

EFECTO DE LA VINAZA EN EL RENDIMIENTO DE UNA MEZCLA FORRAJERA ESTABLECIDA EN UN ANDISOL

Rusbel Jaramillo¹, Vicente Novoa², Franklin Valverde², Rafael Parra², Soraya Alvarado², Gladys Fonseca³

¹ *Escuela Politécnica Nacional*

² *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: frankiniap@yahoo.es*

³ *Levapan del Ecuador S.A.*

INTRODUCCION

Las especies forrajeras protegen al suelo contra la erosión y son básicas para la alimentación animal. Las mezclas forrajeras deben ser manejadas como un cultivo permanente en el cual se consideran todos los factores de la producción en especial la fertilización (Torres, 2002). La fertilización de pastizales en las explotaciones ganaderas es una práctica agronómica relativamente nueva. En general, en la región Andina del Ecuador, la fertilización de pastizales se inicia conjuntamente con la introducción de especies y variedades forrajeras altamente productivas y con la adopción de sistemas de manejo que permitan aprovechar eficientemente la mayor producción de forraje (León, 2003).

La baja fertilidad de los suelos es el factor limitante de mayor importancia en la productividad de los pastos; para solucionar este problema, la alternativa más usada es la aplicación de fertilizantes químicos o abonos orgánicos. Considerando el alto precio de los fertilizantes químicos, una buena alternativa es el uso de abonos orgánicos que provienen de desechos agrícolas y agroindustriales.

La vinaza es un residuo líquido industrial considerado un desecho. Levapan S.A. produce grandes cantidades de vinaza, aproximadamente 35000 litros al día, los que son evacuados directamente a las alcantarillas de la ciudad de Quito, contribuyendo a la contaminación del río Machángara (Santos *et al.*, 2007). Frente a esto, en varios países del mundo, se empezó a investigar alternativas de aprovechamiento de la vinaza en la producción agrícola como mejorador de las propiedades físico, químicas y biológicas del suelo.

Resultados preliminares, obtenidos bajo condiciones de invernadero (Valverde *et al.*, 2004), han evidenciado incrementos en el rendimiento de materia seca de los cultivos de brócoli, maíz y fréjol, por la aplicación de niveles de vinaza con el riego.

Con estos antecedentes, el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con financiamiento de Levapan Ecuador S.A. realizó la presente investigación con el propósito de evaluar el uso alternativo de la vinaza como fertilizante orgánico líquido, para el mejoramiento de la productividad de una mezcla forrajera y las propiedades del suelo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el aporte nutricional de la vinaza como abono orgánico líquido en una mezcla forrajera y su efecto en las características de un Andisol.

Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta de una mezcla forrajera a la aplicación de niveles de vinaza como abono orgánico líquido.
- Cuantificar el aporte de macro y micro nutrientes de la vinaza en la mezcla forrajera.

- Determinar la dosis óptima de vinaza en el rendimiento de la mezcla forrajera.
- Establecer el efecto de la aplicación de vinaza en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Realizar un análisis financiero proyectado de los tratamientos en estudio.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en la Unidad de Producción de Leche y Pastos y el DMSA de la EESC del INIAP, parroquia Cutuglagua, cantón Mejía, provincia Pichincha, a 3058 m de altitud, latitud 0°22' Sur y longitud 78°33' Oeste. Posee temperatura promedio anual de 12 °C, precipitación promedio anual de 1400 mm, heliofanía de 850 horas luz año⁻¹ y humedad relativa del 79% (INAMHI, 2008).

La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo Montano (bmhM). El piso de la vegetación de las montañas está constituido por bosques mixtos entre los 2200 a 3100 msnm (Cañadas, 1983). El suelo es negro, profundo, derivado de materiales piroclásticos, con 13% de arcilla en el primer metro con una saturación de bases del 69.3%, con pH 5,7 (ligeramente ácido), de textura franco y alto contenido de materia orgánica (13%), clasificado como Humic Durustands.

Se evaluaron siete tratamientos, provenientes de seis dosis de vinaza y un tratamiento de fertilización química (**Tabla 1**), los fertilizantes químicos usados fueron: 18-46-0, sulpomag y urea. La mezcla forrajera fue Raygrass Ingles (22.5 kg ha⁻¹), Raygrass Italiano (18 kg ha⁻¹), Pasto Azul (4.5 kg ha⁻¹), Trébol Blanco (4.5 kg ha⁻¹) y Trébol Rojo (4.5 kg ha⁻¹). Obteniéndose una densidad de siembra de 54 kg ha⁻¹ la cual se sembró al voleo.

Tabla 1. Tratamientos y cantidad de nutrientes aplicados con vinaza en el primer año.

