestra el análisis foliar en el Anexo VIII.

3.1.5.3 Extracción de potasio

Los resultados de la extracción de K_2O de la mezcla forrajera en 3 años de aplicación de vinaza, se exponen en la Tabla 34. Los promedios de extracción anuales indican que la mayor extracción se alcanzó en el año 1 la cual superó en 43,61 % la extracción obtenida en el año 2 y en 37,53 % la extracción producida en el año 3.

Estas diferencias se produjeron por el mayor contenido de forraje que se obtuvo en el año 1 debido a la presencia del rye grass anual. En el segundo rango se ubicó el año 3 el cual superó en 9,7 % la extracción registrada en el año 2, debido a un efecto acumulativo del K en el suelo por la aplicación de vinaza durante 3 años, lo que presentó mayor disponibilidad de este nutriente en el suelo. Usón, *et al.*, 2010, mencionan que el potasio es absorbido por los pastos en cantidades mayores que cualquier otro elemento, al existir una buena disponibilidad de este nutriente en el suelo.

Tabla 34. Extracción de K_2O de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)						Promedio por fertilización
	Año 1		Año 2		Año 3		
F1	494,00	DE ³	324,11	G ³	347,20	FG ³	388,44 d ²
F2	823,87	C ³	477,59	DEF ³	485,13	DEF ³	595,53 c ²
F3	945,82	ABC ³	586,13	D ³	580,69	D ³	704,22 a ²
F4	993,00	AB ³	556,02	D ³	567,07	D ³	705,36 a ²
F5	854,81	BC ³	406,95	EFG ³	610,16	D ³	623,97 bc ²
F6	1017,61	A ³	581,20	D ³	601,05	D ³	733,29 a ²
F7	936,21	ABC ³	488,15	DEF ³	597,41	D ³	673,92 ab ²
Promedio anual	866,47	a¹	488,59	c¹	541,24	b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

Al realizar el análisis de los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de K_2O , se observa en el primer rango estadístico a las fertilizaciones F6 (125 m³/ha/año de vinaza), F4 (75 m³/ha/año de vinaza), F3 (50 m³/ha/año de

vinaza) las cuales superaron numéricamente la extracción obtenida con la fertilización química (F7) aunque comparten mismo rango estadístico. La mayor extracción de K_2O se produjo con la fertilización F6 que superó en 47,02 % a la extracción obtenida con la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que la fertilización química la superó en 42,36 %.

En la Tabla 34, se puede observar que a partir de la fertilización F2 (25 m³/ha/año de vinaza) en el año 3, las plantas extraen cantidades similares de K_2O , cuyos valores en efecto, se encuentran dentro del mismo rango estadístico, inclusive con la fertilización química F7. Esta conducta se debe a que el K aportado por la vinaza cumple con los requerimientos nutricionales de la mezcla forrajera y además produce una acumulación de este elemento en el suelo, durante los 3 años del ensayo, como se puede observar en el análisis de suelo en el Anexo VII. Con los resultados anteriormente expuestos se puede indicar que la vinaza se puede considerar una fuente importante de K, para la fertilización en mezclas forrajeras.

3.1.5.4 Extracción de calcio

La extracción de Ca por la mezcla forrajera en 3 años de aplicación de vinaza, se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35. Extracción de Ca de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)						Promedio por fertilización
	Año 1		Año 2		Año 3		
F1	172,90	AB ³	106,11	DE ³	57,77	GH ³	112,26 bc ²
F2	204,80	A ³	125,65	CD ³	58,01	GH ³	129,49 ab ²
F3	211,35	A ³	109,78	DE ³	63,93	FGH ³	128,35 ab ²
F4	202,69	A ³	115,10	CD ³	60,03	GH ³	125,94 ab ²
F5	150,93	BC ³	95,76	DEFG ³	63,73	FGH ³	103,47 c ²
F6	201,47	A ³	102,32	DEF ³	46,08	H ³	116,62 abc ²
F7	205,83	A ³	124,61	CD ³	71,87	EFGH ³	134,10 a ²
Promedio anual	192,85	a¹	111,33	b¹	60,20	c¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

Se conoce que la extracción de Ca es mayor por parte de las especies leguminosas que por las especies gramíneas en una mezcla forrajera (Bernal y Espinosa, 2003). Esta aseveración se corrobora en la Tabla 35, donde se observa que el mayor promedio de extracción de Ca anual se obtuvo en el año 1 ubicado en el rango primero, el cual superó en 42,27 % y en 68,78 % la extracción obtenida en el año 2 y 3 respectivamente.

En segundo rango se ubicó la extracción anual del año 2, que superó en 45,92 % a la extracción anual obtenida en el año 3, la misma que se ubicó en el último rango, puesto que los datos de concentración de Ca es mayor en las leguminosas en comparación con las gramíneas como indica el análisis foliar, Anexo VIII y en el año 1 se reportó una mayor cantidad de leguminosas, las mismas que perdieron posicionamiento en la pradera, en el transcurso de los años evaluados.

Al realizar el análisis de los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de Ca en la Tabla 35, se observa que las fertilizaciones F2 (25 m³/ha/año vinaza), F3 (50 m³/ha/año vinaza), F4 (75 m³/ha/año vinaza), F6 (125 m³/ha/año vinaza) comparten el primer rango estadístico junto con la fertilización química (F7).

La mayor extracción de calcio se obtuvo con la fertilización química la cual superó en 16,28 % la extracción producida con la fertilización F1 (sin fertilización), mientras que la mayor extracción obtenida con vinaza se produjo con la fertilización F2, que superó en 13,30 % la extracción alcanzada con la fertilización F1.

En la Tabla 33 se observa en los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de Ca, que las dosis más bajas de vinaza producen mayor extracción de Ca, debido a un efecto antagónico que se produce entre el Ca y las altas cantidades de K en la solución del suelo, lo que genera mayor competencia iónica del K con el resto de bases (Ca, Mg) como mencionan Usón *et al.*, 2010, los cuales indican que las aplicaciones muy altas de K reducen el contenido de Ca en el pasto.

El efecto antagónico producido por el K en la extracción de Ca en el pasto, se evidencia en la Tabla 35, a partir del año 2, pues en este año, la fertilización F1 (sin fertilización) tuvo una mejor extracción de Ca que las fertilizaciones con las dosis más altas de vinaza (F5 y F6). Igualmente, en el año 3, la fertilización F1 superó a la dosis más alta de vinaza (F6) en extracción de Ca, debido al efecto acumulativo que tiene el K en el suelo. Sin embargo, en el año 1, la vinaza causó una respuesta favorable en la extracción de Ca de la mezcla forrajera, a excepción de la fertilización F5.

Además, el análisis foliar (VII) corrobora lo mencionado anteriormente sobre la cantidad de K en el suelo y la extracción de Ca por parte de la mezcla forrajera. Este análisis muestra que las fertilizaciones con altas dosis de vinaza (100 y 125 m³/ha/año de vinaza), a partir del año 2, presentaron menores contenidos de Ca que el resto de fertilizaciones con vinaza, debido a las altas cantidades de K en el suelo.

El análisis final de suelo, en los 3 años de estudio, Anexo VII, señala una disminución en el contenido de Ca, lo que indica que la mezcla extrajo este elemento del suelo y parte de la pérdida de Ca en la solución del suelo se puede atribuir a lixiviación, debido a la precipitación producida en el año 3, que fue mayor a la registrada en el año 2, Anexo IX.

3.1.5.5 Extracción de magnesio

En la Tabla 36, se encuentran la extracción de Mg de la mezcla forrajera con los promedios anuales y por fertilización, en los 3 años de aplicación de vinaza. Al analizar el promedio de extracción anual para Mg.

Se puede observar en la Tabla 36 que la mayor extracción se produjo en el año 1 ubicado en el rango primero, la cual superó en 48,86 % a la extracción obtenida en el año 2 y en 40,22 % a la producida en el año 3, debido a la mayor cantidad de materia fresca producida en el año 1 por la presencia del rye grass anual, que se tradujo en una mayor extracción de Mg para este año.

Tabla 36. Extracción de Mg de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)						Promedio por fertilización
	Año 1		Año 2		Año 3		
F1	42,32	EFG ³	28,09	H ³	34,39	GH ³	34,93 d ²
F2	55,18	CD ³	34,16	GH ³	35,64	GH ³	41,66 bc ²
F3	60,42	BC ³	33,01	GH ³	42,61	EFG ³	45,35 b ²
F4	59,60	BC ³	33,34	GH ³	36,51	GH ³	43,15 bc ²
F5	50,84	CDE ³	28,01	H ³	35,67	GH ³	38,17 cd ²
F6	66,32	B ³	30,98	H ³	31,23	H ³	42,84 bc ²
F7	108,19	A ³	38,87	FGH ³	48,70	DEF ³	65,26 a ²
Promedio anual	63,27	a¹	32,35	c¹	37,82	b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

En segundo rango se ubicó el año 3 que superó en 14,46 % la extracción producida en el año 2, este incremento en la extracción del año 3 respecto al año 2 se produjo debido a que dentro de la mezcla forrajera las gramíneas fueron más exigentes en Mg en el año 3 en comparación del año 2, como muestra el análisis foliar, en el Anexo VIII, por lo que la mezcla forrajera demandó más de este elemento en el año 3.

Al realizar el análisis de los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de Mg en la Tabla 36 se observa que la mayor extracción se produjo con la fertilización química la cual superó en 46,47 % la extracción obtenida con la fertilización F1 (sin fertilización). La mayor extracción producida con la fertilización con vinaza se obtuvo con la dosis de 50 m³/ha/año de vinaza (F3), la que superó en 22,9 % a la fertilización F1.

Al igual que el Ca, altos contenidos de K en el suelo pueden provocar problemas en la asimilación de Mg por parte de la mezcla (Finck, 1988), es así que las dosis altas generaron menor extracción de Mg, en el año 3 por una mayor acumulación de K en el suelo. Bernal y Espinosa, 2003, mencionan que usualmente las leguminosas contienen más Mg que las gramíneas, lo que se comprobó en el análisis foliar (VII). Los análisis finales de suelo en cada año muestran que la

extracción de Mg no empobreció el suelo, lo que indica que la mezcla forrajera absorbió este elemento de la vinaza.

3.1.5.6 Extracción de azufre

La extracción de S se presenta en la Tabla 37, en conjunto con los promedios anuales y los promedios de cada fertilización en un periodo de 3 años de investigación.

Tabla 37. Extracción de S de la mezcla forrajera, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	(kg/ha)						Promedio por fertilización	
	Año 1		Año 2		Año 3			
F1	21,79	HI ³	11,55	J ³	15,33	IJ ³	16,22	e ²
F2	36,70	FG ³	18,97	HI ³	34,67	G ³	30,11	d ²
F3	44,75	BCD ³	23,17	H ³	38,21	DEFG ³	35,38	bc ²
F4	43,97	BCDE ³	20,88	HI ³	37,30	EFG ³	34,05	c ²
F5	49,04	B ³	20,77	HI ³	41,77	CDEF ³	37,20	bc ²
F6	48,31	BC ³	22,48	H ³	44,54	BCD ³	38,44	ab ²
F7	57,07	A ³	21,93	HI ³	42,75	BCDEF ³	40,58	a ²
Promedios anual	43,09	a¹	19,96	c¹	36,37	b¹		

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

Al analizar los promedios anuales para la extracción de S en la Tabla 37, se observa que la mayor extracción anual se produjo en el año 1 la cual superó en 53,67 % a la obtenida en el año 2 y en 15,59 % a la extracción producida en el año 3. La extracción alcanzada en el año 3 superó en 45,11% a la extracción obtenida en el año 2.

Esto se debe a la existencia de gramíneas anuales en el año 1, con altos rendimientos de forraje, que demandaron una mayor extracción de nutrientes, la cual disminuyó conforme aparecieron las especies perennes y provocó un decremento en la extracción de S en el año 2. La extracción de S se incrementó en el año 3 por la mayor exigencia de las gramíneas en el año 3 en comparación

al año 2, como muestra el análisis foliar, en el Anexo VIII, además de un mejor establecimiento de las gramíneas perennes con más demanda de S, frente a las leguminosas.

Al realizar el análisis de los promedios de los 3 años según la fertilización para la extracción de S, en la Tabla 37 se observa que la fertilización con vinaza tuvo una respuesta positiva en la extracción de S por parte de la mezcla forrajera al superar a la extracción obtenida con la fertilización F1.

Además se observa una tendencia creciente en los promedios de extracción de S a medida que aumentan los niveles de vinaza en la fertilización. La mayor extracción se produce con la fertilización química (F7) la cual superó en 60,02 % a la fertilización F1 (sin fertilización) y con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) que superó en 57,87 %, las cuales se ubicaron en el rango primero.

En la Tabla 37 también se muestra que el en año 1 la fertilización química supera numéricamente la extracción de S producida con las fertilizaciones con vinaza, sin embargo en los años siguientes la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza), superó numéricamente la extracción con fertilización química, lo cual indica que existe una mayor disponibilidad de S en el suelo debido a un efecto acumulativo de este elemento debido a la fertilización con vinaza en los 3 años del ensayo.

Los análisis químicos finales de suelo en el Anexo VII para los 3 años, muestran que los tratamientos con vinaza no empobrecieron el contenido de S en el suelo, lo cual indica que la vinaza aporta S para la mezcla forrajera.

3.1.5.7 Extracción de micronutrientes

Los resultados obtenidos para la extracción de micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn) se presentan en el Anexo X y se observa que no existe una tendencia marcada en la extracción de micronutrientes por efecto de la aplicación de niveles crecientes de vinaza en los 3 años. Sin embargo, aunque existe una extracción de micronutrientes por parte de la mezcla forrajera, el contenido de estos se

mantiene en los 3 años de estudio, debido al aporte de micronutrientes provenientes de la vinaza.

3.2 EVALUACIÓN DE VARIABLES EN EL SUELO

3.2.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

3.2.1.1 Nutrientes

Para llevar a cabo la investigación, se realizaron análisis de suelo al inicio y al final de cada año, para comparar los promedios y observar el efecto de la aplicación de vinaza y fertilización química en el suelo, durante 3 años. Estos análisis se presentan en la Tabla 38.

Se aprecia que el análisis de suelo para los años 1 y 2 presentan incrementos en el contenido de N en el suelo, debido a un alto porcentaje de participación de especies leguminosas que conformaron la mezcla forrajera en estos 2 años, las cuales adquieren en mayor proporción N de la atmósfera para suplir sus necesidades de este elemento además de aportar N al suelo. Esto se evidencia en el tratamiento testigo, puesto que existe un incremento de N en el suelo pese a no haber sido fertilizado.

Según el análisis foliar (Anexo VIII), las especies que conformaron la mezcla forrajera, especialmente las gramíneas fueron más exigentes en los requerimientos de N a partir del año 2, en comparación con el año 1. En el año 3, las gramíneas perennes toman posicionamiento en la composición de la mezcla forrajera, mientras que se reduce el porcentaje de participación de las leguminosas y con esto el aporte de N proveniente de la fijación por parte de las mismas. Por esta razón y debido a la exigencia de N del suelo por parte de las gramíneas en el año 3, el aporte de N proveniente de la vinaza no pudo suplir las necesidades de N de la mezcla forrajera, la cual extrajo este elemento del suelo nativo.

Tabla 38. Análisis químico de suelos para macronutrientes, en tres años de aplicación de vinaza

Años	Fert.	ppm			meq/100 ml			Óptimo (2 a 14)	Óptimo (2 a 6)
		NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Mg/K	Ca/Mg
Inicio		46,0	36,0	7,0	0,69	10,1	1,9	2,75	5,32
Año I	F1	84,00	38,25	6,55	0,39	10,08	1,88	4,82	5,36
	F2	86,25	42,25	9,30	0,40	9,80	1,78	4,45	5,51
	F3	97,00	40,50	10,53	0,47	9,95	1,85	3,94	5,38
	F4	81,25	40,00	11,75	0,47	10,08	1,85	3,94	5,45
	F5	93,50	40,75	14,25	0,64	9,25	2,00	3,13	4,63
	F6	86,00	38,00	14,00	0,58	10,00	1,93	3,33	5,18
	F7	91,00	39,25	4,90	0,37	9,45	1,90	5,14	4,97
Año II	F1	107,50	40,50	5,58	0,33	9,58	1,70	5,15	5,64
	F2	108,50	43,35	17,88	0,47	9,18	1,68	3,57	5,46
	F3	112,25	42,00	20,15	0,79	9,20	1,80	2,28	5,11
	F4	110,43	41,75	23,38	0,95	9,63	1,80	1,89	5,35
	F5	132,75	43,50	26,55	1,24	8,73	1,95	1,57	4,48
	F6	113,00	36,50	31,58	1,55	9,38	2,05	1,32	4,58
	F7	112,00	43,00	19,08	0,27	8,73	1,78	6,59	4,90
Año III	F1	70,25	33,75	3,15	0,42	8,28	1,63	3,88	3,65
	F2	69,75	27,75	12,00	0,70	8,13	1,83	2,61	3,42
	F3	68,75	32,00	18,50	0,97	7,80	1,98	2,04	3,33
	F4	61,25	27,00	24,00	1,17	7,70	1,98	1,69	3,47
	F5	81,00	30,00	29,50	1,52	7,78	2,35	1,55	2,77
	F6	73,50	25,50	31,50	1,64	8,23	2,35	1,43	2,79
	F7	83,00	35,50	16,75	0,25	7,60	1,98	7,92	3,08

Sin embargo, en los 3 años, el contenido de N en el suelo reporta niveles altos, debido a que existió un alto contenido inicial de N, a más del aportado por la vinaza y por la fijación de nitrógeno atmosférico por las leguminosas, durante los 3 años.

Por lo tanto, se puede señalar que la fijación simbiótica de N, que poseen las especies leguminosas, es una fuente importante de este elemento, lo cual es favorable para la mezcla, debido a que la demanda de N se centra en los requerimientos de este elemento por parte de las gramíneas.

El contenido de P en el suelo mostrado en la Tabla 38, se mantiene en el año 1 y 2. Esto indica que la mezcla forrajera extrajo este elemento de la vinaza y no del suelo nativo para estos años. No obstante, en el año 3, debido a que la planta es más exigente en P, como se indica en el análisis foliar del Anexo VIII, conjuntamente con esto la vinaza utilizada presentó una disminución de P en su contenido, como se observa en el Anexo XI, por lo cual no pudo suplir con los requerimientos del cultivo y la mezcla extrajo P del suelo nativo.

Además, se debe tener en cuenta que una de las características principales de los suelos Andisoles es la alta capacidad de fijación de P, por lo que este elemento se encuentra en el suelo en una forma no disponible para las plantas. En consecuencia, se requieren altas dosis de fertilizaciones fosfatadas, para permitir un adecuado suplemento de este nutriente a la mezcla forrajera.

El análisis químico de suelo final, de la Tabla 38, muestra incrementos en el contenido de S en el suelo a medida que se aumentaron las dosis de vinaza en la fertilización, durante los 3 años de investigación. Además, el análisis muestra que el contenido de S en el suelo en los años 1 y 2 se incrementa en los tratamientos con vinaza, lo cual muestra un efecto acumulativo en el contenido de S, a causa de la aplicación de vinaza para estos años.

Sin embargo, en el año 3 la pradera es dominada por las gramíneas, las cuales fueron más exigentes en S en comparación con las leguminosas, lo que provocó

una mayor demanda de este elemento por parte de la mezcla forrajera para este año por lo que para las fertilizaciones bajas (F2: 25 m³ de vinaza/ha/año y F3: 50 m³ de vinaza/ha/año), la vinaza no pudo suplir con las necesidades de S de la mezcla forrajera, la cual extrajo este elemento del suelo, no así las fertilizaciones con dosis altas de vinaza (F4: 75 m³ de vinaza/ha/año, F5: 100 m³ de vinaza/ha/año y F6: 125 m³ de vinaza/ha/año) que mantuvieron el contenido de S en el suelo, pese a esto el contenido de S en el suelo al inicio del año 1 es menor que el contenido S presentado con las fertilizaciones con vinaza al final del año 3, indistintamente de la dosis aplicada.