Tratamientos No.	Vinaza m ³ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹											
		MO	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
t1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
t2	25	250	70	143	35	177	67.5	18	0.1	0.5	2.6	3.1	0.1
t3	50	500	140	286	70	354	135	35	0.2	0.9	5.3	6.2	0.2
t4	75	750	210	429	105	531	203	53	0.3	1.4	7.9	9.3	0.3
t5	100	1000	280	573	140	708	270	70	0.3	1.9	10.5	12	0.5
t6	125	1250	350	716	175	885	338	88	0.4	2.3	13.2	16	0.6
t7	F.Q.	-	133	40	30	30	-	15	-	-	-	-	-
Análisis Vinaza*	kg m ⁻³	10	2.8	2.5	1.4	5.9	2.7	0.7	0.003	0.002	0.038	0.022	0.003

* Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y aguas del DMSA - EESC - INIAP

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, el tamaño de las parcelas fue de 24m² (6m x 4m); se realizó la prueba de significación de Tukey al 5% y Polinomios Ortogonales para tratamientos.

En cada corte se evaluó el rendimiento de forraje fresco, se tomó una muestra de 1 kg para evaluar composición botánica separando gramíneas, leguminosas y malezas. Para determinar el porcentaje de materia seca y contenido de nutrientes se tomaron muestras de gramíneas y leguminosas, las mismas que se secaron en una estufa de ventilación forzada por un tiempo de 72 horas, a 65 °C.

El análisis químico y físico de suelos se realizó siguiendo la metodología utilizada por el laboratorio del DMSA (Alvarado *et al.*, 2000). La biomasa microbiana del suelo se determinó utilizando el método de Horwath y Paul (1994) durante cinco cortes a dos profundidades (0- a 5- y de 5- a 10-cm), para los tratamientos con 0 y 125 m³ ha⁻¹ de vinaza.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis físico de suelos

En el primer año de evaluación, la aplicación de vinaza no influyó significativamente en las características físicas del suelo como son la humedad gravimétrica y la densidad aparente; lo que implica que el incremento en MO por efecto de la aplicación de vinaza no fue suficiente para mejorar estas características físicas del suelo (**Tabla 2**). La mayor cantidad de agua retenida en el suelo corresponde al nivel de 125 m³ ha⁻¹ de vinaza; sin embargo, no existe una tendencia definida de los niveles de vinaza con la humedad gravimétrica. Los valores promedios de humedad gravimétrica son altos, lo cual indica que el suelo tiene una alta capacidad de retención de agua, debido a la presencia de macro y micro poros, característica de los Andisoles que tienen densidades menores a 1.0 g cc⁻¹; la densidad aparente sube con la profundidad, por el menor contenido de materia orgánica, menor agregación y mayor compactación (Luzuriaga, 2001).

Tabla 2. Humedad gravimétrica y densidad aparente promedio en el estudio del efecto de la vinaza.

Tratamientos		HG %	Da (g cc ⁻¹)
No.	Vinaza m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹		
t1	0	46.81	0.970
t2	25	45.55	0.988
t3	50	46.78	0.962
t4	75	45.26	0.871
t5	100	44.16	0.972
t6	125	48.57	0.953
t7	FQ	47.87	0.951

Análisis químico de suelos

En la **Tabla 3**, se observa que no existe mucha variación entre tratamientos y el análisis inicial del suelo, en pH, materia orgánica (MO), macro y micronutrientes; lo cual indica que a pesar de la gran extracción de nutrientes por las gramíneas y leguminosas no existió agotamiento del suelo.

En cuanto a MO se observa un incremento en el orden del 1%, en comparación al análisis inicial, lo que verifica que la vinaza y la mezcla forrajera generan un aporte importante en este parámetro. En cuanto al nitrógeno amoniacal es evidente el efecto de la vinaza comparable con la fertilización química. Igualmente se observa un efecto apreciable en la solubilización del fósforo; en el caso del potasio es notable el efecto en la disponibilidad de este elemento; el cultivo en estudio es evidentemente un consumidor notable de este nutriente esencial.

El pH del suelo presenta ligero incremento con los niveles crecientes de vinaza (**Tabla 3**), lo cual está relacionado con la alta C.E de la vinaza (19.2 dSm⁻¹). Al revisar la disponibilidad de azufre y potasio se nota que existe un incremento lineal con la aplicación de vinaza, lo que implica una residualidad de estos nutrientes por la aplicación de este producto.

En general, como el calcio y magnesio son susceptibles de lavado, los contenidos totales de estos nutrientes son mayores en suelos más recientes (Andisoles e Inceptisoles y Entisoles de origen aluvial) como es el caso del presente en relación a suelos seniles, sometidos a fuerte meteorización (Ultisoles y Oxisoles).

En conclusión, la vinaza es un producto adecuado para la fertilización, por el aporte al suelo de cantidades importantes de macro y micro nutrientes esenciales (**Tabla 1**).

Tabla 3. Promedios del análisis químico de suelos.

Trata.	pH	M.O %	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
			ppm			...meq 100ml ⁻¹	ppm						
t1	5.65	10.2	84.0	38.3	6.6	0.39	10.1	1.88	6.28	7.55	1383.3	16.0	0.48
t2	5.73	10.4	86.3	42.3	9.3	0.40	9.80	1.78	6.00	7.48	1185.3	14.6	0.43
t3	5.75	10.6	97.0	40.5	10.5	0.47	9.95	1.85	6.43	7.95	1511.0	16.1	0.35
t4	5.78	10.5	81.3	40.0	11.8	0.47	10.1	1.85	6.38	7.48	1105.3	13.4	0.33
t5	5.78	9.7	93.5	40.8	14.3	0.64	9.25	2.00	6.38	7.38	1309.8	16.8	0.38
t6	5.83	10.2	86.0	38.0	14.0	0.58	10.0	1.93	6.50	7.28	1137.3	13.7	0.53
t7	5.68	10.0	91.0	39.3	4.9	0.37	9.45	1.90	5.78	7.38	1355.0	15.5	0.45
Inicial	5.6	9.3	46.0*	36.0	7.0	0.69	10.1	1.90	4.30*	6.70	412.0*	8.6*	0.41

*Variaciones altas con el análisis inicial

Extracción de nutrientes

Se observa una extracción creciente de los nutrientes primarios y secundarios. La fertilización química presenta la mayor extracción de nutrientes debido a la rápida disponibilidad de los mismos. Además, la extracción de nitrógeno, calcio y boro de las leguminosas duplica a la cantidad extraída por las gramíneas (**Tabla 4**).

La mayor extracción de nitrógeno por parte de las leguminosas se explica por el mayor contenido proteico de las mismas. De ahí la importancia de las mezclas forrajeras como principal fuente de fibra y proteína en la dieta de los animales.

Los rhizobios en los nódulos de la raíz de un cultivo de leguminosa pueden ser capaces de fijar de 200 - 600 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en el trébol blanco (*Trifolium repens*). En suelos de pasturas con trébol, la fijación de N₂ y su ciclo subsiguiente a través del pastoreo conduce a incrementos de N en la materia orgánica del suelo hasta 100 kg N ha⁻¹ año⁻¹. A medida que los niveles de N orgánico aumenta, la tasa de fijación biológica de N disminuye (la población de leguminosas decrece hasta alcanzar un estado de equilibrio) (Paladines, 1997).

La mayor producción de forraje, generada por la fertilización nitrogenada, lleva necesariamente a una mayor extracción o demanda de otros nutrientes, particularmente P, K, S, Mg, Ca y aún micro nutrientes (**Tabla 4**).

De otra parte, las especies forrajeras, particularmente las gramíneas, responden muy bien a la fertilización en términos de la cantidad de forraje producido por unidad de superficie. Las gramíneas extraen mejor el fósforo que las leguminosas, al tener un sistema radicular fasciculado y más extenso superficialmente en la zona más rica del suelo.

El calcio y magnesio son elementos de gran importancia para la calidad nutritiva del forraje, siendo las leguminosas en general más exigentes, sobre todo en calcio, elemento necesario también para una eficaz fijación de nitrógeno.

Tabla 4. Extracción de nutrientes por especie forrajera.

Trt.	Gramíneas										
	kg ha ⁻¹										
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
t1	103	29	182	49	15	14	4.7	3.0	0.6	8.4	9.6
t2	172	30	324	56	19	20	0.9	4.1	1.0	12.2	12.2
t3	184	37	355	61	23	24	0.7	3.7	2.3	16.5	14.7
t4	202	47	437	59	25	30	0.8	4.3	1.7	16.8	16.5
t5	205	46	435	67	28	39	1.1	4.3	4.9	16.8	20.1
t6	213	46	445	70	30	31	1.1	4.4	2.8	16.7	16.4
t7	221	49	446	75	55	43	1.2	4.9	2.1	20.1	19.6
x	186	41	375	62	28	29	0.9	4.1	2.2	15.3	15.6

Trt.	Leguminosas										
	kg ha ⁻¹										
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
t1	239	18	209	113	25	8	1.6	3.7	1.1	12.0	5.7
t2	413	29	397	162	39	18	2.7	5.6	2.2	17.0	7.7
t3	420	28	435	152	38	21	2.3	5.0	2.2	17.4	9.4
t4	510	37	518	190	46	19	2.9	6.7	2.2	19.8	7.3
t5	529	22	406	123	33	15	2.2	6.7	2.3	15.0	7.2
t6	525	34	522	170	47	22	2.1	6.5	2.8	19.9	8.5
t7	566	32	477	186	75	20	2.0	5.5	2.9	16.9	8.6
x	457	29	423	157	43	17	2.3	5.7	2.3	16.8	7.8

Análisis biológico de suelos

El componente biológico del suelo fue evaluado a través de la determinación de biomasa microbiana. Los resultados de dicho análisis mostrados en la **Tabla 5**, indican que la actividad microbiana es mayor en la capa superficial del suelo (0-5 cm) frente a la capa más profunda (5-10 cm), tanto en los tratamientos con aplicación de vinaza, como en los que no recibieron vinaza. Esta tendencia es la esperada pues concuerda con los datos obtenidos en un estudio previo de aplicación de vinaza con el cultivo de arveja (Taday, 2009) y son explicados por el hecho de que en la superficie existen mejores condiciones para el desarrollo de los microorganismos en términos de agua, aire y nutrientes.