Los resultados finales de análisis de suelo muestran que de 3,15 ppm de S en el suelo obtenidas sin fertilización, con la aplicación de 125 m³/ha/año de vinaza se eleva a 31,50 ppm la disponibilidad de S en el suelo. Por lo anterior mencionado, respecto al contenido de S en el suelo, se puede indicar que la vinaza es una importante fuente de S para la fertilización de mezclas forrajeras.

La Tabla 38 también muestra un marcado efecto acumulativo de K en el suelo, por la aplicación de vinaza en 3 años consecutivos. El análisis final de cada año indica incrementos en el contenido de K en el suelo, a medida que se aumentaron las dosis de vinaza. La mezcla forrajera extrajo este elemento de la vinaza aplicada y además, se generaron excedentes de este nutriente en el suelo.

Los resultados finales del análisis de suelo muestran que de 0,42 meq/100 ml obtenidos sin fertilización, con la aplicación de 125 m³/ha/año de vinaza (fertilización F6) se eleva a 1,64 meq/100 ml la disponibilidad de K en el suelo, mientras que con la fertilización química (F7) el contenido de K en el suelo disminuyó a 0,25 meq/100 ml.

Las fertilizaciones con vinaza presentaron mayor contenido de K en el suelo en comparación con la fertilización química, durante los 3 años de investigación. Estos resultados indican que la aplicación de vinaza satisface los requerimientos de K de la mezcla forrajera y todavía permanece una considerable disponibilidad de K en el suelo.

Sin embargo, la acumulación de K en el suelo por la aplicación de vinaza crea un desbalance en la relación Mg/K en el segundo y tercer año, a partir de la fertilización F4 (75 m³ de vinaza/ha/año), lo que provocó una menor extracción de Mg y Ca por parte de la mezcla forrajera, para las dosis altas de vinaza en los años 2 y 3 en especial para la fertilización F6 (125 m³ de vinaza/ha/año).

Los resultados del análisis de suelo muestra que el contenido de Ca en los 2 primeros años se mantuvo constante y pese a que la mezcla forrajera extrajo este elemento, no empobreció el suelo, debido a la fertilización con vinaza. Sin embargo, para el tercer año, la mezcla forrajera extrajo el Ca del suelo nativo y empobreció el contenido de Ca en el suelo.

El análisis de suelo que presenta la Tabla 38 reporta ligeros incrementos en el contenido de Mg en el suelo por efecto del incremento de los niveles de vinaza en la fertilización para los 3 años del ensayo. Además, se observa que el contenido de Mg en el suelo se mantiene a través de los años pese a que existe extracción de este elemento por parte de la mezcla forrajera inclusive con un ligero incremento en el contenido de Mg presentado por la fertilización F6, que puede ser atribuido al alto contenido de K en la solución del suelo que limitó la absorción de Mg por parte de la mezcla forrajera.

En la Tabla 38 se evidencia que la relación Ca/Mg no presentó desbalances en los 3 años de aplicación de vinaza, sin embargo la relación Mg/K presentó desbalances a partir del año 2 para las dosis superiores a 75 m³/ha/año de vinaza.

3.2.1.2 Materia orgánica

El ADEVA para el porcentaje de materia orgánica en el suelo, presentado en la Tabla 39, durante 3 años de aplicación de vinaza, no presentó significancia estadística para la interacción años por fertilización, ni para el fertilización, pero presentó alta significación estadística para el factor años, lo que indica que la fertilización con vinaza no causó efecto en el porcentaje de materia orgánica.

Tabla 39. ADEVA para contenido de materia orgánica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repeticiones (4)	16,91	3	5,64		
Años (3)	20,05	2	10,02	66,8	**
Error	0,89	6	0,15		
Fertilización (7)	4,41	6	0,74	1,36	ns
Años (3)*Fertilización (7)	1,74	12	0,14	0,27	ns
Error	29,11	54	0,54		
Total	73,1	83			
CV	7,18%				

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

En la Tabla 40, se muestran los valores del porcentaje de materia orgánica para las fertilizaciones y se puede evidenciar una ligera disminución en el porcentaje de materia orgánica en el año 3, lo que marcó una alta significación estadística para el factor años, debido a que la materia orgánica contiene alrededor de 5 % del N total en el suelo, por lo tanto es una bodega que acumula reservas de N.

No obstante, el N de la materia orgánica se encuentra como constituyente de los compuestos orgánicos y no está inmediatamente disponible para el uso de las plantas, debido a que la descomposición ocurre lentamente (INPOFOS, 1988). Para el año 3, la materia orgánica disminuye por el proceso antes mencionado

Tabla 40. Porcentaje de materia orgánica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	%		
	Año 1	Año 2	Año 3
F1	10,20	10,38	9,28
F2	10,43	10,95	9,80
F3	10,60	11,05	9,63
F4	10,50	11,25	9,75
F5	9,68	10,43	9,65
F6	10,23	11,08	9,73
F7	10,00	10,58	9,50
Promedio	10,23 a	10,82 a	9,62 b

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores según la prueba de Tukey al 5 %

3.2.1.3 Conductividad eléctrica

Se midió la conductividad eléctrica (CE) del suelo únicamente al final del tercer año, para conocer si por efecto de la vinaza aumentó la cantidad de sales en el suelo. El análisis de varianza para esta variable, presentado en la Tabla 41, reportó significación estadística entre las fertilizaciones.

Tabla 41. ADEVA para conductividad eléctrica en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F
Repeticiones	0,01	3	2,30E-03	0,62
Fertilizaciones	0,68	6	0,11	30,91 **
Error	0,07	18	3,70E-03	
Total	0,75	27		
CV (%)	19,9			

**Significación estadística al 1 %

En la Tabla 42, se presentan los valores de CE de acuerdo a la fertilización, según la prueba de Tukey al 5 %. El rango (A) para la conductividad eléctrica al final del tercer año de investigación, lo obtuvo la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza), con 0,53 dS/m y el último rango (E) se produjo con la fertilización F1 (sin fertilización), con 0,10 dS/m. g

Tabla 42. Conductividad eléctrica del suelo al final del tercer año

Fertilizaciones	CE dS/m	Tukey 5 %
F1	0,10	E
F2	0,18	DE
F3	0,25	CD
F4	0,38	BC
F5	0,48	AB
F6	0,53	A
F7	0,15	DE

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre valores

Se evidenció una tendencia creciente en la conductividad eléctrica a medida que se aumentaron las dosis de vinaza, debido a las cargas catiónicas y sales provenientes de la vinaza. El análisis de suelo, Anexo VII, reportó no salinidad en la conductividad eléctrica del suelo, lo que indica que existe una respuesta favorable por el aumento de elementos químicos en la solución del suelo, especialmente de K y S según lo descrito por Brito y Rolim, 2005.

3.2.1.4 Capacidad de intercambio catiónico

El análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) medido únicamente al final del tercer año de investigación, Tabla 43, presentó significación estadística para las fertilizaciones.

Tabla 43. ADEVA para capacidad de intercambio catiónico en el suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F	
Repeticiones	6,78	3	2,26	1,82	
Fertilizaciones	29,39	6	4,9	3,94	*
Error	22,36	18	1,24		
Total	58,53	27			
CV	8,22				

*Significación estadística al 5 %

Según la prueba de Tukey al 5 %, para la CIC presentada en la Tabla 44, el primer rango (A) lo comparten las fertilizaciones F4, F5 y F6, con una CIC de 14,50; 14,68 y 14,20 meq/100 g de suelo. Mientras tanto, el menor rango estadístico se obtuvo con la fertilización química F7 con una capacidad de intercambio catiónico de 11,58 meq/100 g de suelo, debido al bajo pH que generó la fertilización química. Bernal y Espinosa, 2003, mencionan que una reducción del pH genera una reducción en la CIC.

Se evidencia también una tendencia creciente a medida que se incrementan las dosis de vinaza, lo que indica que la vinaza aporta grandes cantidades de bases intercambiables y mejora la CIC del suelo. Esto favorece la disponibilidad de

nutrimentos en el suelo, para el suministro y la extracción de elementos esenciales para la mezcla forrajera.

Tabla 44. Capacidad de intercambio catiónico del suelo al final del tercer año

Fertilizaciones	CIC meq/100 g de suelo	Tukey 5 %
F1	12,68	AB
F2	13,43	AB
F3	13,83	AB
F4	14,50	A
F5	14,68	A
F6	14,20	A
F7	11,58	B

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre valores

3.2.1.5 pH

El análisis de varianza para el pH del suelo en 3 años de aplicación de vinaza, Tabla 45, presentó una alta significación estadística para los años, fertilización e interacción años por fertilización.

Tabla 45. ADEVA para pH del suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F	
Repeticiones (4)	0,01	3	0,003		
Años (3)	0,38	2	0,19	65,52	**
Error	0,02	6	0,0029		
Fertilización (7)	1,88	6	0,31	45,94	**
Años (3)* fertilización (7)	0,51	12	0,04	6,23	**
Error	0,37	54	0,01		
Total	3,17	83			
CV (%)	1,45				

Los promedios del pH para las fertilizaciones, muestran una tendencia creciente a medida que aumentan las dosis de vinaza lo que se observa en la Tabla 46. La prueba de Tukey al 5 % indica que el mayor promedio en el pH se alcanzó con la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) con 5,93 seguido de las fertilizaciones

F3, F4 y F5, posteriormente se ubica a la fertilización F2 en un mismo rango estadístico que la fertilización F1 (sin fertilización), finalmente el menor valor de pH se produjo con la fertilización química F7 con un pH de 5,48.

Tabla 46. pH del suelo en tres años de aplicación de vinaza

Fertilizaciones	Año 1	Año 2	Año 3	Promedio por fertilización
F1	5,65 CDEF ³	5,59 EFGH ³	5,38 HI ³	5,54 c²
F2	5,73 CDEF ³	5,65 DEFG ³	5,43 GHI ³	5,60 c²
F3	5,75 BCDE ³	5,75 BCDE ³	5,63 DEFG ³	5,71 b²
F4	5,78 BCDE ³	5,8 ABCD ³	5,78 BCDE ³	5,79 b²
F5	5,78 BCDE ³	5,84 ABC ³	5,78 BCDE ³	5,80 b²
F6	5,83 ABCD ³	6,01 A ³	5,95 AB ³	5,93 a²
F7	5,68 CDEF ³	5,52 FGH ³	5,23 I ³	5,48 d²
Promedio anual	5,74 a¹	5,74 a¹	5,60 b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

³Tukey al 5 % para la fertilización por años

En la Figura 13, se muestra que existe una tendencia creciente en el pH del suelo, a medida que se incrementan la dosis de vinaza, para cada año. También se muestra que la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) en los 3 años obtuvo el mayor valor de pH; las fertilizaciones en las cuales se aplicó vinaza tienen un pH más alto que aquellas en las que no se aplicó vinaza durante los 3 años.

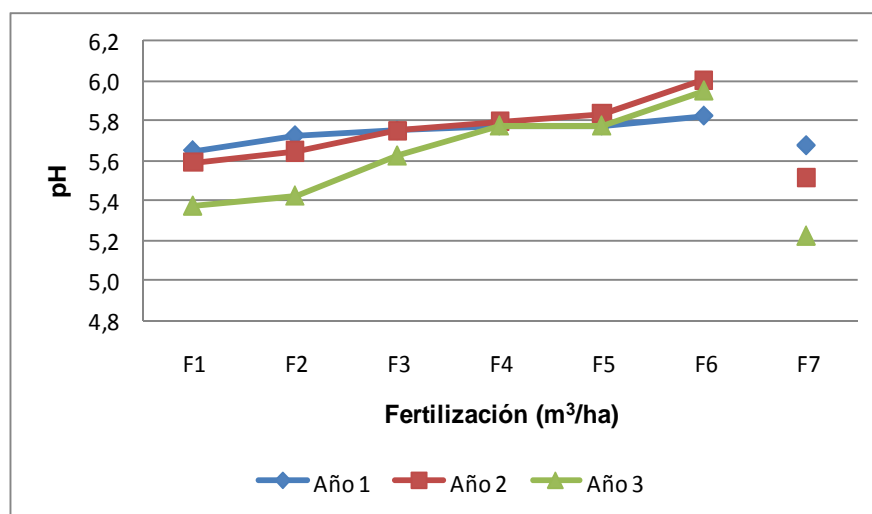


Figura 13. pH de suelo en tres años de aplicación de vinaza

Además, se observa que al comparar entre años el pH del suelo, las dosis bajas de fertilizaciones F2 (25 m³ vinaza/ha/año) y F3 (50 m³ vinaza/ha/año), produjeron una disminución del pH del suelo, mientras que las fertilizaciones F4(75 m³ vinaza/ha/año) y F5 (100 m³ vinaza/ha/año) mantuvieron el pH del suelo durante los 3 años de aplicación de vinaza y por último, la fertilización más alta de vinaza F6 (125 m³ vinaza/ha/año) produjo incrementos en el pH en los 3 años.

También se puede evidenciar el efecto acidificante que tiene la fertilización química, la cual presenta una disminución del pH de suelo con los años, lo cual otorga una ventaja a la fertilización con vinaza en suelos ácidos, en comparación con la fertilización química.

Esta disminución en el pH se puede atribuir al tipo de fertilizante usado en la fertilización química como la urea y en especial el 18-46-0, que según Bernal y Espinosa, 2003, este fertilizante acidifica el suelo por la presencia de NH₄⁺ que en su proceso de nitrificación produce un exceso de iones hidrógeno (H⁺) que acidifican paulatinamente al suelo.

Becorral, 1987, menciona que a pesar que la vinaza tiene características ácidas, su aplicación en dosis altas provoca elevación del pH del suelo, debido al incremento de la actividad microbiana del suelo y de la materia orgánica proveniente de la vinaza. Por su parte Usón *et al.*, 1988, indican que la adición de fertilizantes amoniacales nitrogenados puede inducir la acidificación del suelo.

3.2.2 ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

3.2.2.1 Densidad aparente

El análisis estadístico para la variable densidad aparente en el suelo, presentado en la Tabla 47, no presentó significación estadística para la interacción años por fertilización, sin embargo, se encontró diferencias estadísticas para el factor años y el factor fertilización.

Tabla 47. ADEVA para densidad aparente del suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	GI	CM	F	
Repeticiones (4)	0,02	3	0,01		
Años (3)	0,07	2	0,04	12,41	**
Error	0,02	6	0,003		
Fertilizaciones (7)	0,05	6	0,01	3,25	**
Años (3)*fertilizaciones (7)	0,04	12	0,0031	1,33	ns
Error	0,13	54	0,0024		
Total	0,32	83			
CV (%)	5				

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

Según Mejía, 1997, los Andisoles poseen densidad aparente baja, debido a su alto contenido de materia orgánica y alta porosidad, además, son suelos susceptibles a la compactación por efecto de maquinaria o tránsito animal.

En la Tabla 48, se puede apreciar que el año 3 se produce un ligero incremento en la densidad aparente, sin embargo este incremento se debe a la intervención de maquinaria agrícola (tractor), que se empleó en el año 3, para realizar los cortes de igualación, mas no por la aplicación de vinaza.

Tabla 48. Densidad aparente del suelo en tres años de aplicación de vinaza

Fertilizaciones	g/cm ³			Promedio por fertilización
	Año 1	Año 2	Año 3	
F1	0,97	0,96	1,01	0,98 ab ²
F2	0,99	0,95	1,02	0,99 ab ²
F3	0,96	0,94	1,01	0,97 ab ²
F4	0,87	0,94	1,00	0,94 b ²
F5	0,97	1,03	1,02	1,01 a ²
F6	0,95	0,88	1,00	0,94 b ²
F7	0,95	0,94	1,03	0,97 ab ²
Promedio anual	0,95 a¹	0,95 a¹	1,01 b¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entres los valores para cada prueba de Tukey
¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

Al analizar los cambios producidos por el efecto de la fertilización con vinaza en la densidad aparente, se puede apreciar en la Tabla 48, ligeras variaciones

atribuidas principalmente a la toma de muestras, sin embargo, la densidad se mantiene en los rangos que se indican para los Andisoles.

Por lo anteriormente señalado, se puede mencionar que la aplicación de vinaza no causó efecto en la densidad aparente del suelo, lo que concuerda con lo mencionado por Mora, 2010, que indica que el uso de la vinaza como fertilizante no afectó la densidad aparente del suelo en el cultivo de papa.

3.2.2.2 Humedad gravimétrica

El análisis de varianza para la variable humedad gravimétrica, presentado en la Tabla 49, indicó no significancia para la interacción años por fertilización, lo que indica que la fertilización no influyó el factor años; mientras que para el factor años y el factor fertilización presenta alta significación estadística. El coeficiente de variación fue de 4,85, que valida el proceso

Tabla 49. ADEVA para humedad gravimétrica del suelo, en tres años de aplicación de vinaza

F.V.	SC	Gl	CM	F
Repeticiones (4)	82,73	3	27,58	
Años (3)	2392,65	2	1196,32	119,63 **
Error	60,02	6	10	
Fertilización (7)	120,94	6	20,16	4,33 **
Años (3)* fertilización (7)	90,14	12	7,51	1,61 ns
Error	251,24	54	4,65	
Total	2997,71	83		
CV (%)	4,85			

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

En la Tabla 50, se observan diferencias marcadas en el porcentaje de humedad del suelo para los promedios anuales. Estas diferencias entre años están dadas por la época en que se recolectaron las muestras. La humedad gravimétrica se ve afectada directamente por las condiciones climáticas como la precipitación. Mientras que para los promedios del porcentaje de humedad obtenidos en las fertilizaciones no presentan tendencias.

Tabla 50. Humedad gravimétrica en tres años de aplicación de vinaza

Fertilización	%			Promedio por fertilización
	Año 1	Año 2	Año 3	
F1	46,81	49,61	36,43	44,28 b²
F2	45,55	47,12	36,22	42,96 b²
F3	46,78	49,71	38,81	45,10 ab²
F4	45,26	49,59	37,44	44,10 b²
F5	44,16	48,68	38,00	43,61 b²
F6	48,57	53,67	38,72	46,99 a²
F7	47,87	49,79	34,35	44,00 b²
Promedio anual	46,43 b¹	49,74 a¹	37,14 c¹	

Letras distintas marcan diferencias estadísticas entre los valores para cada prueba de Tukey

¹Tukey al 5 % para los promedios anuales; ²Tukey al 5 % para los promedios por fertilización

3.2.3 ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUELOS

En la Tabla 51, se encuentran los valores de la biomasa microbiana del suelo para 2 profundidades (0 a 7,5 cm; 7,5 a 15 cm) según la fertilización, al inicio y final del tercer año de investigación.

El mayor contenido de biomasa se obtuvo con la fertilización F5 (100 m³ de vinaza/ha/año) y la fertilización F6 (125 m³/ha/año de vinaza) con un promedio de 1,47 mg C-CO₂/g suelo seco y 1,45 mg C-CO₂/g suelo seco respectivamente, al inicio del tercer año.

Las fertilizaciones con vinaza superaron a la F1 (sin fertilización) en las 2 épocas de muestreo, lo que corrobora los resultados obtenidos por Taday, 2009, al evaluar la respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) híbrido Quantum a la aplicación de seis dosis de vinaza en un Mollisol, en donde se concluye que la biomasa microbiana del suelo más elevada estuvo asociada con la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza, con un promedio de 1,00 mg C- CO₂/g suelo seco en comparación al tratamiento sin vinaza que presentó un promedio de 0,62 mg C- CO₂/g suelo seco.