Otra de las tendencias observadas, es el efecto positivo de la aplicación de vinaza, rica en macro y micronutrientes, los cuales favorecen el crecimiento de los microorganismos. Según Valverde *et al.* (2004); la aplicación de vinaza al suelo es considerada como una fertilización de elevada eficiencia; pues, además de dar al suelo los nutrientes necesarios, mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Finalmente, se observó una variación de la actividad microbiana en función del tiempo y la cantidad de producto aplicado; a medida que aumentó la aplicación de vinaza en el suelo, la actividad microbiana también se incrementó. Sin embargo, el mayor incremento se observó entre la primera y segunda aplicación; pues a partir de la tercera aplicación (tercer corte), la actividad microbiana se estabilizó.

La mayoría de los microorganismos del suelo son heterótrofos. Necesitan un sustrato de carbono disponible para respirar y producir la energía para crecer. El nitrógeno mineral será liberado si el sustrato es rico en N. Si el sustrato es pobre en N, los microorganismos del suelo inmovilizarán el N mineral disponible (NO_3^- y NH_4^+) en la solución del suelo (inmovilización) y los cultivos que crecen en este presentarán deficiencias de N. Si hay mineralización o inmovilización, dependerá de la proporción del carbono y nitrógeno (C:N) en el sustrato orgánico del suelo (González, 2007). Dado que la relación C:N de la vinaza es 3.03 se espera que la mineralización haya sido el proceso dominante y consecuentemente la actividad microbiana aumentó.

La variación temporal de la actividad microbiana, responde directamente a los factores medio ambientales, como temperatura y humedad, los cuales son críticos para el desarrollo microbiano. El crecimiento y la multiplicación de los microorganismos del suelo, es controlado por los mismos factores ambientales que rigen el crecimiento de plantas superiores, especialmente, el suministro de agua, aire, y de elementos nutritivos; la ausencia de factores nocivos y la temperatura (Espinosa, 1996).

Tabla 5. Promedios de biomasa en el estudio de niveles de vinaza.

Vinaza $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Profundidad cm	Biomasa microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ g suelo seco}^{-1}$)					
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Promedio
0	0 a 5	0.6	1.4	0.6	0.4	0.6	0.7
0	5 a 10	0.3	0.5	0.6	0.4	0.7	0.5
125	0 a 5	0.7	2.5	1.1	1.0	0.9	1.2
125	5 a 10	0.3	1.0	1.0	0.6	0.8	0.7

Rendimiento de forraje fresco

En la **Tabla 6** se presentan los resultados del análisis de varianza para rendimiento de forraje fresco, el que determinó alta significación estadística para tratamientos en cortes y total.

Tabla 6. ADEVA para rendimiento de forraje fresco.

F. de V.	GL	Cuadrados medios					
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	TOTAL
Total	27	-	-	-	-	-	-
Tratamientos	6	31.11 **	28.17 **	166.46 **	585.07 **	124.89 **	1924.14 **
Lineal	1	153.58 **	77.94 **	275.99 **	1061.77 **	452.88 **	210.65 **
Cuadrática	1	12.14 ns	62.51 **	482.25 **	16.52 ns	118.22 **	50.43 **
Cúbica	1	20.33 *	20.43 **	136.21 **	320.18 **	16.78 ns	42.05 *
Cuartica	1	0.17 ns	7.52 ns	0.60 ns	140.12 **	156.46 **	0.59 ns
Resto	2	0.21 ns	0.31 ns	51.85 *	985.92 **	2.49 ns	119.94 *
Repeticiones	3	10.55 ns	8.63 *	8.40 ns	305.66 **	28.97 **	906.70 **
E. Experimental	18	4.17	2.28	10.88	16.04	4.06	46.86
Promedio: (t ha^{-1})		15.57	15.29	31.00	44.39	29.25	139.45
C.V.: (%)		13.11	9.89	10.64	9.02	6.88	4.91

**Alta significación estadística, *Significación estadística, ns Ninguna significación estadística.

Al realizar la prueba de Tukey al 5%, para tratamientos (**Tabla 7**), se identifica dos rangos de significación para los cortes 1, 2, 3 y la sumatoria total; los cortes 4 y 5 presentan tres rangos de significación. En todos los cortes el tratamiento testigo absoluto se encuentra en el último rango con menor rendimiento, y los niveles de vinaza con la fertilización química se ubican en el primer rango.

Tabla 7. Promedios y Prueba de Tukey al 5% para rendimiento de forraje fresco.

Vinaza m ³ ha ⁻¹	Rendimiento de forraje fresco t ha ⁻¹					
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Total
0 (t1)	10.14 b	9.32 b	17.44 b	36.15 b	18.00 c	91.04 b
25 (t2)	14.25 b	15.49 a	32.31 a	48.20 a	29.25 b	139.50 a
50 (t3)	15.97 a	16.29 a	32.48 a	20.21 c	29.67 b	142.33 a
75 (t4)	16.03 a	16.41 a	36.23 a	49.87 a	28.92 b	147.45 a
100 (t5)	16.58 a	16.53 a	36.39 a	52.46 a	30.92 b	152.87 a
125 (t6)	17.01 a	16.65 a	29.40 a	52.80 a	36.50 a	152.34 a
FQ (t7)	19.02 a	16.25 a	32.74 a	51.07 a	31.52 b	150.60 a

Además, se observa que mientras transcurre el tiempo y las condiciones climáticas son relativamente favorables; la producción de forraje responde muy bien a la aplicación de vinaza, como se presenta en el corte 5, donde t6 (125 m³ ha⁻¹ de vinaza) ocupa el primer rango y el segundo rango lo comparten la fertilización química y los otros niveles de vinaza; en el último rango se ubica el t1 sin vinaza con el menor rendimiento por la falta de mantenimiento del forraje, ya que se debe reponer los nutrientes gastados en la producción para mantener el balance nutricional. Es importante señalar que en el primer corte el tratamiento correspondiente a la fertilización química tuvo el mayor rendimiento con 19,02 t ha⁻¹; esto se explica debido a que la fuente de fertilización química es un producto altamente soluble y de rápida asimilación por la planta.

Eficiencia agronómica de la aplicación de vinaza

En la **Tabla 8** se presenta el rendimiento relativo, el mismo que se obtiene asumiendo como 100% del rendimiento al tratamiento químico (t7). De los resultados para niveles de vinaza se puede observar una tendencia lineal, que inclusive en los tratamientos de 100 y 125 m³ de vinaza ha⁻¹ sobrepasa ligeramente al tratamiento químico. Al calcular el rendimiento incremental de forraje fresco por efecto de los niveles de vinaza también se observa un rendimiento creciente. Sin embargo, al calcular la eficiencia por m³ de vinaza se observa una respuesta decremental a partir del tratamiento correspondiente a 50 m³ de vinaza ha⁻¹ (**Figura 1**). Se observa entonces que la mejor respuesta en incremento de rendimiento corresponde a la dosis de 25 m³ vinaza ha⁻¹. También se debe remarcar los rendimientos relativos altos observados en este estudio; considerando que un abono orgánico, para que sea efectivo debe estar en un 80% de rendimiento relativo.

Tabla 8. Incremento de producción de forraje fresco por adición de vinaza en el primer año.

Tratamientos	Sumatoria Total	Incremento	Rendimiento	Rendimiento,
m ³ Vinaza	5 cortes t ha ⁻¹ 1 año ⁻¹	Toneladas	FF m ⁻³ Vinaza*	Relativo (%)
0	91.0	-	-	60.5
25	139.5	48.5	1.9	92.6
50	142.3	51.3	1.0	94.5
75	147.4	56.4	0.8	97.9
100	152.9	61.8	0.6	101.5
125	152.3	61.3	0.5	101.2
T.Q	150.6	59.6		100.0

*= toneladas de forraje fresco/m³ de vinaza

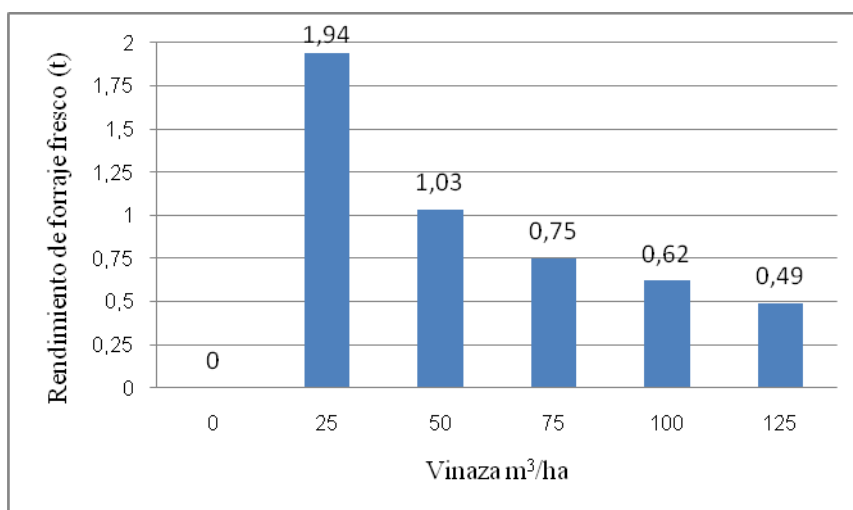


Figura 1. Incremento de rendimiento de forraje fresco por la adición de vinaza.

Rendimiento de materia seca

Realizado el análisis de varianza para rendimiento de materia seca (**Tabla 9**) se observa alta significación estadística para tratamientos y su efecto lineal en los cortes 1 y 2; además, significación estadística para los cortes 3, 4 y 5. El mejor promedio lo presentó el corte 4 con 8,49 t ha⁻¹ y un coeficiente de variación de 13,64%. La alta significación estadística para el efecto lineal indica que a mayor dosis aplicada mayor es el rendimiento obtenido de la mezcla forrajera.