Tabla 51. Promedios de biomasa microbiana en el estudio del efecto de la vinaza

Fertilización	(mg C-CO ₂ /g suelo seco)			
	Muestreo inicial		Muestreo final	
	P1	P2	P1	P2
F1	1,35	1,24	0,85	0,72
F2	1,41	1,26	0,96	0,82
F3	1,39	1,24	0,95	0,77
F4	1,42	1,29	0,99	0,77
F5	1,47	1,26	1,02	0,80
F6	1,45	1,19	1,00	0,80
F7	1,39	1,21	0,92	0,63
Promedio por profundidad	1,41	1,24	0,96	0,76

P1= profundidad de 0 a 7,5 cm

P2 = profundidad de 7,5 a 15 cm

En la Tabla 51, no se observa una tendencia marcada por efecto de la aplicación de niveles crecientes de vinaza en la biomasa microbiana del suelo, sin embargo, se observa un ligero aumento no significativo de la biomasa a medida que se incrementaron los niveles de vinaza en la fertilización para la profundidad de 0 a 7,5 cm. El aumento de la actividad microbiana, se debe a la existencia en la vinaza de fuentes orgánicas que proporcionan energía para los microorganismos y aumenta la velocidad de crecimiento de la masa microbiana (Gazca, 2010).

Yanine, 2010, menciona que el crecimiento de microorganismos en el suelo, se encuentra influenciado por la fuente de elementos como C, N y P, los cuales son suministrados internamente por el sistema vegetal-animal o de una manera externa por el hombre en forma de fertilizantes y enmiendas orgánicas, por lo que se puede atribuir el incremento en la biomasa microbiana a la fuente de nutrientes proveniente de la fertilización con vinaza.

Para las 2 épocas de muestreo, los mayores valores de actividad microbiana se obtuvieron al inicio del ensayo, debido a que en el muestreo inicial (diciembre 2009), el suelo presentó mayor humedad debido a la precipitación presentada en el mes de muestreo, a comparación con el muestreo final (octubre 2010) en el cual disminuyó la precipitación, lo que se evidencia con los datos de precipitación, presentados en el Anexo IX. La actividad microbiana, medida por el CO₂

desprendido, está fuertemente relacionada con el contenido de humedad en el suelo. Cuando la disponibilidad de agua baja, se dificulta el crecimiento microbiano (Wild, 1992).

Finalmente, se observa una disminución de la biomasa microbiana del suelo a mayor profundidad. El promedio de la profundidad 0 a 7,5 cm superó al promedio de la profundidad de 7,5 a 10 cm en 13,70 % para el muestreo inicial y en 26,30 % en el muestreo final, dicha tendencia se produce por cuanto, en la superficie del suelo existen mejores condiciones para el desarrollo de los microorganismos en términos de agua, luz, materia orgánica, aire y nutrientes.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. El mayor rendimiento promedio de materia fresca, en los 3 años de estudio, se obtuvo en el año 1 (139,45 t/ha), seguido del año 2 (73,97 t/ha) y el año 3 (63,66 t/ha). Estas diferencias se basaron en la composición de la mezcla forrajera, la cual estuvo compuesta primordialmente por rye grass anual, cuyos rendimientos son altos en los primeros años de establecimiento de la pradera, para luego desaparecer y dar paso al crecimiento de las especies perennes como el pasto azul y rye grass perenne.
2. La fertilización con vinaza generó una respuesta positiva en los rendimientos promedios de forraje fresco, los mayores rendimientos promedios de materia fresca, en los 3 años de estudio, para las fertilizaciones, se produjeron con la fertilización química con un rendimiento de 103,58 t/ha de materia fresca, con las dosis de 100 m³/ha/año de vinaza y 125 m³/ha/año de vinaza, las cuales tuvieron un rendimiento de 99,96 t/ha de materia fresca.
3. El mayor rendimiento promedio de materia seca, en los 3 años de estudio, se alcanzó en el año 1 (23,75 t/ha), seguido del año 3 (12,77 t/ha) y el año 2 (11,99 t/ha). En este caso, el año 3 superó al año 2, por la alta participación de gramíneas en la mezcla forrajera en el año 3, las mismas que según el análisis del contenido de materia seca revelaron mayor porcentaje que las leguminosas.
4. Los mayores rendimientos promedios de materia seca, en los 3 años de estudio, para las fertilizaciones, se obtuvieron con la aplicación de la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza, con un rendimiento de 17,59 t/ha de materia seca y con la fertilización química, con un rendimiento de 18,33 t/ha de materia seca.

5. Con respecto a la composición botánica en la mezcla forrajera, las gramíneas tomaron posicionamiento en el transcurso de los años. Esto se produjo debido a características propias de las especies y a la favorable respuesta a la fertilización química y con vinaza. Por su parte, las leguminosas disminuyeron, debido al posicionamiento dominante que poseen las gramíneas perennes sembradas.
6. Las especies forrajeras extrajeron los nutrientes aportados por la vinaza, a más de los nutrientes disponibles en el suelo nativo. En el caso de K y S, existió un efecto acumulativo en el suelo, por la aplicación de dosis crecientes de vinaza. Al final del año 3, el contenido de K en el suelo pasó de 0,42 meq/100ml, obtenidos sin fertilización, a 1,64 meq/100ml con la dosis de 125 m³/ha/año de vinaza, mientras que el S pasó de 3,15 ppm sin fertilización a 31,50 ppm con la dosis de 125 m³/ha de vinaza. Las plantas se beneficiaron de estos elementos y además, se generaron excesos en el suelo. No obstante, la acumulación de K produjo desbalances en la relación Mg/K del suelo, lo que se presume fue una de las causas en disminución de los rendimientos de materia seca, en especial para las leguminosas, a partir de la dosis de 75 m³/ha/año de vinaza para el tercero y segundo año.
7. La aplicación de dosis crecientes de vinaza no causó efecto en el porcentaje de materia orgánica, densidad aparente, humedad gravimétrica en 3 años de aplicación de vinaza sobre un Andisol, mientras que el pH presentó incrementos en los valores al pasar de un pH de 5,38 obtenido sin fertilizar a un pH de 5,96 con aplicación de 125 m³/ha/año de vinaza.
8. La conductividad eléctrica al final del tercer año incrementó sus valores de 0,10 dS/m obtenidos sin fertilización a 0,53 dS/m con la aplicación de 125 m³/ha/año de vinaza; sin embargo, el análisis de suelo final reportó no salinidad, lo que muestra una respuesta favorable y no tóxica en la CE por la adición de vinaza al suelo durante un periodo de 3 años.

9. La capacidad de intercambio catiónico aumentó conforme se incrementaron los niveles de vinaza en la fertilización y pasó de 12,68 meq/100 g de suelo, obtenidos sin fertilización, a 14,20 meq/100 g de suelo, obtenidos con la aplicación de 125 m³/ha/año de vinaza, lo que mejoró el contenido de bases intercambiables en el suelo.

10. El contenido de biomasa se vio influenciado por la precipitación, se reportó mayor contenido de biomasa en la época de muestreo, que existió mayor precipitación, por lo que hubo mayor cantidad de humedad en el suelo, que benefició el crecimiento de microorganismos. Al inicio del ensayo se obtuvo un contenido promedio para las fertilizaciones de 1,41 mg C-CO₂/g de suelo seco para la profundidad de 0 a 7,5 cm y de 1,24 mg C-CO₂/g de suelo seco para la profundidad de 7,5 a 15 cm, mientras que al final se redujo a 0,96 mg C-CO₂/g de suelo seco para la profundidad de 0 a 7,5 cm y de 0,76 mg C-CO₂/g de suelo seco para la profundidad de 7,5 a 15 cm. No se observó una tendencia marcada por efecto de la aplicación de niveles crecientes de vinaza en la biomasa microbiana del suelo.

4.2 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

1. Aplicar la dosis de 50 m³/ha/año de vinaza, en mezclas forrajeras implantadas en Andisoles. Se recomienda esta dosis, puesto que existe una respuesta favorable del pasto, sin problemas de desbalance en las relaciones Mg/K.
2. Desarrollar un método de concentración de la vinaza, para eliminar parte del contenido de agua para facilitar el manejo y transporte de este fertilizante orgánico, a los sitios de cultivo mediante la formación de una cadena de distribución de vinaza, para los ganaderos de la zona de Machachi, por su cercanía a la fábrica Levapan-Ecuador S.A.
3. Continuar el estudio de la aplicación de vinaza, con dosis inferiores a los 50 m³/ha/año, para descartar posibles desbalances por la acumulación de K en el suelo en años subsiguientes, bajo esta concentración.
4. Estandarizar las concentraciones de nutrientes en la vinaza durante los procesos de producción, para obtener datos reales del contenido de nutrientes aportados por la vinaza.
5. Aplicar vinaza con dosis adicionales de P y N, para generar rendimientos óptimos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcalá, M., Hidalgo, C. y Gutiérrez, M., 2009, "Mineralogía y retención de fosfatos en Andisoles", <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/artpdfred.jsp?icve=57313040001>, (Enero, 20011).
2. Alcalde, M., Chio, R., Macera, C., Río, Z. y Rodríguez, M., 1990, "Especies agrosilvopastoriles para la zona alto andina", Revisión Bibliográfica, Cooperación Técnica del Gobierno Suizo, Organización Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Editorial Arbolandino, Pomata, Perú, pp. 63, 102-104, 157-159.
3. Arafat, S. y Yassen, A., 2002, "Agronomic evaluation of fertilizing efficiency of vinasse", 14th World Congress of Soil Science, Soil and Fertilizer Society of Thailand, Volumen II, Bangkok, Thailand, pp. 14-21.
4. Astudillo, A., 2000, "Manejo de páramos y zonas de altura. Sistemas de producción. Manejo de pastos de altura", Camaren - Sistema de capacitación para el manejo de recursos naturales renovables, Quito, Ecuador, pp. 67-69.
5. Basanta, R., García, D., Cervantes, M., Mata, V. y Bustos, V., 2007, "Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión", *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5(1), 293-305.
6. Bautista, Z., Durán, B. y Lozano, R., 2000, "Cambios químicos en el suelo por la aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 16(1), 89-101.
7. Becorral, M., 1987, "Efecto de los residuos de la industria azúcar alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña de azúcar en un Vertisol de Guanacaste, *Agronomía Costarricense*, 12(1), 147-153.
8. Bermúdez, S., Hoyos, H. y Rodríguez, P., 2000, "Evaluación de la disminución de la carga contaminante de la vinaza de destilería por tratamiento anaerobio", *Revista de Contaminación Ambiental*, 16(3), 103-107.

9. Bernal, J. y Espinosa, J., 2003, "Manual de nutrición y fertilización de pastos", INPOFOS, Quito – Ecuador, pp. 24-62.
10. Bernal, J., 2005, "Manual de manejo de pastos cultivados para las zonas alto andinas", Departamento de Crianzas, Dirección General de Promoción Agraria, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú, p. 25.
11. Brito, F. y Rolim, M., 2005, "Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça", *Agropecuária Técnica*, 26(60), 60-67.
12. Campillo, R. y Rodríguez J., 1984, "Efecto acidificante de las transformaciones de la urea en dos Andisoles de la Región de Los Lagos", *Agricultura Técnica*, 44(131), pp. 131-138.
13. Canals, R., Peralta, J. y Zubiri, E., 2009, "Flora Pratense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica", Universidad Pública de Navarra, Pamplona - España. http://www.unavarra.es/servicio/herbario/pratenses/htm/creditos_p.htm, (Noviembre, 2010).
14. Cañadas, L., 1983, "El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador", MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador, pp. 41-172.
15. Casanova, M., Vera, W., Luzio, W. y Salazar O., 2004, "Edafología: Guía de clases práctica", Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos, Chile, p. 67.
16. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar), 2009, "Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2008-2009", Guatemala, pp. 173-180
17. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), 1988, "Establecimiento y renovación de pasturas", memorias de la VI Reunión del Comité Asesor de la RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales), Veracruz, México, pp. 162-179.

18. Cordovés, M., 2009, "Impactos y soluciones ambientales en el sector agroindustrial cañero", Instituto Cubano de investigaciones sobre los derivados de la caña de azúcar, La Habana, Cuba, p. 44.
19. Crissman, C. y Espinosa, P., 2002, "Impactos del uso de plaguicidas en la producción, salud y medio ambiente en Carchi", CIP-INIAP-Abya Yala, Quito, Ecuador, p. 300.
20. Díaz, O. y Lobo, M., 2001, "Agrostología", editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, p. 27,35.
21. Espinosa, J., 2004, "Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica", *Informaciones Agronómicas* 55(5), 5-6.
22. Espinosa, J., 2008, "Distribución, uso y manejo de los suelos en la región andina", XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, <http://www.secsuelo.org/PDFs%20Articulos/Sesion%20Plenaria/1.%20Dr.%20Jose%20Espinosa.pdf>, (Diciembre, 2010).
23. Espinosa, J. y Molina, E., 1999, "Acidez y encalado de los suelos", Internacional Plant Nutricion Institute (IPNI), Quito, Ecuador, p. 25.
24. Finck, A., 1988, "Fertilizantes y fertilización", editorial Reverté, S. A., Barcelona, España, pp. 193, 267.
25. Flores, P., 2009, "Lixiviación de potasio, contenidos nutrimentales en el suelo y alfalfa en respuesta a dosis de vinaza", Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias, Montecillo, Texcoco, México, pp. 52-58.
26. García, M., 1986, "Aplicación de vinaza como abono en maíz (*Zea mays, L.*) y su efecto sobre las propiedades químicas del suelo", Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica, p. 57.

27. García, O. y Rojas, C., 2006, "Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos", *Revista Técnicaña*, 17(3), 3-13.
28. Gazca, C., 2010, "Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana", Trabajo de grado para optar al título de Magíster en ciencias agropecuarias, línea de investigación en suelos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia, pp. 25-30.
29. Gómez, D., 2005, "Praticultura", Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España, p. 9.
30. Gómez, P., 2009, "Nutrición líquida de la caña de azúcar con vinaza", *Revista Técnicaña*, 21(1), 31-32.
31. González, A., Maldonado, F. y Mejía L., 1986. "Memoria Explicativa del Mapa General de Suelos del Ecuador", Sociedad ecuatoriana de la ciencia del suelo, Quito, Ecuador, pp. 23-25.
32. González, G., 1985, "Métodos estadísticos y principios de diseño experimental", 2da. Edición, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 49-50.
33. González, J., 2009, "Evaluación de tres sistemas silvopastoriles para la gestión sostenible de los recursos naturales de la micro cuenca del río Chimborazo", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 34-39.
34. Henríquez, C. y Cabalceta, G., 1999, "Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola", Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, Costa Rica, pp. 34-42.
35. Herrera, C., Fierro, L. y Dilmer, J., 2000, "Manejo integrado del cultivo de papa, Manual técnico", Coprpoica, Bogotá, Colombia, pp. 94, 106.

36. Hernández, G., Salgado, S., Palma, D., Lagunes, L., Castelán, M. y Ruiz, O., 2008, "Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol mólico de Chiapas", <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n11/art16.pdf>, (Enero 2011).
37. Horwath, W., 1994, "Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties", Michigan State University, East Lansing, Michigan, EEUU pp. 754–761.
38. Hofstede, R., Lips, J. y Jongsman, W., 1998, "Geografía, ecología y forestación de la sierra alta del Ecuador", Ediciones Abya-Yala, Quito, Ecuador, pp. 21- 25.
39. INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), 2009. Boletín meteorológico. Quito, Ecuador, p. 28.
40. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias), 2010, "Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas", Estación Experimental Santa Catalina, Quito, Ecuador.
41. INIAP, 2008, "Reporte de Análisis de Suelos del Laboratorio, Plantas y Aguas", DMSA-EESC, Quito, Ecuador.
42. INPOFOS (Instituto del la Potasa y el Fósforo), 1988, "Manual de fertilidad de los suelos", Atlanta, Georgia, EEUU, p. 20.
43. Ishizuka, Y. y Black, C., 1980, "Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón", CYMMYT, México D.F., México, pp. 15-90.
44. IUSS (International Union of Soil Sciences), 2007, "Base Referencial Mundial del Recurso Suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional", 1ra actualización, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos, No. 103, FAO, Roma, p. 70.
45. Jacobsen, E. y Sherwood, S., 2002, "Cultivo de granos andinos en el Ecuador: Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto", CIP-CRS-FAO. Quito, Ecuador, pp. 10.

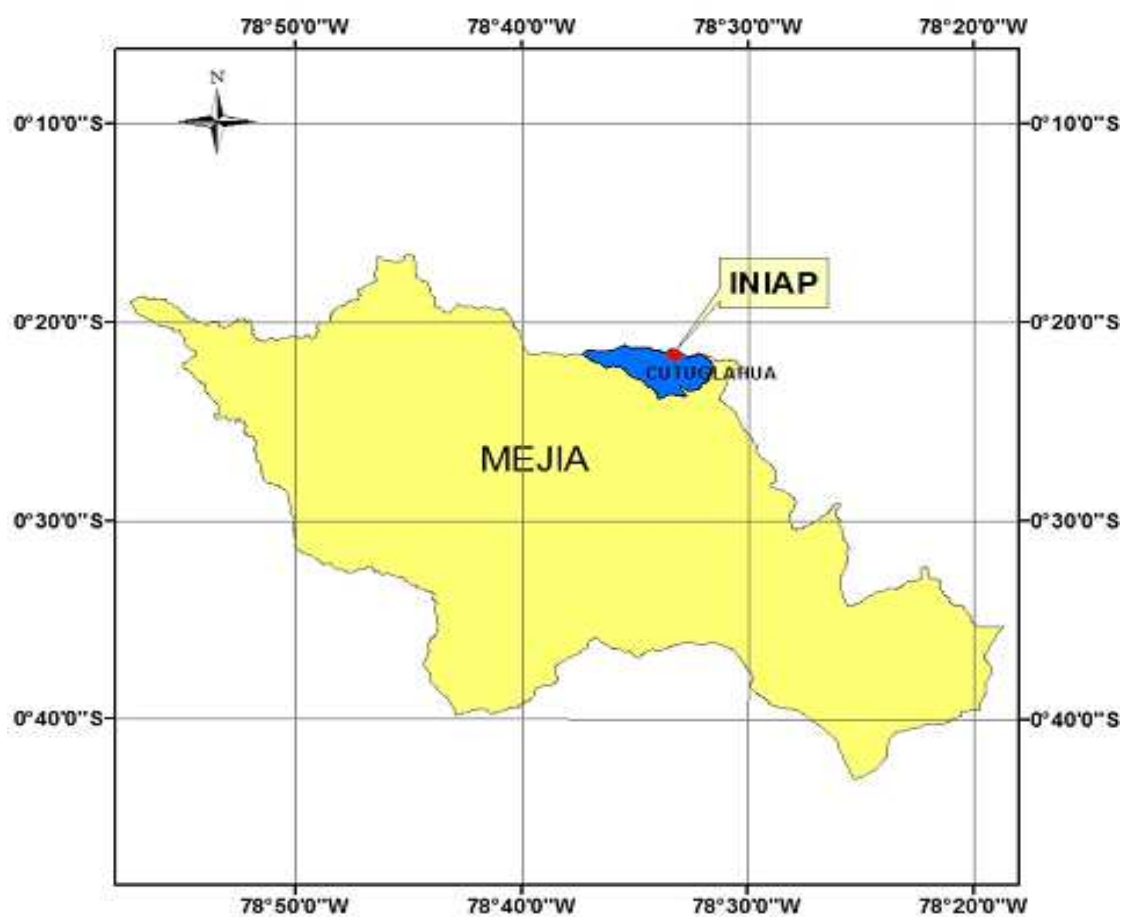
46. Jaramillo, R., 2010, "Efecto de la vinaza, en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un Andisol", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, pp. 51-89.
47. León, C. e Izquierdo, F., 1993, "Producción y utilización de los pastizales de la zona alta andina", Red de Pastizales Andinos (REPAAN), Quito, Ecuador, pp. 45-53.
48. León, R., 2003, "Pastos y Forraje: Producción y Manejo", Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 72-200.
49. Luna, C., 1982, "Suelos derivados de cenizas volcánicas del Departamento de Huila", Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Colombia-Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, pp. 1-47.
50. Machado, G., 2007, "Vinaza: características, uso y manejo", <http://www.mem.gob.gt/portal/documents/imglinks/2007-11/750/10.pdf>, (Enero, 2010).
51. Medina, G., 2006, "Usos y alternativas de las vinazas de acuerdo con su composición química", http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p14-18.pdf (Enero, 2001).
52. Mejía, L., 1997, "Reconocimiento general de los suelos del Ecuador con base en su capacidad – fertilidad: Una interpretación básica sobre las características de los suelos del Ecuador", Quito, Ecuador, p. 29.
53. Méndez, V. y Monge, J., 2007, "Costa Rica historia natural", Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 58-59.
54. Meza, E. y Geissert D., 2006, "Estabilidad de estructura en Andisoles de uso forestal y cultivados", <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311108002>, (Agosto 2011).