Tukey al 5% para tratamientos identifica dos rangos de significación para el corte 1, 2 y 4; ubicándose el t6 (125m³ha⁻¹) en el primer rango y al final del segundo rango t1 (0 m³ vinaza) en todos los cortes. También se observa el alto rendimiento que presenta el corte 4 en sus diferentes tratamientos, esto se explica con las condiciones ambientales como precipitación y heliofanía, que hubo luego del tercer corte, por lo cual existió mayor desarrollo del follaje.

Tabla 9. ADEVA para rendimiento de materia seca en el estudio del efecto de la vinaza.

F de V	GL	CUADRADOS MEDIOS					
		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	TOTAL
Total	27	-	-	-	-	-	-
Tratamientos	6	0.619 **	0.978 **	3.113 *	5.350 *	5.842 *	54.962 **
Lineal	1	2.287 **	3.980 **	6.418 *	23.772 **	13.872 *	214.354 **
Cuadrática	1	0.253 ns	0.677 ns	5.984 *	4.063 ns	10.911 *	82.513 **
Cúbica	1	1.007 **	0.311 ns	3.948 ns	0.017 ns	1.577 ns	24.354 *
Cuartica	1	0.041 ns	0.129 ns	2.057 ns	3.301 ns	1.263 ns	4.280 ns
Resto	2	0.063 ns	0.386 ns	0.153 ns	0.474 ns	3.715 ns	22.760 ns
Repeticiones	3	0.039 ns	0.636 ns	0.922 ns	1.470 ns	0.817 ns	1.697 ns
E. Experimental	18	0.097	0.461	1.091	1.340	1.695	3.766
Promedio: (t ha⁻¹)		2.497	2.731	4.528	8.489	5.607	23.852
C.V.: (%)		12.45	16.86	23.07	13.64	23.22	8.14

Tabla 10. Promedios y Prueba de Tukey al 5% de significación para rendimiento de materia seca.

Vinaza m ³ ha ⁻¹	Rendimiento de forraje Seco t ha ⁻¹					
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Total
0	1.71 b	1.82 b	2.89 a	6.27 b	3.23 b	15.92 b
25	2.45 a	2.41 a	4.12 a	8.31 a	5.67 a	22.95 a
50	2.71 a	3.07 a	5.11 a	7.96 a	5.43 a	24.28 a
75	2.44 a	2.56 a	5.30 a	8.76 a	6.95 a	26.01 a
100	2.61 a	3.02 a	5.02 a	9.13 a	5.44 a	25.22 a
125	2.59 a	3.10 a	4.07 a	9.86 a	6.71 a	26.32 a
FQ	2.98 a	3.14 a	5.19 a	9.15 a	5.82 a	26.27 a

* Tukey al 5%

La respuesta obtenida para materia seca es concordante con los datos obtenidos para materia fresca (Gráfico 2); siendo importante remarcar que en todos los cortes; así como, para el rendimiento total, el tratamiento testigo absoluto difirió significativamente del resto de tratamientos. Estos resultados ratifican la importancia de la fertilización en el manejo de pasturas.

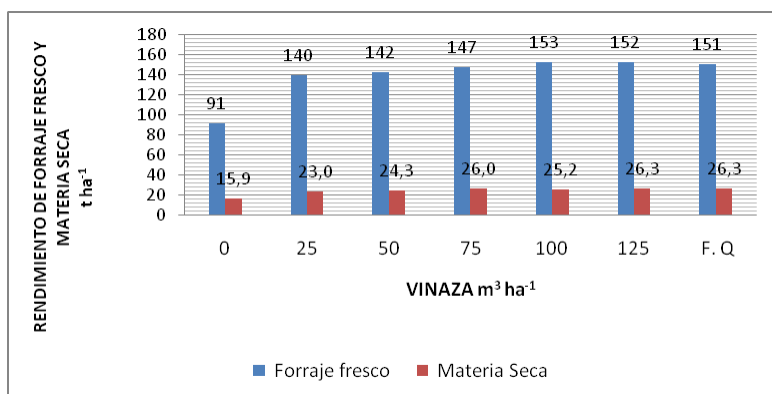


Figura 2. Promedios de rendimiento de forraje fresco y materia seca en el estudio del efecto de la vinaza.

Composición botánica

En la **Tabla 11** se presenta la evolución de la composición botánica expresada en porcentaje durante los cinco cortes. Se observa mayor porcentaje de gramíneas en el corte 1, debido a la eficiencia de absorción de nutrientes de las mismas; además por el incremento del rendimiento del pasto azul según los cortes progresivos.

Tabla 11. Promedios de composición botánica de la mezcla forrajera.

Tratamientos		Composición botánica en %									
No.	Vinaza m ³ ha ⁻¹	Corte 1		Corte 2		Corte 3		Corte 4		Corte 5	
		Gram	Leg.	Gram	Leg.	Gram	Leg.	Gram	Leg.	Gram	Leg.
t1	0	69	29	53	44	31	68	38	62	34	66
t2	25	68	31	62	37	25	74	41	59	55	45
t3	50	70	28	59	39	28	72	43	57	61	39
t4	75	65	30	63	35	29	71	48	52	57	43
t5	100	68	30	66	33	32	68	58	42	55	45
t6	125	76	22	71	28	34	66	47	53	63	37
t7	FQ	73	24	65	34	37	63	47	53	54	46
Promedios X		69.9	27.7	62.7	35.7	30.9	68.9	46.0	54.0	54.1	45.9

Leg: leguminosas, Gram: gramíneas.

Adicionalmente, por condiciones climáticas y características genéticas de las variedades de gramíneas, estas disminuyen con el tiempo, mientras que el porcentaje de leguminosas se incrementa respondiendo a la progresiva aplicación de nutrientes por la adición de vinaza, principalmente nitrógeno. Se observa también mayor extracción de nitrógeno y calcio por parte de las leguminosas, lo cual mejora la población de las mismas.

Finalmente, se encuentra mayor porcentaje de gramíneas en todos los tratamientos que se aplica vinaza y la fertilización química, al contrario de t1 (0 m³ de vinaza ha⁻¹) que presentan mayor porcentaje de leguminosas.

Análisis financiero

La **Tabla 12** muestra que la mayor relación beneficio costo⁻¹ está asociada con los tratamientos t2 (25 m³ vinaza ha⁻¹) y t7, lo que implica que se recupera 8.91 USD por 1 USD invertido. Sin embargo, se observa que los gastos realizados en fertilización con el tratamiento de mejor recuperación del capital t2 (25m³ vinaza ha⁻¹) son bajos en relación a la fertilización química (t6), pero existe una gran diferencia de 18.5 bolos de henolaje ha⁻¹ entre estos dos tratamientos. Como se observa en la **Tabla 13** el rendimiento y capacidad receptiva de t2 representa un costo menor de mantención con igual cantidad de unidades bovinas que los demás tratamientos con 210,69 USD UB⁻¹.

Tabla 12. Relación beneficio costo⁻¹ en el estudio del efecto de la vinaza.

LABOR O ACTIVIDAD	TRATAMIENTOS						
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7
1. ANALISIS DE SUELO	41	41	41	41	41	41	41
2. MAQUINARIA AGRÍCOLA							
Preparación del Suelo (Tractor)	125	125	125	125	125	125	125
Elaboración de Bolos (Farjadora)	200	200	200	200	200	200	200
3. INSUMOS							
Semillas (gramíneas leguminosas)	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4
Fertilización Mano de Obra	50	50	50	50	50	50	50
Mantenimiento	200	200	200	200	200	200	200
Fertilizantes	0	0	0	0	0	0	152.3
Herbicidas	15	15	15	15	15	15	15
Vinaza	0	87,5	175	262,5	350	437,5	0
Total Costos USD ha⁻¹	695.4	782.9	870.4	957.9	1045.4	1132.9	847.7
Bolos Henolaje Mixforrajero ha⁻¹	151.7	232.5	237.2	245.7	254.8	253.9	251
Precio Venta Paca	30	30	30	30	30	30	30
Beneficio Neto USD ha⁻¹	4552.2	6975.1	7116.3	7372.3	7643.7	7617.3	7530
Relación Beneficio Costo⁻¹	6.5	8.9	8.2	7.7	7.3	6.7	8.9

*Costo Vinaza: Tanquero de capacidad de 7000 galones (28000 l) precio del transporte 150 USD por 50 km de recorrido más descarga del producto. $150/28000 = 0,005 \text{ USD l}^{-1} \text{ km}^{-1}$.

Carga animal

Se realizó de acuerdo al rendimiento de forraje fresco de cada tratamiento para conocer la capacidad de carga por hectárea en unidades bovinas, considerando una eficiencia del 70% al realizar pastoreo (consumo de mezcla forrajera).

Se observa en la **Tabla 13** que la capacidad receptiva entre los tratamientos de vinaza y fertilización química es de aproximadamente 4 UB ha⁻¹, duplicando a la capacidad que presenta t1 (0m³vinaza ha⁻¹) que no recibió ningún tipo de fertilización.

Tabla 13. Capacidad receptiva de cada tratamiento evaluado.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO kg ha ⁻¹	CAPACIDAD RECEPTIVA UB ha ⁻¹	COSTO USD UB ⁻¹
t5 (100 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	152873	4.1	256.73
t6 (125 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	152345	4.1	279.18
t7 (Fertilización química)	150600	4.0	211.32
t4 (75 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	147446	3.9	243.90
t3 (50 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	142326	3.8	229.59
t2 (25 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	139502	3.7	210.69
t1 (0 m ³ vinaza ha ⁻¹ año ⁻¹)	91043	2.4	286.75