55. Mizota, C. y Reeuwijk, L., 1989, "Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions", Internacional Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, Netherlands, pp.1-4.
56. Mora, M., 2010, "Evaluación del efecto de la aplicación de niveles de vinaza y riego por goteo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosa*) variedad INIAP-Estela. Tumbaco, Pichincha", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 34-50.
57. Moreno, C., 1995. "Pastos y forraje", Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, p. 38.
58. Narváez, M., 2008, "Evaluación de actividad de fosfatasas y deshidrogenasas por efecto de la aplicación de vinazas en suelos cultivados con maíz dulce *Zea mays* L., Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Tesis de Maestría. pp. 10-50
59. Nieto, C., Ramos, R. y Galarza, J., 2004, "Sistemas Agroforestales aplicables en la Sierra Ecuatoriana", INIAP-PROMSA, Editorial Nueva Jerusalén, Quito, Ecuador, Boletín técnico No. 122. pp. 10-11.
60. Obando, F. y Montes, M., 2004, "Calidad inherente y dinámica de Andisoles del Departamento de Caldas", Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia, pp. 1-16.
61. Paladines, O., 1992, "Metodología de pastizales para trabajar en fincas y proyectos de desarrollo agropecuario", Proyecto de Fomento Ganadero, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador, pp. 37-38.
62. Paladines, O., 1997, "Especies forrajeras de mayor uso en el Ecuador" Quito, Ecuador, p. 50.
63. Paladines, O., 2004, "Estabilidad y persistencia de las pasturas", Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, pp. 38-68.

64. Pavón, J., 2010, "Respuesta de una mezcla forrajera en un suelo Andisol a la fertilización con vinaza segundo ciclo de aplicación. Cutuglahua, Pichincha", Proyecto previo a la obtención de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 30-78.
65. Quintero, D., 2003, "Resultados preliminares y proyecciones acerca del uso de la vinaza en Colombia", VI Congreso colombiano de asociación de técnicos de la caña de azúcar, Editorial Tecnicaña, Cali, Colombia, pp. 113-121.
66. Reyes, E., 2009, "Efecto de niveles de vinaza en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) variedad INIAP-122 Chaucho Mejorado en choclo y los cambios físico-químicos y biológicos producidos en el suelo", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, p. 100.
67. Rivas, S., Bautista, Z. y Durán, B., 1996, "Estudio y evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas aledaños al ingenio azucarero "El Potrero" en Córdoba, Veracruz, México", Programa de Ingeniería Química Ambiental, Editorial Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., p. 67.
68. Salazar, M., 2000, "Efecto de la fertilización orgánica, química y su complementariedad en la producción de una mezcla forrajera de gramíneas - leguminosas Tumbaco-Pichincha", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 2-9.
69. Sarria, P. y Preston, R., 1992, "Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio de torta en dietas de cerdo de engorde", *Livestock Research for Rural Development*, 4 (1).
70. Seguel, O., Ellies, A., Macdonald, R. y Ramírez C., 2002, "Propiedades mecánicas en suelos sometidos a distintos usos", *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 2(54) pp. 54-61.

71. SICA/MAGAP, 2002, "III Censo Nacional Agropecuario 2000", <http://www.sica.gov.ec/>, (Febrero 2010).
72. Taday, N., 2009, "Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad quantum a la aplicación de seis dosis de vinaza en un Molisol. Tumbaco, Pichincha", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, p. 24.
73. USDA (United States Department of Agriculture), 2006, "Claves para la taxonomía de suelos", Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de los Recursos Naturales, Washington, Estados Unidos, p. 15.
74. Usón, A., Boixadera, J., Bosch, A. y Martín, E., 2010, "Tecnología de suelos: Estudio de caso", Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, España, pp. 379-380.
75. Varadachari C., Haque, M., Dulal, C. y Ghosh, K., 1994, "Clay-humus complexation: Effect of pH and the nature of bonding", *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1145-1149.
76. Wild, A., 1992, "Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell", Mundi-Prensa, Madrid, España, p. 510
77. Yanine, H., 2010, "Evaluación de la diversidad de bacterias degradadoras de hidrocarburos aisladas de suelos de las cuencas de los ríos Otún y la Vieja", Trabajo de grado presentado como requisito final para optar al título de Magister Scientiae en Microbiología, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Postgrado Microbiología Interfacultades, Bogotá, Colombia, p. 28.

ANEXOS

ANEXO I. Mapa de la ubicación del ensayo

ANEXO II. Descripción de los métodos usados en los análisis foliares de la mezcla forrajera

Las metodologías, a continuación descritas, pertenecen a manuales elaborados por el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, 2000.

A.2.1 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL - MÉTODO SEMIMICRO KJELDAH

A. Objetivo

Determinar el contenido de N en la planta, para poder diagnosticar la carencia o toxicidad de este elemento a nivel foliar y así, en relación con el análisis de suelo, recomendar una fertilización adecuada.

B. Principio

El análisis de N foliar se realiza mediante el tratamiento de la muestra con ácido sulfúrico, en presencia de catalizadores, como el sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de selenio. Este proceso llamado digestión produce anhídrido carbónico, agua, anhídrido sulfuroso y sulfato de amonio. Este último es destilado y recogido en una solución de ácido bórico, para finalmente ser valorado a través de una titulación con ácido sulfúrico, mediante el uso de verde de bromocresol y rojo de metilo, como indicadores.

C. Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución de ácido bórico con indicador 2 %
- Mezcla de indicadores: verde de bromocresol y rojo de metilo
- Mezcla de catalizadores: sulfato de potasio, sulfato de cobre y óxido de selenio
- Hidróxido de sodio 10 N
- Ácido sulfúrico 0,05 N

D. Procedimiento

- **DIGESTIÓN**

Pesar en un frasco micro-Kjeldahl 0,1 g de material vegetal molido y tamizado en una malla # 40. Adicionar 0,55 g de mezcla de catalizadores. Seguidamente, añadir 1,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, colocar a calentar en la unidad digestora Labconco modelo 23012 (Ciudad de Kansas-EEUU) a temperatura media alta (175 °C) hasta que el digestado se torne claro. Llevar la muestra a ebullición por 1 hora, a partir de este momento. En esta fase la temperatura debe regularse, de modo que los vapores de ácido sulfúrico se condensen en el tercio inferior del cuello del tubo de digestión (450 °C). Una vez completada esta etapa dejar enfriar el frasco y agregar suficiente agua para colocar el digestado en suspensión (15 o 20 ml de agua son generalmente suficientes). Dejar decantar las partículas de sílice y evitar la precipitación de cristales de sulfato de amonio.

- **DESTILACIÓN**

Transferir el digestado líquido a la cámara de destilación. Es conveniente lavar el matraz de digestión con pequeñas porciones de agua. Colocar en el tubo de salida del aparato de destilación, un matraz erlenmeyer, de 125 ml, con 10 ml de la solución de H_3BO_3 y la mezcla de indicadores. Adicionar cuidadosamente 10 ml de NaOH 10 N, de modo que la sosa se deposite en el fondo de la cámara de destilación al abrir el grifo del embudo.

Cuando se tenga casi 1 ml, en el embudo, lavar el embudo rápidamente con 15 ml de agua y cerrar el grifo del embudo. Conectar el flujo de vapor e iniciar la destilación. Destilar hasta que el volumen alcance la marca de los 50 ml en el frasco receptor, detener la destilación mediante la apertura del tubo de paso de vapor, lavar el condensador cuanto tiempo sea posible.

- **TITULACIÓN**

Con la ayuda de una bureta graduada a 50 ml, titular el destilado con ácido sulfúrico estandarizado. El cambio de color de verde a purpura-rojizo indica el punto final de la titulación. Los mismos pasos realizados con la muestra problema,

se deberán seguir con 1 o 2 blancos (digestión, destilación y titulación), las que servirán para realizar los cálculos del porcentaje de nitrógeno amoniacal.

A.2.2 DETERMINACIÓN DE MACRO y MICRONUTRIENTES – DIGESTIÓN HÚMEDA

A. Objetivo

Determinar el contenido de K, Ca, Mg, P, S, B, Zn, Cu, Fe y Mn, en muestras foliares, a través de una digestión húmeda, con ácido nítrico - perclórico.

B. Principio

La muestra es tratada con la mezcla nitro - perclórica, cuyo efecto es la destrucción de la materia orgánica y conversión de la misma en dióxido de carbono (CO₂). Consecuentemente, los minerales son los que prevalecen en la solución.

C. Reactivos

- Ácido nítrico concentrado
- Ácido perclórico al 72 %
- Solución de ácido nítrico 0,1 N

D. Procedimiento

- Pesar 0,25 g de material vegetal seco y molido y colocar en un florín de 50 ml.
- Agregar 5 ml de la mezcla de ácido nítrico – perclórico, relación 5:1 y adicionar 3 ó 4 núcleos de ebullición para reducir la formación de espuma.
- Colocar los florines en una plancha de digestión Thermolyne modelo HPA-2235M (Iowa-EEUU), precalentada a 100 °C, esperar 15 minutos y elevar la temperatura a 200 °C, esperar que todos los humos p ardos del ácido nítrico se evaporen. El proceso de eliminación del ácido nítrico toma entre 35 a 40 minutos.
- Elevar la temperatura a 300 °C, después de unos 15 a 20 minutos, a 400 °C y observar el comienzo de la reacción del ácido perclórico. Esta se manifiesta

por la aparición de humos blancos y la reacción violenta del ácido. La digestión se considera completa cuando no existe la emisión de ningún tipo de humos y el producto es transparente.

- Dejar enfriar y añadir 25 ml de agua desmineralizada, agitar la solución para lavar los lados del frasco y filtrar.

NOTA: La solución de ácido nítrico 0,1 N es utilizada como blanco para la determinación de todos los macro y micronutrientes, con excepción del fósforo, azufre y boro.

A.2.3 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

A. Objetivo

Determinar el contenido de P en la planta, para diagnosticar carencia o toxicidad del mismo a nivel foliar y conjuntamente con el análisis de suelo, recomendar una fertilización adecuada.

B. Principio

- Por el método del metavanadato de amonio, el P en presencia del vanadio (V^{+5}) y el molibdeno (Mo^{+6}), forma un complejo (fosfo-vanado-molibdato) de color amarillo, el cual puede ser valorado fotocolorimétricamente a una longitud de onda de 400 nm.

C. Reactivos

- Reactivo de Barton's (metavanadato y molibdato)
- Solución estándar de fósforo

D. Procedimiento

- Tomar 0,5 ml de filtrado (digestión húmeda).
- Agregar 4 ml de agua destilada y 0,5 ml del reactivo de Barton's y agitar.

- Realizar la curva de calibrado; tomar 0,5; 1; 1,5 y 2 ml de la solución patrón de fósforo de 10 ppm, añadir 0,5 del reactivo para el desarrollo del color y completar todos los puntos de la curva con agua destilada hasta 5.
- Agitar y esperar 10 minutos para el desarrollo de color (amarillo).
- Leer en el fotocolorímetro Shimadzu UV-VIS 1201 (Kioto-Japón), a una longitud de onda de 400 nm.
- Construir la curva de calibración con las siguientes concentraciones: 0 - 1 - 2 - 3 y 4 ppm de fósforo.
- Interpolar los datos de absorbancia. Los valores de concentración serán multiplicados por 0,1, para ser expresados en unidades de porcentaje.

A.2.4 DETERMINACIÓN DE POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

A. Objetivo

Determinar el contenido de K, Ca y Mg, mediante espectrofotometría de absorción atómica, luego de haber realizado la digestión húmeda de la muestra foliar con la mezcla nítrica-perclórica.

B. Principio

Los elementos en solución son atomizados en la llama acetileno – aire, que permite que dichos elementos absorban la radiación emitida por una lámpara específica para cada uno de ellos. La absorción es proporcional al número de átomos presentes en la solución.

C. Reactivos

- Solución de óxido de lantano al 1 %
- Solución patrón de 500 ppm K, 750 ppm Ca y 100 ppm Mg

D. Procedimiento

- Tomar 1 ml de filtrado y agregar 24 ml de agua destilada.

- Tomar 2 ml de la solución anterior, agregar 10 ml de agua destilada y 8 ml de la solución de óxido de lantano al 1 %.
- Preparar la curva de calibración, según el manual de procedimiento.
- Realizar las lecturas con el espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Kioto-Japón)

A.2.5 DETERMINACIÓN DE COBRE, HIERRO, MANGANESO Y ZINC

A. Objetivo

Determinar en el material vegetal, el contenido de micronutrientes: Zn, Cu, Fe y Mn; lo que permite diagnosticar una carencia o toxicidad de los mismos a nivel foliar.

B. Principio

Determinación de micronutrientes por espectrofotometría de absorción atómica, luego de haber realizado la digestión húmeda de la muestra con la mezcla nítrica - perclórica. Los elementos en solución son atomizados en la llama acetileno - aire, la que permite que los mismos absorban la radiación emitida por una lámpara específica para cada elemento analizado, la absorción es proporcional al número de átomos presentes en la solución.

C. Reactivos

- Solución patrón de 2 ppm Cu, 1 ppm Zn, 5 ppm Fe y 4 ppm Mn

D. Procedimiento

- Usar el filtrado original de la digestión húmeda y analizar directamente por absorción atómica, mediante el uso del espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Kioto-Japón).
- Hacer la curva de calibración, según el manual de procedimiento.

NOTA: Los recipientes en los cuales se mezcla la muestra con los reactivos deberán ser de plástico desechable, debido a que es muy difícil lavar bien estos recipientes para evitar futura contaminación.

A.2.6 DETERMINACIÓN DE BORO

A. Objetivo

Determinar el contenido de B, en muestras foliares.

B. Principio

La muestra es sujeta a una digestión húmeda con ácido nítrico-perclórico, a través de los pasos indicados en la sección titulada como "Determinación de macro y micronutrientes-digestión húmeda".

C. Reactivos

- Curcumina (en ácido glacial acético)
- Ácido sulfúrico concentrado
- Metanol o etanol
- Nitrato de magnesio en metanol
- Solución de ácido acético: agua (1:5)
- Soluciones patrón de boro de 1 ppm
- Soluciones estándares de boro

D. Procedimiento

- Tomar 0.5 ml de muestra (filtrado), agregar 4 ml de curcumina y mezclar perfectamente.
- Agregar 1 ml ácido sulfúrico concentrado, mezclar y dejarlo reposar unos minutos bajo la sorbona Labconco modelo 64132 (Ciudad de Kansas, EEUU).
- Tomar 1 ml de la dilución anterior y agregar 5 ml de metanol o etanol.
- Mezclar y dejar reposar durante treinta minutos.
- Determinar la curva de calibración, comprendida entre 0 y 1 ppm de boro, con una solución blanco de ácido acético:agua (1:5) y como punto alto, la solución de 1 ppm de boro.
- Leer en el fotolorímetro Shimadzu UV-VIS 1201 (Kioto, Japón) a una longitud de onda de 555 nm.

A.2.7 DETERMINACIÓN DE AZUFRE

A. Reactivos

- Solución patrón de azufre de 10 ppm
- Solución de goma de acacia al 0,25 %
- Solución de cloruro de bario al 10 %

B. Procedimiento

- Tomar 0,5 ml del filtrado de la digestión húmeda.
- Añadir 4 ml de agua destilada y agregar 0,5 ml del reactivo de desarrollo del color.
- Preparar la curva de calibración con 0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 y 2,0 ml del estándar de 10 ppm de azufre, luego añadir 0,5 ml del reactivo de desarrollo de color y completar con agua a 5 ml.
- Agitar y esperar 30 minutos antes de leer con el espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Kioto-Japón), a una longitud de onda de 450 nm.
- Construir la curva de calibración e interpolar el dato de concentración de azufre.

ANEXO III. Descripción de los métodos usados en el análisis físico químico de suelos

Las metodologías, a continuación descritas, pertenecen a manuales elaborados por el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Santa Catalina, 2000.

A.3.1 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONICAL

A. Objetivo

Cuantificar el nitrógeno amoniacal disponible para las plantas, en el suelo.

B. Principio

El compuesto de azul indofenol se obtiene en la reacción a pH alto del amonio e hipoclorito. El calcio y el magnesio forman complejos con el citrato para evitar interferencias.

C. Equipos y materiales

- Fotocolorímetro
- Balanza Analítica Shimadzu, modelo AEG-220 (Kioto, Japón)
- Agitador Automático axial Thermolyne modelo M-49125 (Iowa, EEUU)
- Dispensador de volumen
- Bandejas porta vasos
- Carros para transporte de bandejas
- Medidores de suelos de capacidad de 2,5 - 5 - 10 mL

D. Reactivos

- Fenol
- Hidróxido de sodio
- Hipoclorito de sodio
- Agua destilada

- Cloruro de amonio
- Solución patrón de nitrógeno

E. Procedimiento

- Medir 2,5 mL de suelo, agregar 25 mL de solución extractante (Olsen Modificado pH 8,5), agitar 10 minutos y filtrar.
- Tomar 1 mL del filtrado, agregar 4 mL de fenol básico y agregar 5 mL de solución de hipoclorito. Dejar reposar por 1 hora en oscuridad.
- Hacer la curva de calibración, como punto alto la solución patrón de 10 µg/mL y como cero la solución extractante.
- Leer absorbancia a una longitud de onda de 630 nm.
- Construir la curva de calibración con las siguientes concentraciones: 0 - 25 - 50 - 75 - 100 ppm N-NH₄⁺.
- Interpolar los datos de absorbancia de las muestras en la curva de calibración antes construida y reportar directamente en mg de N por 1 000 mL de suelo (ppm).

A.3.2 DETERMINACIÓN DE POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

A. Objetivo

Determinar la cantidad de K, Ca y Mg extraído por la solución Olsen (pH 8,5).

B. Principio

Los elementos K, Ca y Mg en solución, son atomizados en la llama aire – acetileno, lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes. La adición de óxido de lantano se hace con el fin de eliminar la interferencia de carácter químico.

C. Materiales y equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Kioto-Japón)
- Bandejas de extracción y dilución

- Diluidores
- Cuchareta calibrada
- Pipetas volumétricas

D. Reactivos

- Solución de lantano al 1 %
- Solución Patrón: 5 000 µg/ml de K, 12 500 µg/ml de Ca y 5 000 µg/ml de Mg
- Solución Olsen modificado

E. Procedimiento

- Tomar 2,5 mL de suelo y adicionar 25 mL de la solución extractante (Olsen Modificado pH 8,5), agitar 10 minutos y filtrar.
- Tomar 1 mL del filtrado, agregar 20 mL de agua destilada y añadir 4 mL de solución de lantano.
- Hacer la curva de calibrado, según el manual de procedimientos.
- Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

A.3.3 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

A. Objetivo

Cuantificar el fósforo disponible para las plantas en el suelo.

B. Principio

Se basa en la medición de la intensidad de color producido por el complejo azul de Fosfomolibdato. Este complejo que es heteropoliácido se forma por la reacción del ión ortofosfato con el ión molibdato en medio ácido. El ácido ascórbico reduce parcialmente el complejo formado y genera el color azul.

C. Materiales y equipos

- Fotocolorímetro Shimadzu UV-VIS 1201 (Kioto-Japón)

- Bandejas de extracción y dilución
- Diluidores
- Pipetas volumétricas

D. Reactivos

- Tartrato de potasio y antimonio
- Ácido sulfúrico concentrado
- Molibdato de amonio
- Goma de acacia
- Ácido ascórbico
- Fosfato monobásico
- Solución "A" reactivo concentrado
- Solución "B" reactivo de color para fósforo
- Solución patrón de fósforo

E. Procedimiento

- Colocar 2,5 mL de suelo y 25 mL de la solución extractante (Olsen Modificado pH 8.5), agitar por 10 minutos a una velocidad de 400 rpm y filtrar.
- Tomar 1 mL del filtrado, añadir 4 mL de agua destilada y 5 mL del reactivo de color B de molibdato de amonio. Dejar reposar 1 hora.
- Hacer la curva de calibrado, según el manual de procedimientos.
- Leer la absorbancia en el fotolorímetro a una longitud de onda de 680 nm.

A.3.4 DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS (COBRE, HIERRO, MANGANESO Y ZINC)

A. Objetivo

Determinar la cantidad de zinc, cobre, hierro y manganeso extraída por la solución Olsen (pH 8.5).

B. Principio

Los elementos Cu, Fe, Mn y Zn en solución son atomizados en la llama aire - acetileno, lo que permite que se absorba la radiación, proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes.

C. Equipos y materiales

- Espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-680 (Kioto-Japón)
- Diluidores
- Pipetas volumétricas
- Cuchareta calibrada
- Bandejas de extracción

D. Reactivos

- Sulfato de cobre
- Sulfato ferroso amoniacal
- Zinc metálico
- Sulfato de manganeso
- Ácido nítrico diluido

E. Procedimiento

- Tomar 2,5 mL de suelo y 25 mL de la solución extractante (Olsen Modificado pH 8,5). Agitar 10 minutos y filtrar.
- Hacer la curva de calibrado.
- Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica directamente del filtrado.

A.3.5 DETERMINACIÓN DE AZUFRE Y BORO

A. Principio

El sulfato presente en la muestra es precipitado en una solución ácida de BaCl_2 , bajo condiciones controladas se forman cristales de BaSO_4 de tamaño uniforme

que quedan en suspensión y forma una solución turbidimétrica. De esta suspensión es medida la concentración de S a partir de una curva estándar.

B. Reactivos

- Solución ácida de inicio de la reacción
- Reactivo turbidimétrico-solución de cloruro de bario al 10 %
- Solución patrón de azufre

C. Procedimiento

- Tomar 2,5 mL del filtrado, añadir 0,5 mL de solución ácida de inicio de reacción y 2 mL de solución de cloruro de bario al 10 % y dejar reposar por 30 minutos.
- Leer a una longitud de onda de 420 nm, en el fotolorímetro Shimadzu UV-VIS 1201 (Kioto-Japón)
- Preparar la curva de calibración, según el manual de procedimientos.
- Interpoler los datos de absorbancia en la curva y expresar los resultados en mg de S por 1 000 mL de suelo.

A.3.6 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA - MÉTODO DE WALKLEY Y BLACK

A. Objetivo

Obtener la concentración de carbón orgánico, para calcular la relación carbón – nitrógeno, a fin de determinar el grado de formación, la evolución de un suelo y la disponibilidad del nitrógeno para las plantas y los microorganismos. El carbono orgánico tiene también, a través de la materia orgánica, acción en la estabilidad estructural, la capacidad de intercambio y el desarrollo de los microorganismos.

B. Principio

Oxidación en frío del carbono por un exceso de dicromato de potasio en medio sulfúrico y dosificación del exceso de dicromato de potasio con la sal de Morh.

C. Equipos y materiales

- Balanza analítica Shimadzu AEG-220 (Kioto-Japón)
- Erlenmeyers de 250 mL
- Buretas de precisión de 25 mL
- Pipetas de diferentes volúmenes
- Probetas
- Vasos
- Cronómetro

D. Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido ortofosfórico concentrado
- Solución de dicromato de potasio 1 N
- Difenilamina
- Solución de sulfato ferroso 0.5 N

E. Procedimiento

- La muestra de suelo debe estar molida y libre de raicillas y restos de materia orgánica grandes, para el efecto, la muestra deberá ser tamizada sobre papel encerado (tamiz de 0,25 mm).
- Pesar de 0,1 g de suelo cuando existe mucha materia orgánica y 0,5 g cuando el suelo tiene poca materia orgánica.
- Agregar 5 mL de dicromato de potasio 1 N, por muestra y añadir 10 mL de ácido sulfúrico concentrado al 97 %, por muestra.
- Agitar suavemente durante un minuto a fin de homogenizar y evitar que la muestra se adhiera a las paredes.
- Dejar en reposo durante 30 minutos. Luego de este tiempo agregar en el siguiente orden: 100 mL de agua destilada, 5 mL de ácido fosfórico al 85% y 5 gotas de difenilamina.
- Titular el exceso de dicromato por medio de la solución de sal de Morh de concentración 0.5 N.

A.3.7 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO – MÉTODO DEL CLORURO DE BARIO

A. Objetivo

Cuantificar las bases intercambiables y su capacidad de intercambio.

B. Principio

Los iones de suelo son extraídos con una solución de cloruro de bario, con el fin de reemplazar todos los cationes por bario. Posteriormente, se substituye el bario fijado por magnesio, mediante una solución de sulfato de magnesio. La determinación del magnesio invertido en reemplazar el bario por valoración del magnesio presente en una alícuota del extracto obtenido con la solución de sulfato de magnesio, permite calcular la capacidad de intercambio catiónico.

C. Reactivos

- Cloruro de bario 0,1 M
- Cloruro de bario 0,002 M
- Sulfato de magnesio 0,01 M

D. Procedimiento

- Pesar en un tubo de centrifuga, 2 g de suelo seco y molido.
- Añadir 20 mL de cloruro de bario 0,1 M y agitar por 2 horas.
- Centrifugar por 10 minutos, sacar el sobrenadante y filtrar, analizar calcio, magnesio, potasio y sodio; expresar estos resultados en meq/100 g de suelo.
- Añadir 20 mL de cloruro de bario 0,002 M (lavado del suelo), agitar por 1 hora y centrifugar por 10 minutos. Descartar el sobrenadante.
- Repetir 2 veces más la agitación y centrifugación con cloruro de bario 0,002 M, son en total tres veces).
- Añadir 20 mL de sulfato de magnesio 0,01 M. Agitar toda la noche y centrifugar por 5 minutos.

- Determinar el contenido de Mg en el sobrenadante para calcular la CIC en meq/100 g de suelo.
- Determinar la concentración de Mg en la solución 0,01 M de sulfato de magnesio, para establecer la diferencia con la cantidad de Mg obtenido en el sobrenadante.

A.3.8 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

A. Objetivo

Determinar el contenido de sales solubles presentes en el suelo, cuyo resultado es importante para cálculos de riego y para establecer la factibilidad de utilización del mismo en la agricultura u otros usos.

B. Principio

La medición se basa en el principio de las sales disueltas que conducen la corriente eléctrica en proporción a la concentración de las sales o constituyentes ionizados. La conductividad equivalente se define como la conductividad de una cantidad de dilución que contenga un equivalente gramo del electrolito, colocada entre los electrodos separados 1 cm y dispuestos de modo que cubran los lados opuestos del volumen de la solución. Los datos se expresan en dS/m.

C. Reactivos

- Solución de cloruro de potasio 0,01 M

D. Equipos y materiales

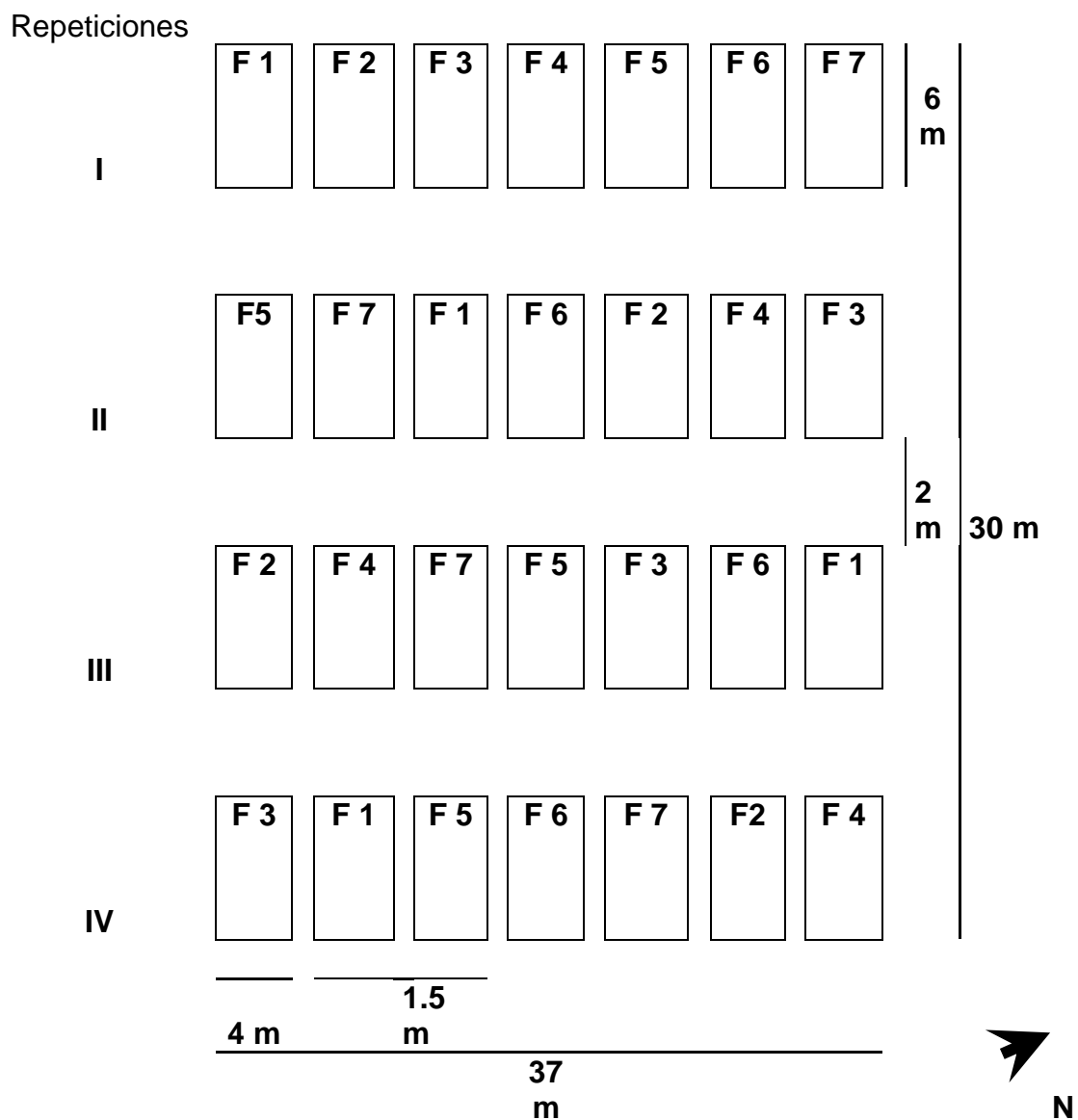
- Vasos de Beaker 250 mL plástico
- Embudo Buchner
- Puente de conductancia (conductímetro)
- Papel filtro cualitativo
- Bomba de vacío
- Tubos de ensayo

- Varillas

E. Procedimiento

PASTA SATURADA DEL SUELO.- Tomar 100 mL de suelo previamente pasado por un tamiz de 2 mm, agregar agua destilada y agitar con una varilla de vidrio o espátula. Al saturarse la pasta, brilla por la reflexión de luz; fluye ligeramente si se inclina el recipiente. Después de mezclar se debe dejar reposar la muestra 24 horas antes de filtrar en un embudo Buchner mientras se aplica vacío. Medir la resistencia eléctrica de la suspensión en las escalas dadas por el equipo.

ANEXO IV. Distribución del ensayo



Superficie

Total: 1110 m² (37 x 30m)

Neta: 672 m² (28 parcelas de 24 m²)

Parcela: 24 m² (6x4m)

ANEXO V. Porcentaje de materia seca de gramíneas y leguminosas

Años	Fertilización	Gramíneas			Leguminosas		
		g		% MS	g		% MS
		PF	PS		PF	PS	
Año 1	F1	645,30	131,00	0,21	691,48	100,98	0,15
	F2	720,60	133,18	0,19	733,83	105,08	0,14
	F3	759,65	134,25	0,18	641,28	102,03	0,16
	F4	725,73	133,10	0,20	686,05	100,62	0,15
	F5	752,38	135,23	0,18	734,18	104,45	0,15
	F6	1 121,98	129,75	0,17	685,90	109,33	0,16
	F7	760,03	141,55	0,19	706,45	107,13	0,15
Año 2	F1	816,30	161,60	0,20	857,13	154,38	0,18
	F2	756,28	131,98	0,18	874,90	134,53	0,16
	F3	841,75	151,38	0,18	887,85	141,68	0,16
	F4	833,83	146,50	0,18	902,80	133,55	0,15
	F5	863,35	149,28	0,17	885,98	138,48	0,16
	F6	817,60	136,30	0,17	832,90	136,68	0,16
	F7	800,88	141,20	0,17	814,38	122,50	0,15
Año 3	F1	1 185,35	300,40	0,25	1 215,35	224,13	0,20
	F2	1 235,98	275,18	0,22	1 206,63	224,00	0,18
	F3	1 128,03	245,60	0,21	963,98	173,70	0,18
	F4	1 236,85	252,60	0,20	889,78	158,08	0,17
	F5	1 239,15	263,25	0,21	721,73	129,13	0,18
	F6	1 166,23	250,18	0,21	697,15	122,40	0,18
	F7	1 219,53	253,45	0,20	659,15	119,05	0,27

PF: Peso fresco gramíneas y leguminosas

PS: Peso seco gramíneas y leguminosas

MS: materia seca gramíneas y leguminosas

ANEXO VI. ADEVAs para extracción de nutrientes

Tabla A1. ADEVA para extracción de N

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	19 354,51	3	6 451,5		
Años (3)	508 071,19	2	254 035,6	93,37	**
Error	16 324,63	6	2 720,77		
Fertilización (7)	367 810,87	6	61 301,81	32,42	**
Años (3)*Fertilización (7)	59 365,81	12	4 947,15	2,62	**
Error	102 093,22	54	1 890,62		
Total	1 073 020,24	83			
CV (%)	9,7				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A2. ADEVA para extracción de P

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	1 503,62	3	501,21		
Años (3)	31 148,93	2	15 574,47	231,97	**
Error	402,85	6	67,14		
Fertilización (7)	14 870,37	6	2 478,4	29,48	**
Años (3)*Fertilización (7)	5 683,71	12	473,64	5,63	**
Error	4 539,33	54	84,06		
Total	58 148,82	83			
CV (%)	7,61				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A3. ADEVA para extracción de K

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	30 303,90	3	10 101,30		
Años (3)	2 345 866,91	2	1 172 933,45	538,17	**
Error	13 076,93	6	2 179,49		
Fertilización (7)	999 975,05	6	166 662,51	57,12	**
Años (3)*Fertilización (7)	206 707,61	12	17 225,63	5,90	**
Error	157 566,51	54	2 917,90		
Total	3 753 4496,92	83			
CV (%)	8,55				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A4. ADEVA para extracción de Ca

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	1 175,96	3	391,99		
Años (3)	25 0691,79	2	125 345,9	513,86	**
Error	1 463,58	6	243,93		
Fertilización (7)	8 687,76	6	1 447,96	6,6	**
Años (3)*Fertilización (7)	7 725,35	12	643,78	2,93	*
Error	11 852,82	54	219,5		
Total	281 597,25	83			
CV (%)	12,2				

**Significación estadística al 1 %; *Significación estadística al 5 %

Tabla A5. ADEVA para extracción de Mg

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	169,65	3	56,55		
Años (3)	15 236,43	2	7 618,22	650,57	**
Error	70,25	6	11,71		
Fertilización (7)	6 909,5	6	1 151,58	68,68	**
Años (3)*Fertilización (7)	5 093,8	12	424,48	25,32	**
Error	905,44	54	16,77		
Total	28 385,08	83			
CV (%)	9,21				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A6. ADEVA para extracción de S

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	95,25	3	31,75		
Años (3)	7 916,99	2	3 958,49	2 249,14	**
Error	10,55	6	1,76		
Fertilización (7)	4 805,21	6	800,87	114,75	**
Años (3)*Fertilización (7)	933,09	12	77,76	11,14	**
Error	376,88	54	6,98		
Total	14 137,96	83			
CV (%)	7,97				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A7. ADEVA para extracción de B

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	9 601,27	3	3 200,42		
Años (3)	195 432,77	2	97 716,39	91,57	**
Error	6 402,43	6	1 067,07		
Fertilización (7)	58 589,06	6	9 764,84	13,5	**
Años (3)*Fertilización (7)	40 073,01	12	3 339,42	4,62	**
Error	39 056,47	54	723,27		
Total	349 155,01	83			
CV (%)	11,65				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A8. ADEVA para extracción de Zn

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	1 163 024,72	3	387 674,91		
Años (3)	189 859 559,00	2	94 929 779,61	247,84	**
Error	2 298 181,07	6	383 030,18		
Fertilización (7)	5 162 354,21	6	860 392,37	2,36	*
Años (3)*Fertilización (7)	5 484 023,56	12	457 001,96	1,25	ns
Error	19 665 871,20	54	364 182,80		
Total	223 633 014	83			
CV (%)	19,73				

**Significación estadística al 1 %; *Significación estadística al 5 %
ns Ninguna significación estadística**Tabla A9.** ADEVA para extracción de Cu

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	15 018,51	3	5 006,17		
Años (3)	3 702 028,16	2	1 851 014,08	2 200,73	**
Error	5 046,53	6	841,09		
Fertilización (7)	1 062 324,13	6	177 054,02	88,96	**
Años (3)*Fertilización (7)	769 272,41	12	64 106,03	32,21	**
Error	107 480,01	54	1 990,37		
Total	5 661 169,76	83			
CV (%)	8,53				

**Significación estadística al 1 %

Tabla A10. ADEVA para extracción de Fe

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	1 216 271,03	3	405 423,68		
Años (3)	337 341,51	2	168 670,76	1,90	ns
Error	532 603,2	6	88 767,2		
Fertilización (7)	16 617 994	6	2 769 665,67	45,28	**
Años (3)*Fertilización (7)	18 502 502,5	12	1 541 875,21	25,21	**
Error	3303 111,66	54	61 168,73		
Total	40 509 823,90	83			
CV (%)	7,67				

**Significación estadística al 1 %; ns Ninguna significación estadística

Tabla A11. ADEVA para extracción de Mn

F.V.	SC	gl	CM	F	
Repetición (4)	1 923 253,22	3	641 084,41		
Años (3)	694 250 701	2	347 125 350,6	567,20	**
Error	3 671 996,24	6	611 999,37		
Fertilización (7)	20 580 777,3	6	3 430 129,55	4,65	**
Años (3)*Fertilización (7)	41 756 183,6	12	3 479 681,97	4,72	**
Error	39 810 347,3	54	737 228,65		
Total	801 993 259	83			
CV (%)	18,19				