CONCLUSIONES

- ✓ En las características físicas del suelo no se observó variación alguna luego de la aplicación de diferentes niveles de vinaza.
- ✓ Se observó un efecto notable en la disponibilidad de nutrientes en el suelo especialmente en el caso de N, K, S, Fe y Mn. Se puede afirmar, entonces, que la vinaza puede reemplazar a la fertilización química permitiendo una agricultura sostenible.
- ✓ La mayor eficiencia agronómica de la vinaza se obtuvo con 25 m³ha⁻¹año⁻¹, ya que cada m³ incrementa 1.94 toneladas de forraje fresco; mientras que con niveles superiores a este existe un decrecimiento de la eficiencia hasta 0.49 toneladas de forraje por cada m³ de vinaza con la dosis de 125 m³ vinaza ha⁻¹año⁻¹.
- ✓ La extracción de nutrientes en general es muy elevada, pero aún así el suelo contiene altos niveles de nutrientes disponibles. El mayor rendimiento de forraje fresco lo presenta la dosis de 100 m³vinaza ha⁻¹año⁻¹ con 152,87 t ha⁻¹; el mismo que presenta alta disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual indica que la vinaza incorpora gran cantidad de nutrientes como nitrógeno, calcio y potasio aunque la extracción de los mismos también sea alta.
- ✓ La aplicación de vinaza tuvo un efecto positivo en el rendimiento de materia fresca y seca de la mezcla forrajera. Se obtuvo el mejor rendimiento de materia fresca con el tratamiento t6 (125m³vinaza ha⁻¹año⁻¹) de 152.34 t ha⁻¹ año⁻¹ y en materia seca con 26.32 t ha⁻¹ año⁻¹.
- ✓ El rendimiento de materia fresca de la mezcla forrajera total, obtenido con la vinaza t2 de 152,34 t ha⁻¹ año⁻¹ fue estadísticamente igual al obtenido con el fertilizante químico t7 de 150.59 t ha⁻¹ año⁻¹, es decir que se puede reemplazar la fertilización química por la aplicación de vinaza como una buena alternativa nutricional y económica.
- ✓ La capacidad receptiva con mayor rentabilidad de la mezcla forrajera se presentó con la dosis de 25 m³ de vinaza ha⁻¹ con 3.7 UB ha⁻¹ y un costo anual de 210.69 USD UB⁻¹. Lo que implica un menor costo de manutención por unidad.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se puede afirmar que la utilización de vinaza es una alternativa orgánica para reducir la fertilización inorgánica, debido principalmente al alto contenido nutricional a bajo costo y condiciones químicas del suelo utilizado en este estudio.
- ✓ De forma preliminar para la producción de una mezcla forrajera (gramíneas-leguminosas), se recomienda la aplicación de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de vinaza, fraccionada en cinco aplicaciones al año, después de cada corte o pastoreo.
- ✓ De acuerdo a los resultados de este primer año, realizar los ajustes pertinentes sobre los niveles y formas de aplicación de la vinaza para evaluaciones de residualidad.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, S., J. Córdova, y M. López. 2000. Metodologías de análisis físico químico de suelo, aguas y foliares. Quito. (EC), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. P. 5-58
- Cañadas, L. 1983. “El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador”, MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador, p.35.
- Espinosa, J. 1996. “Relación entre la Fertilización Mineral, la Materia Orgánica y los Microorganismos del Suelo”, UCE, Quito, Ecuador, pp.1-15.
- González, S. 2007, “La Biomasa del Suelo, Valencia, España, p20.
- Horwath, R., y E. A. Paul. 1994, “Propiedades Bioquímicas y Microbiológicas del Suelo”, Métodos y Análisis de Suelos, Parte 2, Universidad del Estado de Michigan, USA, pp. 754-760.
- INAMHI. 2008. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología “Estudios e Investigaciones Meteorológicas, Estadística Climatología”, Estación Izobamba, Mejía, Ecuador.
- León, R. 2003. “Pastos y Forraje: Producción y Manejo”, UCE, Quito, Ecuador, p.200.
- Luzuriaga, C. 2001. “Curso de Edafología General”, IASA, Sangolquí, Ecuador, p. 131.
- Paladines, O. 1997. “Especies Forrajeras de Mayor Uso en el Ecuador” Quito, Ecuador, p.50.
- Santos, M., F. Martín, F. Diánez, M. Carretero, M. García, y J. Tello. 2007. “Efecto de la Aplicación de Vinaza de Vino como Biofertilizante y en el Control de Enfermedades en el Cultivo de Pepino” [http://www.agroecología.net/congresos-seae/bullas08/actas-bullas/seae-bullas/cerd/sesiones/16S4CSANIDAD\(III\)/S4C8.pdf](http://www.agroecología.net/congresos-seae/bullas08/actas-bullas/seae-bullas/cerd/sesiones/16S4CSANIDAD(III)/S4C8.pdf), (Febrero, 2009).
- Taday, N. 2009. Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) híbrido Quantum a la aplicación de seis dosis de vinaza en un Mollisol. Tumbaco- Pichincha. Tesis Ing. Agr. U.C.E – F.C.A.
- Torres, C. 2002. “Manual Agropecuario”, Limerin, S.A., Bogotá, Colombia, pp. 840-860.
- Valverde, F., Y. Cartagena, y R. Parra. 2004. “Efecto de la Vinaza obtenida de la Fabricación de la Levadura y Aplicada en el Agua de Riego, sobre el Rendimiento de Tres Cultivos y las Características Químicas del Suelo”. Informe anual. p.21.