**Significación estadística al 1 %

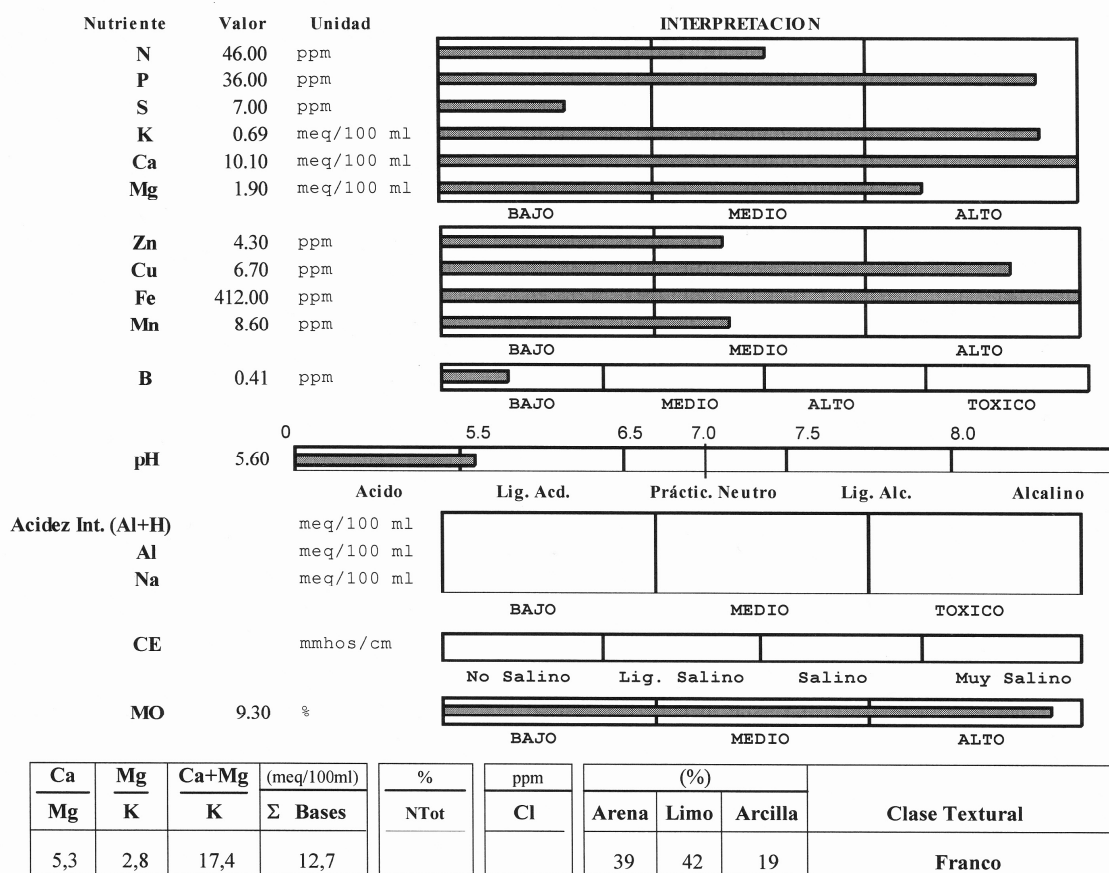
ANEXO VII. Análisis de suelo

Tabla A12. Análisis inicial de suelo

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESQUERÍA E.E.S.C.
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : LEVAPAN DEL ECUADOR S.A. Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : INIAP Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : E.E.S. C. GANADERIA
DATOS DEL LOTE Cultivo Actual : Cultivo Anterior : Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : LOTE 7 E. LEVAPAN	PARA USO DEL LABORATORIO N° Reporte : 6.761 N° Muestra Lab. : 68232 Fecha de Muestreo : 07/01/2008 Fecha de Ingreso : 14/01/2008 Fecha de Salida : 07/04/2011



RESPONSABLE LABORATORIO


 DPTO. MANEJO DE SUELOS
 Y AGUAS
 LABORATORIO
 INIAP - E.E.S.C.
 TELEFAX: 2690-694

LABORATORISTA

Tabla A13. Análisis final del suelo del primer año

 <p>INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693</p>	 <p>MINISTERIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS SISTEMA NACIONAL DE EXPERIMENTACIÓN Y REFERENCIA AGROPECUARIAS</p>
--	--	--

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : E.E.S.C GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : EGDO. RUSBEL JARAMILLO</p>	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>Cultivo Actual : PASTO Fecha de Muestreo : 20/04/2009 Fecha de Ingreso : 20/04/2009 Fecha de Salida : 07/04/2011</p>
--	---	--

N° Muestr. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
44685	T1 R1	5,50LAc RC	116,00 A	72,00 A	6,40 B	0,34 M	9,60 A	2,10 A	7,1 A	8,8 A	1.300,0 A	19,3 A	0,50 B
44686	T2 R1	5,80LAc	84,00 A	51,00 A	8,00 B	0,36 M	9,20 A	1,80 A	6,2 M	8,6 A	1.001,0 A	14,3 M	0,30 B
44687	T3 R1	5,80LAc	92,00 A	44,00 A	13,00 M	0,47 A	9,90 A	1,90 A	7,0 M	8,5 A	993,0 A	13,4 M	0,30 B
44688	T4 R1	5,80LAc	81,00 A	48,00 A	11,00 B	0,42 A	10,20 A	1,90 A	7,0 M	8,2 A	895,0 A	11,6 M	0,30 B
44689	T5 R1	5,80LAc	88,00 A	50,00 A	16,00 M	0,56 A	9,90 A	1,80 A	7,5 A	8,3 A	954,0 A	15,4 A	0,30 B
44690	T6 R1	5,90LAc	89,00 A	46,00 A	13,00 M	0,56 A	10,20 A	1,90 A	7,3 A	8,2 A	958,0 A	13,7 M	0,40 B
44691	T7 R1	5,50LAc RC	99,00 A	47,00 A	7,50 B	0,42 A	10,00 A	1,90 A	7,9 A	8,8 A	1.237,0 A	18,6 A	0,50 B
44692	T1 R2	5,70LAc	101,00 A	35,00 A	4,70 B	0,40 A	8,60 A	1,80 A	6,8 M	7,1 A	967,0 A	12,2 M	0,40 B
44693	T2 R2	5,70LAc	84,00 A	41,00 A	8,70 B	0,38 M	10,40 A	1,70 A	6,5 M	7,0 A	928,0 A	12,5 M	0,60 B
44694	T3 R2	5,70LAc	79,00 A	35,00 A	9,10 B	0,36 M	10,90 A	1,70 A	6,7 M	8,0 A	1.436,0 A	14,2 M	0,40 B
44695	T4 R2	5,80LAc	76,00 A	39,00 A	12,00 M	0,43 A	11,40 A	1,80 A	7,2 A	7,8 A	1.102,0 A	12,9 M	0,20 B
44696	T5 R2	5,70LAc	103,00 A	50,00 A	15,00 M	0,55 A	8,70 A	2,00 A	6,6 M	7,1 A	1.864,0 A	20,8 A	0,40 B
44697	T6 R2	5,80LAc	86,00 A	38,00 A	12,00 M	0,54 A	9,30 A	1,90 A	6,5 M	6,8 A	1.025,0 A	14,4 M	0,80 B
44698	T7 R2	5,70LAc	92,00 A	45,00 A	2,20 B	0,31 M	8,50 A	1,80 A	5,2 M	7,1 A	1.421,0 A	15,4 A	0,40 B

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	
LAc = Liger. Acido	LAl = Lige. Alcalino	M = Medio	
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto	
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)	

METODOLOGIA USADA			
pH = Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado		
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado		
	B = Curcumina		

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A13. Análisis final del suelo del primer año. Continuación...

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESQUERÍA
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : E.E.S.C GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : EGDO. RUSBEL JARAMILLO	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : PASTO Fecha de Muestreo : 20/04/2009 Fecha de Ingreso : 20/04/2009 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	--	--

N° Muestr. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
44699	T1 R3	5,70LAc	84,00 A	37,00 A	7,60 B	0,26 M	11,50 A	1,50 M	6,8 M	7,2 A	1.099,0 A	12,0 M	0,40 B
44700	T2 R3	5,70LAc	93,00 A	38,00 A	8,50 B	0,51 A	8,50 A	1,70 A	5,0 M	5,8 A	1.667,0 A	18,1 A	0,40 B
44701	T3 R3	5,80LAc	92,00 A	37,00 A	10,00 B	0,42 A	10,40 A	1,70 A	6,2 M	6,2 A	1.093,0 A	12,7 M	0,30 B
44702	T4 R3	5,70LAc	95,00 A	35,00 A	11,00 B	0,60 A	8,30 A	1,90 A	5,0 M	5,5 A	1.310,0 A	16,3 A	0,40 B
44703	T5 R3	5,80LAc	91,00 A	38,00 A	13,00 M	0,64 A	9,30 A	2,00 A	6,6 M	6,5 A	1.099,0 A	15,8 A	0,50 B
44704	T6 R3	5,80LAc	80,00 A	39,00 A	14,00 M	0,49 A	11,50 A	1,80 A	7,4 A	6,6 A	1.312,0 A	11,6 M	0,50 B
44705	T7 R3	5,70LAc	100,00 A	34,00 A	7,30 B	0,50 A	9,10 A	2,10 A	5,2 M	6,4 A	1.807,0 A	18,3 A	0,40 B
44706	T1 R4	5,70LAc	104,00 A	37,00 A	3,50 B	0,59 A	8,80 A	2,20 A	4,7 M	7,2 A	2.206,0 A	20,2 A	0,40 B
44707	T2 R4	5,70LAc	84,00 A	39,00 A	12,00 M	0,35 M	11,10 A	1,90 A	6,3 M	8,5 A	1.145,0 A	13,6 M	0,40 B
44708	T3 R4	5,70LAc	125,00 A	46,00 A	10,00 B	0,61 A	8,60 A	2,10 A	5,8 M	9,1 A	2.522,0 A	23,9 A	0,40 B
44709	T4 R4	5,80LAc	73,00 A	38,00 A	13,00 M	0,41 A	10,40 A	1,80 A	6,3 M	8,4 A	1.114,0 A	12,9 M	0,40 B
44710	T5 R4	5,80LAc	92,00 A	25,00 A	13,00 M	0,81 A	9,10 A	2,20 A	4,8 M	7,6 A	1.322,0 A	15,0 M	0,30 B
44711	T6 R4	5,80LAc	89,00 A	29,00 A	17,00 M	0,71 A	9,00 A	2,10 A	4,8 M	7,5 A	1.254,0 A	14,9 M	0,40 B
44712	T7 R4	5,80LAc	73,00 A	31,00 A	2,60 B	0,26 M	10,20 A	1,80 A	4,8 M	7,2 A	955,0 A	9,8 M	0,50 B

INTERPRETACION				
pH		Elementos		
Ac	= Acido	N	= Neutro	
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino	
PN	= Prac. Neutro	AI	= Alcalino	
	RC	= Requieren Cal	T	= Tóxico (Boro)
		B	= Bajo	
		M	= Medio	
		A	= Alto	

METODOLOGIA USADA			
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado
S, B	= Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado
		B	= Curcumina

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A13. Análisis final del suelo del primer año. Continuación...

 <p>INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693</p>	
--	--	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : E.E.S.C GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : EGDO. RUSBEL JARAMILLO</p>	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>Cultivo Actual : PASTO Fecha de Muestreo : 20/04/2009 Fecha de Ingreso : 20/04/2009 Fecha de Salida : 07/04/2011</p>
--	---	---

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural	
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.							Mg	K	K		Σ Bases
44685	1,00 M				11,10 A	4,57	6,18	34,41	13,04							
44686					10,40 A	5,11	5,00	30,56	11,36							
44687					10,60 A	5,21	4,04	25,11	12,27							
44688					11,10 A	5,37	4,52	28,81	12,52							
44689					10,70 A	5,50	3,21	20,89	12,26							
44690					10,70 A	5,37	3,39	21,61	12,66							
44691		0,60 M				10,70 A	5,26	4,52	28,33	12,92						
44692						10,30 A	4,78	4,50	26,00	10,80						
44693						11,00 A	6,12	4,47	31,84	12,48						
44694						11,00 A	6,41	4,72	35,00	12,96						
44695					11,00 A	6,33	4,19	30,70	13,63							
44696					10,30 A	4,35	3,64	19,45	11,25							
44697					10,70 A	4,89	3,52	20,74	11,74							
44698					10,00 A	4,72	5,81	33,23	10,61							

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino S = Salino	B = Bajo	

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Dicromato de Potasio

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A13. Análisis final del suelo del primer año. Continuación...

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : E.E.S.C GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : EGDO. RUSBEL JARAMILLO	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : PASTO Fecha de Muestreo : 20/04/2009 Fecha de Ingreso : 20/04/2009 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	--	--

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.							Mg	K	K	
44699					10,90 A	7,67	5,77	50,00	13,26						
44700					10,00 A	5,00	3,33	20,00	10,71						
44701					10,80 A	6,12	4,05	28,81	12,52						
44702					9,10 A	4,37	3,17	17,00	10,80						
44703					10,30 A	4,65	3,13	17,66	11,94						
44704					10,80 A	6,39	3,67	27,14	13,79						
44705					9,40 A	4,33	4,20	22,40	11,70						
44706					8,50 A	4,00	3,73	18,64	11,59						
44707					10,30 A	5,84	5,43	37,14	13,35						
44708					10,00 A	4,10	3,44	17,54	11,31						
44709					10,80 A	5,78	4,39	29,76	12,61						
44710					7,40 A	4,14	2,72	13,95	12,11						
44711					8,70 A	4,29	2,96	15,63	11,81						
44712					9,90 A	5,67	6,92	46,15	12,26						

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.		M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pasta Saturada
M.O.	= Dicromato de Potasio

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año

 <p>INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693</p>	 <p>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre	: PROYECTO INIAP-LEVAPAN
Dirección	: CUTUGLAGUA
Ciudad	:
Teléfono	:
Fax	:

DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre	: INIAP - GANADERIA
Provincia	: PICHINCHA
Cantón	: MEJIA
Parroquia	: CUTUGLAGUA
Ubicación	:

PARA USO DEL LABORATORIO	
Cultivo Actual	:
Fecha de Muestreo	: 11/02/2010
Fecha de Ingreso	: 10/05/2010
Fecha de Salida	: 07/04/2011

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45267	T1R1P1	5,50LAc RC	106,00 A	45,00 A	8,00 B	0,30 M	9,70 A	1,90 A	5,8 M	9,0 A	407,0 A	12,3 M	0,40 B
45268	T1R1P2	5,60LAc	100,00 A	41,00 A	4,90 B	0,17 B	9,60 A	2,00 A	4,7 M	10,8 A	406,0 A	10,4 M	0,70 B
45269	T1R2P1	5,60LAc	103,00 A	37,00 A	4,60 B	0,40 A	9,60 A	1,90 A	4,2 M	8,0 A	384,0 A	10,4 M	0,70 B
45270	T1R2P2	5,60LAc	109,00 A	42,00 A	4,00 B	0,24 M	8,70 A	1,70 A	3,1 M	8,1 A	387,0 A	8,1 M	0,60 B
45271	T1R3P1	5,60LAc	97,00 A	36,00 A	3,90 B	0,22 M	10,50 A	1,20 M	5,1 M	9,2 A	382,0 A	9,8 M	0,60 B
45272	T1R3P2	5,60LAc	79,00 A	35,00 A	4,10 B	0,17 B	10,70 A	1,50 M	4,1 M	8,9 A	366,0 A	6,9 M	0,30 B
45273	T1R4P1	5,60LAc	124,00 A	44,00 A	5,80 B	0,41 A	8,50 A	1,80 A	2,4 B	7,5 A	417,0 A	17,9 A	0,30 B
45274	T1R4P2	5,60LAc	115,00 A	41,00 A	14,50 M	0,68 A	8,80 A	1,90 A	3,0 M	7,8 A	409,0 A	11,0 M	0,40 B
45275	T2R1P1	5,60LAc	117,00 A	50,00 A	16,00 M	0,66 A	8,40 A	1,80 A	5,1 M	8,7 A	385,0 A	11,3 M	0,50 B
45276	T2R1P2	5,60LAc	110,00 A	56,00 A	16,30 M	0,30 M	9,80 A	1,90 A	4,7 M	8,5 A	396,0 A	9,3 M	0,50 B
45277	T2R2P1	5,60LAc	119,00 A	41,00 A	14,80 M	0,30 M	10,50 A	1,70 A	4,8 M	7,6 A	379,0 A	12,1 M	0,70 B
45278	T2R2P2	5,60LAc	102,00 A	46,00 A	14,80 M	0,18 B	10,30 A	1,70 A	3,8 M	9,1 A	373,0 A	7,8 M	0,60 B
45279	T2R3P1	5,60LAc	104,00 A	45,00 A	19,20 M	0,47 A	8,30 A	1,80 A	3,2 M	7,4 A	406,0 A	15,1 A	0,60 B
45280	T2R3P2	5,70LAc	105,00 A	41,00 A	20,80 M	0,51 A	8,70 A	1,80 A	2,8 B	8,1 A	411,0 A	11,4 M	0,50 B
45281	T2R4P1	5,70LAc	94,00 A	37,40 A	21,50 M	0,46 A	9,50 A	1,40 M	4,0 M	7,6 A	369,0 A	10,9 M	0,60 B
45282	T2R4P2	5,70LAc	107,00 A	42,00 A	19,50 M	0,20 M	10,40 A	1,50 M	3,6 M	8,6 A	375,0 A	10,4 M	0,70 B
45283	T3R1P1	5,70LAc	102,00 A	43,00 A	20,40 M	0,56 A	8,90 A	1,70 A	6,5 M	9,2 A	378,0 A	11,4 M	0,40 B
45284	T3R1P2	5,70LAc	106,00 A	48,00 A	19,90 M	0,27 M	9,90 A	1,90 A	4,3 M	7,9 A	389,0 A	8,4 M	0,40 B
45285	T3R2P1	5,80LAc	112,00 A	38,00 A	19,10 M	0,73 A	10,40 A	1,80 A	5,2 M	8,4 A	387,0 A	14,2 M	0,50 B
45286	T3R2P2	5,80LAc	107,00 A	37,00 A	17,40 M	0,29 M	11,30 A	1,70 A	4,3 M	10,4 A	378,0 A	8,5 M	0,50 B

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. Continuación...

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESQUERÍA
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : INIAP - GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 11/02/2010 Fecha de Ingreso : 10/05/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	--

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45287	T3R3P1	5,80LAc	110,00 A	39,00 A	18,80 M	0,82 A	9,60 A	1,80 A	4,9 M	9,0 A	388,0 A	13,4 M	0,30 B
45288	T3R3P2	5,70LAc	111,00 A	36,00 A	15,50 M	0,73 A	10,20 A	1,80 A	3,8 M	8,3 A	383,0 A	8,2 M	0,50 B
45289	T3R4P1	5,70LAc	125,00 A	48,00 A	22,30 M	1,05 A	7,90 A	1,90 A	3,4 M	8,1 A	424,0 A	21,5 A	0,30 B
45290	T3R4P2	5,60LAc	127,00 A	41,50 A	23,60 M	0,74 A	7,90 A	1,70 A	3,0 M	8,0 A	426,0 A	15,3 A	0,50 B
45291	T4R1P1	5,80LAc	118,00 A	47,00 A	24,90 A	0,99 A	9,60 A	1,80 A	5,6 M	8,4 A	392,0 A	15,1 A	0,50 B
45292	T4R1P2	5,70LAc	108,00 A	48,00 A	24,60 A	0,30 M	10,00 A	1,70 A	4,7 M	8,2 A	382,0 A	8,3 M	0,50 B
45293	T4R2P1	5,90LAc	109,00 A	39,00 A	24,50 A	1,04 A	10,60 A	1,80 A	5,0 M	7,9 A	381,0 A	13,1 M	0,60 B
45294	T4R2P2	5,80LAc	103,00 A	39,00 A	24,00 M	0,44 A	11,10 A	1,70 A	4,8 M	9,1 A	378,0 A	8,4 M	0,50 B
45295	T4R3P1	5,70LAc	113,70 A	39,00 A	18,00 M	0,86 A	8,60 A	2,00 A	3,9 M	7,8 A	412,0 A	20,9 A	0,30 B
45296	T4R3P2	5,70LAc	102,20 A	43,00 A	14,40 M	0,59 A	9,00 A	1,90 A	3,2 M	8,7 A	415,0 A	11,9 M	0,40 B
45297	T4R4P1	5,80LAc	101,00 A	42,00 A	26,10 A	0,90 A	9,70 A	1,60 A	5,2 M	8,2 A	381,0 A	14,1 M	0,60 B
45298	T4R4P2	5,80LAc	97,00 A	45,00 A	29,60 A	0,35 M	10,70 A	1,60 A	4,1 M	9,1 A	380,0 A	9,0 M	0,40 B
45299	T5R1P1	5,90LAc	132,00 A	46,00 A	27,30 A	1,15 A	9,70 A	1,90 A	6,1 M	9,0 A	395,0 A	15,4 A	0,50 B
45300	T5R1P2	5,70LAc	126,00 A	56,00 A	29,40 A	0,43 A	10,50 A	1,70 A	5,2 M	9,5 A	399,0 A	10,2 M	0,60 B
45301	T5R2P1	5,80LAc	127,00 A	51,00 A	25,00 A	1,21 A	9,10 A	2,10 A	5,2 M	8,9 A	410,0 A	16,5 A	0,50 B
45302	T5R2P2	5,70LAc	129,00 A	64,00 A	24,80 A	0,63 A	8,80 A	1,80 A	3,7 M	8,3 A	402,0 A	13,7 M	0,40 B
45303	T5R3P1	5,80LAc	124,00 A	38,00 A	26,50 A	1,16 A	8,60 A	2,00 A	4,9 M	7,6 A	396,0 A	15,2 A	0,70 B
45304	T5R3P2	5,70LAc	110,00 A	37,00 A	20,90 M	0,56 A	8,70 A	1,70 A	3,3 M	8,7 A	396,0 A	9,5 M	0,40 B
45305	T5R4P1	5,90LAc	148,00 A	39,00 A	27,40 A	1,42 A	7,50 A	1,80 A	3,5 M	7,9 A	411,0 A	24,0 A	0,50 B
45306	T5R4P2	5,60LAc	120,00 A	35,00 A	32,80 A	0,70 A	8,50 A	1,70 A	2,4 B	8,3 A	390,0 A	12,0 M	0,60 B

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. **Continuación...**

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: PROYECTO INIAP-LEVAPAN	Nombre	: INIAP - GANADERIA	Cultivo Actual	:
Dirección	: CUTUGLAGUA	Provincia	: PICHINCHA	Fecha de Muestreo	: 11/02/2010
Ciudad	:	Cantón	: MEJIA	Fecha de Ingreso	: 10/05/2010
Teléfono	:	Parroquia	: CUTUGLAGUA	Fecha de Salida	: 07/04/2011
Fax	:	Ubicación	:		

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45307	T6R1P1	6,20LAc	110,00 A	38,00 A	29,30 A	1,46 A	9,20 A	2,10 A	5,2 M	6,2 A	354,0 A	10,8 M	0,50 B
45308	T6R1P2	5,80LAc	100,00 A	49,00 A	34,40 A	0,78 A	10,20 A	1,80 A	5,0 M	7,7 A	376,0 A	10,6 M	0,60 B
45309	T6R2P1	5,90LAc	98,00 A	40,00 A	27,80 A	1,32 A	8,90 A	1,80 A	4,8 M	6,6 A	369,0 A	12,1 M	0,50 B
45310	T6R2P2	5,70LAc	97,00 A	31,00 A	22,10 M	0,56 A	9,00 A	1,50 M	3,5 M	7,2 A	360,0 A	6,7 M	0,60 B
45311	T6R3P1	6,10LAc	127,00 A	37,00 A	30,60 A	1,59 A	10,20 A	2,10 A	5,1 M	6,8 A	343,0 A	14,6 M	0,40 B
45312	T6R3P2	5,90LAc	104,70 A	32,00 A	26,50 A	0,80 A	10,90 A	1,60 A	4,3 M	7,9 A	353,0 A	8,0 M	0,50 B
45313	T6R4P1	6,00LAc	117,00 A	31,00 A	38,60 A	1,82 A	9,20 A	2,20 A	4,8 M	7,1 A	387,0 A	17,5 A	0,50 B
45314	T6R4P2	5,70LAc	118,00 A	35,00 A	39,70 A	1,06 A	9,90 A	1,90 A	3,3 M	7,6 A	381,0 A	10,3 M	0,40 B

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio	
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto	
	RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
	B = Curcumina

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. Continuación...

 INIA P INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : INIAP - GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 11/02/2010 Fecha de Ingreso : 10/05/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	--

Nº Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45315	T7R1P1	5,50LAc RC	108,00 A	49,00 A	20,30 M	0,28 M	9,00 A	1,70 A	4,8 M	7,1 A	386,0 A	12,2 M	0,60 B
45316	T7R1P2	5,60LAc	114,00 A	52,00 A	19,30 M	0,19 B	10,10 A	1,70 A	4,7 M	8,2 A	396,0 A	12,9 M	0,50 B
45317	T7R2P1	5,50LAc RC	116,00 A	45,00 A	12,10 M	0,27 M	8,80 A	1,90 A	3,5 M	7,8 A	393,0 A	12,2 M	0,40 B
45318	T7R2P2	5,60LAc	100,00 A	46,00 A	10,40 B	0,22 M	8,50 A	1,80 A	2,8 B	6,7 A	383,0 A	8,2 M	0,60 B
45319	T7R3P1	5,40 Ac RC	106,00 A	39,00 A	25,10 A	0,31 M	7,60 A	1,80 A	3,1 M	6,2 A	387,0 A	12,2 M	0,40 B
45320	T7R3P2	5,60LAc	102,00 A	35,00 A	15,90 M	0,27 M	8,50 A	1,80 A	2,4 B	7,1 A	387,0 A	11,4 M	0,50 B
45321	T7R4P1	5,50LAc RC	118,00 A	39,00 A	18,80 M	0,19 B	9,50 A	1,70 A	3,3 M	7,3 A	371,0 A	9,8 M	0,40 B
45322	T7R4P2	5,60LAc	89,00 A	34,00 A	14,50 M	0,16 B	8,90 A	1,60 A	3,2 M	6,8 A	356,0 A	7,1 M	0,60 B

INTERPRETACION				
pH		Elementos		
Ac	= Acido	N	= Neutro	
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino	
PN	= Prac. Neutro	Al	= Alcalino	
	RC	= Requieren Cal	T	= Tóxico (Boro)
		B	= Bajo	
		M	= Medio	
		A	= Alto	

METODOLOGIA USADA			
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado
S, B	= Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado
		B	= Curcumina

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. Continuación...

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 <small>DIRECCIÓN NACIONAL DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</small>
--	---	--

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : INIAP - GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 11/02/2010 Fecha de Ingreso : 10/05/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	--

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
45267	1,40	M			10,50	A	5,11	6,33	38,67	13,30					
45268					10,40	A	4,80	11,76	68,24	11,77					
45269					10,20	A	5,05	4,75	28,75	11,90					
45270					10,00	A	5,12	7,08	43,33	10,64					
45271					11,70	A	8,75	5,45	53,18	11,92					
45272					10,10	A	7,13	8,82	71,76	12,37					
45273					9,10	A	4,72	4,39	25,12	10,71					
45274					7,80	A	4,63	2,79	15,74	11,38					
45275					10,60	A	4,67	2,73	15,45	10,86					
45276					9,80	A	5,16	6,33	39,00	12,00					
45277					12,50	A	6,18	5,67	40,67	12,50					
45278					10,40	A	6,06	9,44	66,67	12,18					
45279					10,20	A	4,61	3,83	21,49	10,57					
45280					9,30	A	4,83	3,53	20,59	11,01					
45281					10,50	A	6,79	3,04	23,70	11,36					
45282					10,50	A	6,93	7,50	59,50	12,10					
45283					11,50	A	5,24	3,04	18,93	11,16					
45284					10,10	A	5,21	7,04	43,70	12,07					

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. **Continuación...**

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: PROYECTO INIAP-LEVAPAN	Nombre	: INIAP - GANADERIA	Cultivo Actual	:
Dirección	: CUTUGLAGUA	Provincia	: PICHINCHA	Fecha de Muestreo	: 11/02/2010
Ciudad	:	Cantón	: MEJIA	Fecha de Ingreso	: 10/05/2010
Teléfono	:	Parroquia	: CUTUGLAGUA	Fecha de Salida	: 07/04/2011
Fax	:	Ubicación	:		

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
45285					11,20 A	5,78	2,47	16,71	12,93						
45286					10,80 A	6,65	5,86	44,83	13,29						

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.		M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Dicromato de Potasio
Al+H = Titulación NaOH

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. Continuación...

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : INIAP - GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 11/02/2010 Fecha de Ingreso : 10/05/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	--

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
45287					11,70 A	5,33	2,20	13,90	12,22						
45288					9,90 A	5,67	2,47	16,44	12,73						
45289					9,80 A	4,16	1,81	9,33	10,85						
45290					9,10 A	4,65	2,30	12,97	10,34						
45291					12,00 A	5,33	1,82	11,52	12,39						
45292					10,70 A	5,88	5,67	39,00	12,00						
45293					11,70 A	5,89	1,73	11,92	13,44						
45294					10,80 A	6,53	3,86	29,09	13,24						
45295					9,70 A	4,30	2,33	12,33	11,46						
45296					8,60 A	4,74	3,22	18,47	11,49						
45297					11,60 A	6,06	1,78	12,56	12,20						
45298					10,90 A	6,69	4,57	35,14	12,65						
45299					11,50 A	5,11	1,65	10,09	12,75						
45300					10,40 A	6,18	3,95	28,37	12,63						
45301					10,60 A	4,33	1,74	9,26	12,41						
45302					9,60 A	4,89	2,86	16,83	11,23						
45303					10,30 A	4,30	1,72	9,14	11,76						
45304					9,60 A	5,12	3,04	18,57	10,96						

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. **Continuación...**

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: PROYECTO INIAP-LEVAPAN	Nombre	: INIAP - GANADERIA	Cultivo Actual	:
Dirección	: CUTUGLAGUA	Provincia	: PICHINCHA	Fecha de Muestreo	: 11/02/2010
Ciudad	:	Cantón	: MEJIA	Fecha de Ingreso	: 10/05/2010
Teléfono	:	Parroquia	: CUTUGLAGUA	Fecha de Salida	: 07/04/2011
Fax	:	Ubicación	:		

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
45305					9,30 A	4,17	1,27	6,55	10,72						
45306					9,00 A	5,00	2,43	14,57	10,90						
45307					11,00 A	4,38	1,44	7,74	12,76						
45308					10,20 A	5,67	2,31	15,38	12,78						
45309					11,90 A	4,94	1,36	8,11	12,02						
45310					10,30 A	6,00	2,68	18,75	11,06						
45311					11,60 A	4,86	1,32	7,74	13,89						
45312					10,60 A	6,81	2,00	15,63	13,30						
45313					9,80 A	4,18	1,21	6,26	13,22						
45314					9,20 A	5,21	1,79	11,13	12,86						

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.		M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica
RAS	= Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pasta Saturada
M.O.	= Dicromato de Potasio
Al+H	= Titulación NaOH

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A14. Análisis final del suelo del segundo año. Continuación...

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : INIAP - GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 11/02/2010 Fecha de Ingreso : 10/05/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	--

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
45315	1,20	M			11,10	A	5,29	6,07	38,21	12,18					
45316					10,40	A	5,94	8,95	62,11	11,99					
45317	1,30	M			10,80	A	4,63	7,04	39,63	12,27					
45318					9,10	A	4,72	8,18	46,82	10,52					
45319	1,30	M			9,80	A	4,22	5,81	30,32	11,01					
45320					8,90	A	4,72	6,67	38,15	10,57					
45321	1,20	M			10,60	A	5,59	8,95	58,95	12,59					
45322					9,70	A	5,56	10,00	65,63	10,66					

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.		M.O. y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica
RAS	= Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pasta Saturada
M.O.	= Dicromato de Potasio
Al+H	= Titulación NaOH

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A15. Análisis final del suelo del tercer año

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : INIAP-GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : MEZCLA FORRAJE Fecha de Muestreo : 13/10/2010 Fecha de Ingreso : 09/11/2010 Fecha de Salida : 19/03/2011
---	---	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45731	T1 R1 P1	5,3 Ac RC	68,00 A	56,00 A	3,50 B	0,34 M	8,70 A	1,70 A	5,6 M	7,5 A	464,0 A	4,5 B	0,70 B
45732	T1 R1 P2	5,2 Ac RC	72,00 A	64,00 A	2,70 B	0,28 M	8,40 A	1,80 A	5,3 M	8,4 A	476,0 A	3,6 B	0,90 B
45733	T1 R2 P1	5,2 Ac RC	72,00 A	24,00 A	3,20 B	0,39 A	8,10 A	1,60 A	3,8 M	7,0 A	407,0 A	3,1 B	0,70 B
45734	T1 R2 P2	5,3 Ac RC	56,00 M	24,00 A	2,50 B	0,47 A	7,50 A	1,60 A	2,8 B	6,6 A	358,0 A	1,5 B	0,70 B
45735	T1 R3 P1	5,5 LAc RC	55,00 A	24,00 A	2,70 B	0,30 M	9,30 A	1,40 B	4,5 M	7,0 A	351,0 A	3,2 B	0,80 A
45736	T1 R3 P2	5,4 Ac RC	55,00 M	24,00 A	3,00 B	0,31 M	9,70 A	1,60 A	4,2 M	7,7 A	358,0 A	2,9 B	0,80 B
45737	T1 R4 P1	5,5 LAc RC	86,00 A	29,00 A	3,20 B	0,64 A	7,00 A	1,80 A	3,9 M	7,8 A	514,0 A	7,2 M	0,50 B
45738	T1 R4 P2	5,2 Ac RC	80,00 A	28,00 A	1,00 B	0,78 A	7,10 A	1,90 A	2,9 B	7,3 A	477,0 A	4,6 B	0,60 B
45739	T2 R1 P1	5,3 Ac RC	78,00 A	32,00 A	14,00 M	0,80 A	8,10 A	1,80 A	5,7 M	7,8 A	433,0 A	6,3 M	0,60 B
45740	T2 R1 P2	5,4 Ac RC	71,00 A	37,00 A	7,60 B	0,41 A	8,70 A	2,00 A	5,7 M	7,8 A	427,0 A	4,0 B	0,60 B
45741	T2 R2 P1	5,5 LAc RC	70,00 A	26,00 A	11,00 B	0,55 A	8,50 A	1,80 A	5,2 M	6,6 A	367,0 A	4,7 B	0,70 B
45742	T2 R2 P2	5,4 Ac RC	63,00 A	26,00 A	7,00 B	0,30 M	8,70 A	1,70 A	4,0 M	7,8 A	369,0 A	3,7 B	0,70 B
45743	T2 R3 P1	5,5 LAc RC	78,00 A	27,00 A	12,00 M	0,86 A	7,60 A	2,10 A	3,8 M	7,5 A	487,0 A	6,7 M	0,80 B
45744	T2 R3 P2	5,6 LAc	72,00 A	30,00 A	6,50 B	0,70 A	7,60 A	1,90 A	2,5 B	6,9 A	479,0 A	4,7 B	0,80 B
45745	T2 R4 P1	5,4 Ac RC	53,00 M	26,00 A	11,00 B	0,59 A	8,30 A	1,60 A	3,8 M	6,7 A	339,0 A	4,4 B	0,80 B
45746	T2 R4 P2	5,5 LAc RC	55,00 M	28,00 A	7,30 B	0,28 M	8,80 A	1,80 A	3,9 M	7,7 A	359,0 A	4,0 B	0,70 B
45747	T3 R1 P1	5,7 LAc	72,00 A	36,00 A	17,00 M	0,94 A	8,20 M	2,10 M	6,5 M	7,9 A	395,0 A	5,9 M	0,60 A
45748	T3 R1 P2	5,6 LAc	70,00 A	40,00 A	8,70 B	0,55 A	8,60 A	1,90 A	5,2 M	7,9 A	417,0 A	4,9 B	0,70 B
45749	T3 R2 P1	5,6 LAc	67,00 A	29,00 A	20,00 M	0,81 A	8,50 A	1,90 A	5,6 M	7,3 A	430,0 A	6,7 M	0,70 B
45750	T3 R2 P2	5,6 LAc	54,00 M	28,00 A	13,00 M	0,40 A	9,60 A	1,70 A	4,1 M	7,6 A	372,0 A	3,9 B	0,80 B


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA

Tabla A15. Análisis final del suelo del tercer año. Continuación...

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre	: PROYECTO INIAP-LEVAPAN
Dirección	: CUTUGLAGUA
Ciudad	:
Teléfono	:
Fax	:

DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre	: INIAP-GANADERIA
Provincia	: PICHINCHA
Cantón	: MEJIA
Parroquia	: CUTUGLAGUA
Ubicación	:

PARA USO DEL LABORATORIO	
Cultivo Actual	: MEZCLA FORRAJE
Fecha de Muestreo	: 13/10/2010
Fecha de Ingreso	: 09/11/2010
Fecha de Salida	: 19/03/2011

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45751	T3 R3 P1	5,7 LAc	62,00 A	26,00 A	16,00 M	0,92 A	7,50 A	1,80 A	4,4 M	6,4 A	355,0 A	5,0 M	0,80 B
45752	T3 R3 P2	5,6 LAc	45,00 M	21,00 A	12,00 M	0,60 A	8,70 A	1,70 A	3,4 M	6,1 A	298,0 A	2,0 B	0,80 B
45753	T3 R4 P1	5,5 LAc RC	74,00 A	37,00 A	21,00 M	1,20 A	7,00 A	2,10 A	3,7 M	6,4 A	478,0 A	6,3 M	0,70 B
45754	T3 R4 P2	5,3 Ac RC	72,00 A	41,00 A	16,00 M	0,76 A	7,30 A	1,80 A	3,0 M	6,6 A	474,0 A	4,4 B	0,80 B
45755	T4 R1 P1	5,9 LAc	70,00 A	33,00 A	27,00 A	1,25 A	8,50 A	2,10 A	6,0 M	6,5 A	340,0 A	4,9 B	0,90 B
45756	T4 R1 P2	5,6 LAc	61,00 A	31,00 A	24,00 M	0,66 A	8,90 A	1,90 A	4,9 M	6,5 A	341,0 A	3,0 B	0,80 B
45757	T4 R2 P1	5,8 LAc	59,00 M	25,00 A	20,00 M	1,08 A	7,70 A	1,90 A	4,9 M	5,8 A	303,0 A	3,6 B	0,90 B
45758	T4 R2 P2	5,6 LAc	54,00 M	23,00 A	16,00 M	0,71 A	8,60 A	1,60 A	4,5 M	7,0 A	303,0 A	2,5 B	0,70 B
45759	T4 R3 P1	5,7 LAc	62,00 A	22,00 A	26,00 A	1,40 A	7,10 A	2,20 A	4,5 M	6,2 A	424,0 A	5,6 M	0,60 B
45760	T4 R3 P2	5,4 Ac RC	62,00 A	27,00 A	21,00 M	0,99 A	7,30 A	1,90 A	2,5 B	6,5 A	415,0 A	3,4 B	0,60 B
45761	T4 R4 P1	5,7 LAc	54,00 M	28,00 A	23,00 M	0,96 A	7,50 A	1,70 A	4,4 M	6,7 A	316,0 A	3,9 B	0,70 B
45762	T4 R4 P2	5,6 LAc	55,00 M	30,00 A	20,00 M	0,77 A	8,70 A	1,60 A	4,2 M	7,5 A	336,0 A	3,9 B	0,80 B
45763	T5 R1 P1	5,8 LAc	70,00 A	36,00 A	31,00 A	1,31 A	8,70 A	2,00 A	6,5 M	7,5 A	377,0 A	5,7 M	0,80 B
45764	T5 R1 P2	5,5 LAc RC	72,00 A	34,00 A	26,00 A	0,71 A	9,40 A	1,80 A	5,5 M	8,0 A	396,0 A	4,3 B	0,80 B
45765	T5 R2 P1	5,7 LAc	87,00 A	36,00 A	34,00 A	1,34 A	8,00 A	2,40 A	5,9 M	7,3 A	454,0 A	6,5 M	0,80 B
45766	T5 R2 P2	5,4 Ac RC	72,00 A	41,00 A	28,00 A	0,76 A	8,00 A	2,00 A	5,5 M	7,5 A	450,0 A	4,7 B	0,90 B
45767	T5 R3 P1	5,8 LAc	81,00 A	24,00 A	27,00 A	1,55 A	7,60 A	2,40 A	4,9 M	6,5 A	390,0 A	5,6 M	0,60 B
45768	T5 R3 P2	5,6 LAc	84,00 A	24,00 A	18,00 M	1,10 A	7,40 A	1,90 A	3,5 M	6,5 A	391,0 A	3,2 B	0,60 B
45769	T5 R4 P1	5,8 LAc	86,00 A	24,00 A	26,00 A	1,86 A	6,80 A	2,60 A	4,7 M	7,1 A	432,0 A	8,3 M	0,60 B
45770	T5 R4 P2	5,5 LAc RC	78,00 A	27,00 A	28,00 A	1,42 A	7,40 A	1,90 A	3,2 M	7,6 A	434,0 A	4,6 B	0,60 B
45771	T6 R1 P1	6,0 LAc	80,00 A	31,00 A	36,00 A	1,70 A	8,70 A	2,30 A	5,7 M	7,3 A	378,0 A	6,3 M	0,60 B
45772	T6 R1 P2	5,7 LAc	72,00 A	34,00 A	28,00 A	1,00 A	8,80 A	1,80 A	4,7 M	7,8 A	375,0 A	4,1 B	0,70 B
45773	T6 R2 P1	5,9 LAc	72,00 A	25,00 A	26,00 A	1,47 A	8,20 A	2,30 A	5,0 M	6,9 A	379,0 A	5,7 M	0,70 B
45774	T6 R2 P2	5,6 LAc	63,00 A	24,00 A	19,00 M	0,98 A	7,60 A	1,90 A	3,6 M	7,6 A	383,0 A	4,0 B	0,80 B
45775	T6 R3 P1	6,0 LAc	67,00 A	24,00 A	28,00 A	1,50 A	8,70 A	2,30 A	4,8 M	6,9 A	331,0 A	5,0 M	0,70 B
45776	T6 R3 P2	5,8 LAc	72,00 A	26,00 A	22,00 M	1,09 A	9,20 A	1,70 A	4,2 M	7,3 A	328,0 A	3,5 B	0,80 B
45777	T6 R4 P1	5,9 LAc	75,00 A	22,00 A	36,00 A	1,87 A	7,30 A	2,50 A	4,3 M	6,9 A	394,0 A	7,0 M	0,60 B
45778	T6 R4 P2	5,6 LAc	78,00 A	22,00 A	30,00 A	1,28 A	7,80 A	1,80 A	2,8 B	7,2 A	385,0 A	4,2 B	0,70 B



RESPONSABLE LABORATORIO



LABORATORISTA

Tabla A15. Análisis final del suelo del tercer año. Continuación...

DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				PARA USO DEL LABORATORIO						
Nombre	:	PROYECTO INIAP-LEVAPAN			Nombre	:	INIAP-GANADERIA			Cultivo Actual	:	MEZCLA FORRAJE		
Dirección	:	CUTUGLAGUA			Provincia	:	PICHINCHA			Fecha de Muestreo	:	13/10/2010		
Ciudad	:				Cantón	:	MEJIA			Fecha de Ingreso	:	09/11/2010		
Teléfono	:				Parroquia	:	CUTUGLAGUA			Fecha de Salida	:	19/03/2011		
Fax	:				Ubicación	:								

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH			ppm			meq/100ml			ppm				
					NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
45779	T7 R1 P1	5,3	Ac	RC	91,00 A	41,00 A	19,00 M	0,29 M	8,40 A	2,00 A	5,1 M	7,9 A	428,0 A	7,0 M	0,70 B
45780	T7 R1 P2	5,4	Ac	RC	86,00 A	38,00 A	7,40 B	0,16 B	8,40 A	1,80 A	4,7 M	8,9 A	422,0 A	4,8 B	0,60 B
45781	T7 R2 P1	5,2	Ac	RC	85,00 A	38,00 A	22,00 M	0,22 M	7,20 A	2,00 A	3,3 M	7,1 A	420,0 A	5,4 M	0,80 B
45782	T7 R2 P2	5,3	Ac	RC	84,00 A	42,00 A	6,30 B	0,22 M	7,40 A	1,90 A	3,0 M	8,1 A	421,0 A	4,5 B	0,50 B
45783	T7 R3 P1	5,1	Ac	RC	84,00 A	30,00 A	13,00 M	0,25 M	7,00 A	1,90 A	2,8 B	6,7 A	435,0 A	5,7 M	0,70 B
45784	T7 R3 P2	5,3	Ac	RC	85,00 A	29,00 A	5,40 B	0,30 M	6,40 A	1,90 A	2,9 B	7,1 A	427,0 A	4,6 B	0,60 B
45785	T7 R4 P1	5,3	Ac	RC	72,00 A	33,00 A	13,00 M	0,24 M	7,80 A	2,00 A	3,4 M	7,6 A	397,0 A	5,5 M	0,60 B
45786	T7 R4 P2	5,3	Ac	RC	71,00 A	26,00 A	6,20 B	0,19 B	8,70 A	1,70 A	2,8 B	8,0 A	372,0 A	4,1 B	0,60 B

INTERPRETACION					
pH			Elementos		
Ac	= Acido	N	= Neutro	B	= Bajo
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino	M	= Medio
PN	= Prac. Neutro	AI	= Alcalino	A	= Alto
	RC = Requieren Cal	T	= Tóxico (Boro)		

METODOLOGIA USADA					
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado		
S, B	= Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado		
		B	= Curcumina		



 RESPONSABLE LABORATORIO



 LABORATORISTA

ANEXO VIII. Análisis foliar

Tabla A16. Análisis foliar final del primer año

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO	DATOS DE LA PROPIEDAD	PARA USO DEL LABORATORIO
Nombre : PROYECTO INIAP-LEVAPAN Dirección : CUTUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	Nombre : GANADERIA Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : EGDO. RUSBEL JARAMILLO	Cultivo : RAY GRASS Fecha de Muestreo : 30/03/2009 Fecha de Ingreso : 20/04/2009 Fecha de Salida : 07/04/2011

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
20359	T1 GRAMINEAS	1,37 B	0,39 S	2,42 S	0,65 A	0,20 S	0,18 B		6,3 B	40,1 A	8,0 A	112,0	128,2 A		
20360	T1 LEGUMINOSAS	3,18	0,24	2,78	1,50	0,33	0,10		20,7	49,7	14,2	159,3	76,3		
20361	T1 MALEZAS	2,17	0,37	2,72	1,01	0,33	0,20		18,2	48,0	13,7	268,0	180,1		
20362	T2 GRAMINEAS	1,44 B	0,25 B	2,71 A	1,47 A	0,16 S	0,17 B		7,8 B	34,2 A	8,7 A	102,1	101,8 A		
20363	T2 LEGUMINOSAS	3,46	0,24	3,32	1,36	0,33	0,15		22,8	46,7	18,6	142,4	64,3		
20364	T2 MALEZAS	1,80	0,22	1,66	0,68	0,24	0,16		15,8	68,1	7,0	161,2	114,8		
20365	T3 GRAMINEAS	1,52 B	0,31 B	2,93 A	0,50 A	0,19 S	0,20 B		5,4 B	30,8 A	18,6 A	136,1	120,9 A		
20366	T3 LEGUMINOSAS	3,46	0,23	3,59	1,25	0,31	0,17		19,0	41,0	18,3	143,6	77,8		
20367	T3 MALEZAS	1,80	0,32	2,81	0,79	0,28	0,20		22,0	44,4	23,9	399,7	192,1		
20368	T4 GRAMINEAS	1,37 B	0,32 B	2,96 A	0,40 A	0,17 S	0,20 B		5,4 B	29,2 A	11,5 A	113,7	112,1 A		
20369	T4 LEGUMINOSAS	3,46	0,25	3,51	1,29	0,31	0,13		19,5	45,5	15,2	134,0	79,6		
20370	T4 MALEZAS	2,29	0,39	3,43	0,90	0,35	0,22		12,0	51,7	17,5	216,6	201,6		
20371	T5 GRAMINEAS	1,37 B	0,31 B	2,91 A	0,45 A	0,19 S	0,26 B		7,1 B	28,7 A	33,1 A	112,2	134,6 A		
20372	T5 LEGUMINOSAS	3,54	0,15	2,72	0,82	0,22	0,10		14,9	45,1	15,5	100,1	48,0		
20373	T5 MALEZAS	2,45	0,34	3,68	0,93	0,35	0,36		15,8	46,1	14,9	189,2	189,6		
20374	T6 GRAMINEAS	1,44 B	0,31 B	3,00 A	0,47 A	0,20 S	0,21 B		7,1 B	29,4 A	19,0 A	112,4	110,4 A		
20375	T6 LEGUMINOSAS	3,54	0,23	3,52	1,15	0,32	0,15		14,1	44,0	19,2	134,0	70,7		
20376	T6 MALEZAS	1,73	0,36	3,02	0,92	0,32	0,22		14,9	42,9	15,6	238,7	181,3		
20377	T7 GRAMINEAS	1,44 B	0,32 B	2,90 A	1,49 A	0,36 A	0,28 S		7,8 B	31,8 A	13,4 A	130,5	127,5 A		
20378	T7 LEGUMINOSAS	3,68	0,21	3,10	1,21	0,49	0,13		13,3	36,0	19,0	251,0	57,7		
20379	T7 MALEZAS	1,88	0,33	2,91	0,85	0,44	0,19		20,3	39,1	13,6	247,3	137,7		

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A17. Análisis foliar final del segundo año

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : LEVAPAN - ING. RUSBEL JARAMILLO Dirección : CUATUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : INIAP - EESC Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo : MEZCLA DE PASTO Fecha de Muestreo : 15/12/2009 Fecha de Ingreso : 23/07/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	--	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
21230	T1 GRAMINEAS	2,34	0,48	3,42	0,95	0,31	0,15		14,1	51,0	32,4	245,7	104,4		
21231	T2 GRAMINEAS	2,69	0,43	3,61	0,80	0,26	0,19		15,7	36,5	40,4	300,2	111,0		
21232	T3 GRAMINEAS	2,90	0,40	4,00	0,65	0,22	0,20		13,5	36,0	41,3	335,8	98,0		
21233	T4 GRAMINEAS	2,90	0,41	3,94	0,63	0,23	0,18		16,9	34,3	30,6	378,6	93,4		
21234	T5 GRAMINEAS	2,90	0,39	2,55	0,50	0,18	0,20		12,6	30,2	25,9	238,9	97,5		
21235	T6 GRAMINEAS	2,76	0,37	4,03	0,64	0,23	0,19		11,6	36,4	28,8	252,3	85,1		
21236	T7 GRAMINEAS	2,90	0,43	3,41	0,80	0,28	0,21		10,1	33,1	27,3	209,8	98,1		
21237	T1 LEG.	3,54	0,36	2,67	1,50	0,33	0,11		34,3	47,9	23,7	264,8	50,3		
21238	T2 LEG.	4,11	0,33	3,04	1,43	0,33	0,12		33,1	56,1	27,1	324,5	44,2		
21239	T3 LEG.	4,11	0,31	3,32	1,17	0,31	0,14		30,9	53,3	26,9	247,3	47,0		
21240	T4 LEG.	4,25	0,34	3,20	1,38	0,32	0,14		33,4	55,0	27,7	220,0	44,0		

INTERPRETACION

B = Bajo
S = Suficiente
A = Alto

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A17. Análisis foliar final del segundo año. Continuación...

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	 CENTRO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS (INIA-FESC)
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : LEVAPAN - ING. RUSBEL JARAMILLO Dirección : CUATUGLAGUA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : INIAP - FESC Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo : MEZCLA DE PASTO Fecha de Muestreo : 15/12/2009 Fecha de Ingreso : 23/07/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	--	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
21241	T5 LEG.	4,04	0,34	3,14	1,25	0,31	0,12		31,2	47,0	21,2	210,9	45,1		
21242	T6 LEG.	4,18	0,32	3,15	1,11	0,26	0,14		33,4	47,1	21,1	225,4	39,6		
21243	T7 LEG.	3,97	0,35	3,00	1,31	0,36	0,12		35,3	46,1	16,0	214,5	38,9		
21244	T1 MALEZA	2,69	0,39	2,66	1,14	0,32	0,12		34,6	46,4	13,0	256,4	98,1		
21245	T2 MALEZA	3,47	0,35	2,79	1,29	0,33	0,14		30,0	40,5	11,4	311,9	121,2		
21246	T3 MALEZA	3,26	0,27	2,62	1,05	0,33	0,14		32,5	25,0	8,7	256,1	51,2		
21247	T4 MALEZA	3,11	0,29	2,17	1,99	0,41	0,15		30,6	39,2	16,5	485,2	143,0		
21248	T5 MALEZA	2,97	0,29	2,28	1,36	0,35	0,14		26,5	43,2	13,0	395,4	130,0		
21249	T6 MALEZA	2,69	0,28	1,70	1,10	0,30	0,15		22,5	46,2	12,9	555,8	149,3		
21250	T7 MALEZA	3,11	0,29	2,33	1,28	0,31	0,14		27,8	45,0	17,3	352,3	124,7		

INTERPRETACION

B = Bajo
S = Suficiente
A = Alto

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Tabla A18. Análisis foliar final del tercer año

 INIAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : LEVAPAN Dirección : PICHINCHA Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : EESC Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación : RUSBEL JARAMILLO	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo : MEZCLA DE PASTO Fecha de Muestreo : 29/11/2010 Fecha de Ingreso : 29/11/2010 Fecha de Salida : 07/04/2011
---	---	---

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
21924	T1 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,62	0,43	3,22	0,56	0,36	0,17		5,7	49,9	61,6	236,3	184,4		
21925	T1 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,15	0,38	2,79	0,88	0,42	0,15		34,3	46,1	12,4	289,6	67,0		
21926	T1 MALEZAS (35 DIAS)	3,42	0,45	3,58	0,72	0,56	0,20		37,7	44,4	25,1	357,8	123,0		
21927	T2 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,84	0,40	3,59	0,41	0,28	0,32		8,2	40,6	63,3	300,2	142,4		
21928	T2 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,51	0,37	3,27	0,82	0,41	0,24		36,9	49,1	18,4	328,2	56,8		
21929	T2 MALEZAS (35 DIAS)	3,42	0,38	3,57	0,68	0,51	0,21		47,3	60,3	16,7	330,0	109,7		
21930	T3 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,84	0,35	3,83	0,44	0,32	0,31		13,3	45,9	74,3	295,0	141,4		
21931	T3 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,59	0,33	3,25	0,75	0,37	0,22		36,9	49,7	16,2	303,6	52,5		
21932	T3 MALEZAS (35 DIAS)	3,57	0,39	3,96	0,54	0,26	0,54		39,0	33,4	12,0	224,4	127,2		
21933	T4 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,69	0,39	3,88	0,44	0,28	0,32		6,1	45,0	76,1	260,1	140,1		
21934	T4 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,59	0,33	3,55	0,76	0,39	0,20		32,7	52,3	20,0	253,0	52,3		
21935	T4 MALEZAS (35 DIAS)	3,42	0,41	4,20	0,77	0,38	0,27		34,8	46,8	26,5	474,1	107,4		
21936	T5 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,84	0,36	3,83	0,45	0,25	0,32		11,6	40,7	73,8	309,3	137,0		
21937	T5 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,73	0,33	3,26	0,62	0,36	0,23		40,7	46,9	26,6	250,9	54,2		
21938	T5 MALEZAS (35 DIAS)	3,35	0,37	4,57	0,66	0,32	0,29		47,4	41,7	38,2	387,5	75,7		
21939	T6 GRAMINEAS (35 DIAS)	2,69	0,34	3,74	0,31	0,22	0,34		10,4	43,6	92,0	225,6	130,1		
21940	T6 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	4,80	0,34	3,34	0,57	0,31	0,24		35,6	48,5	23,7	284,8	50,3		
21941	T6 MALEZAS (35 DIAS)	3,57	0,40	4,32	0,50	0,40	0,21		28,0	36,1	23,0	361,8	122,0		
21942	T7 GRAMINEAS (35 DIAS)	3,15	0,39	3,15	0,37	0,27	0,27		5,0	43,5	62,0	187,1	129,8		
21943	T7 LEGUMINOSAS (35 DIAS)	3,95	0,37	2,41	0,89	0,48	0,21		31,4	64,1	15,6	201,6	54,7		
21944	T7 MALEZAS (35 DIAS)	3,93	0,45	3,88	0,69	0,61	0,27		36,4	47,2	18,0	318,2	92,0		

 RESPONSABLE LABORATORIO

 LABORATORISTA

ANEXO IX. Precipitación durante el periodo de evaluación del sitio experimental

Precipitación (mm)					
MES	AÑO 1	MES	AÑO 2	MES	AÑO 3
junio	111,5	abril	189,9	enero	45,6
julio	28,5	mayo	102,8	febrero	103,7
agosto	96,7	junio	48,3	marzo	114,2
septiembre	103,1	julio	7,1	abril	289,2
octubre	199,3	agosto	29	mayo	150,2
noviembre	108	septiembre	9,7	junio	100,3
diciembre	125,1	octubre	86,4	julio	196,2
enero	290	noviembre	88,8	agosto	53,6
febrero	186,6	diciembre	209,9	septiembre	79,5
marzo	261,9			octubre	90,1
TOTAL	1 510,7		771,9		1 222,6

Fuente: INAMHI Estación Izobamaba, 2009, 2010, 2011

ANEXO X. Promedios de extracción de micronutrientes

Extracción de micronutrientes						
Años	Fertilización	g/ha				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
Año 1	F1	218,55	4412,92	177,54	2158,72	7275,01
	F2	342,39	5513,55	307,22	2777,13	8244,80
	F3	294,56	5316,63	446,22	3381,97	10846,11
	F4	296,86	5499,23	338,91	3169,38	10520,38
	F5	258,16	5032,78	652,65	2697,81	6910,65
	F6	266,83	5479,66	501,61	3201,47	9740,59
	F7	263,35	4371,31	410,92	4713,24	7967,16
Año 2	F1	206,83	2202,99	249,34	2239,53	2552,19
	F2	271,53	3028,36	411,12	3664,67	2949,70
	F3	259,83	2865,87	468,73	3948,96	3070,98
	F4	291,66	2869,28	373,31	4039,21	2818,13
	F5	239,92	2398,25	295,12	2792,98	2823,33
	F6	240,79	2281,29	340,25	3149,66	2395,50
	F7	247,64	2473,76	287,08	2646,84	2627,33
Año 3	F1	106,66	1237,20	476,14	2283,51	2620,34
	F2	170,37	1660,97	608,74	3525,78	2765,66
	F3	224,76	1594,27	835,02	3845,23	2683,44
	F4	123,19	1416,76	837,37	3194,91	2418,13
	F5	205,85	1270,96	918,84	4085,42	2534,34
	F6	180,20	1277,58	1141,18	3150,89	2343,87
	F7	139,86	2028,23	909,64	3085,96	3039,10

ANEXO XI. Análisis químico de la vinaza en el tercer año



ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
Km 141/2 Panamericana Sur, Apdo.. 17-01-340
Telf. -Fax 690694
QUITO - ECUADOR

Nombre del propietario:	LEVAPAN	Fecha de muestreo:	01/06/2010
Nombre del remitente:	ING. RUSBEL JARAMILLO	Muestra:	VINAZA
Nombre de la Granja	LEVAPAN DEL ECUADOR S.A	Fecha ingreso Laboratorio:	11/06/2010
Localización	GUAJALO QUITO PICHINCHA	Fecha de entrega	05/07/2010
	Parroquia Cantón Provincia		


INFORME DE RESULTADOS DE ABONOS ORGANICOS

No. Laborat.	Identificación	pH	R	dS/m	g/100ml (%)								mg/L (ppm)				
			C/N	C.E.	N TOTAL	P	K	Ca	Mg	S	M.O	Na	B	Zn	Cu	Fe	Mn
21112	VINAZA SEPARADORA 4	5.1		20.67	0.35	0.01	0.60	0.36	0.11	0.15	4.2	0.18	0.0	33.60	3.20	53.70	28.80

METODOLOGIA USADA:

pH y Conductividad eléctrica directamente en la muestra
Materia Orgánica por oxidación en frío – Método volumétrico – Walkley y Black

C.E. = Conductividad eléctrica dS/m = decisiems/metro
M.O = Materia orgánica


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA