

RESPUESTA DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD INIAP-ESTELA A LA APLICACION DE VINAZA Y RIEGO POR GOTEO

Ximena Mora¹, Franklin Valverde², Rafael Parra², Yamil Cartagena², Soraya Alvarado² y Rusbel Jaramillo³

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Correo electrónico: ximenamora7_com@yahoo.es

² Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina.

Departamento de Manejo de Suelos y Aguas.

³ Departamento de Control Ambiental, Levapan del Ecuador S.A

INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más populares en la región Andina, por su alto contenido de carbohidratos que la convierte en una fuente de energía importante. En el Ecuador el cultivo de papa generalmente se produce en la Sierra donde es mayor su consumo. En la actualidad existen diferentes variedades que se cultivan en todo el mundo desde el nivel del mar hasta altitudes que llegan a los 4000 m. Por ser un cultivo de importancia a nivel mundial, las Naciones Unidas declararon el 2008 como año Internacional de la Papa, así se promovió proyectos encaminados a fortalecer la importancia de este cultivo como alimento de los países en desarrollo (Muñoz, 2010 y CIP, 1996).

Los suelos de la Sierra Ecuatoriana presentan baja productividad causada por el uso intensivo del suelo, erosión, factores climáticos y aplicaciones inadecuadas de los fertilizantes. Los factores expuestos influyen en los bajos rendimientos del cultivo y a su vez repercuten en la baja rentabilidad (Valverde *et al.*, 1999).

En el país, el uso de abonos orgánicos por los agricultores es muy restringido, debido a que se requiere aplicar grandes cantidades para cubrir los requerimientos nutrimentales de los cultivos, esto incrementa las necesidades de mano de obra, tiempo y costos, en comparación con los fertilizantes químicos que son de fácil manejo y rápida absorción. Sin embargo, el uso continuo, exclusivo e inadecuado de los fertilizantes químicos es nocivo; debido al desequilibrio biológico y el consecuente deterioro de las propiedades físico-químicas del suelo, lo que contribuye a su degradación (Suquilanda, 2008).

La vinaza, es un subproducto líquido generado en el proceso de fabricación de la levadura y esta calificada como un residuo altamente contaminante; debido a su elevada carga orgánica que se fermenta con gran facilidad. La fermentación es aeróbica, por lo cual la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es muy elevada; reduciendo el oxígeno de su entorno y destruyendo el ecosistema. La vinaza puede ser utilizada como abono; de acuerdo con ensayos realizados en la Universidad Nacional de Colombia, este producto tiene una composición química y biológica apropiada para este fin (Wipo, 2007 y Prieto, 2001).

El tema riego en papa ha sido poco investigado y analizado; cabe señalar que en su mayoría, el cultivo es de secano con una sola cosecha anual, debido al régimen climático existente y al período biológico del cultivo. Sin embargo, en zonas con sistemas de riego se puede realizar dos cosechas al año (Comina, 2007).

Al utilizar un sistema de riego por goteo en este cultivo no solo se satisfacen las necesidades hídricas, sino que también contribuirá a una mayor productividad, mejor uso del agua de riego, reducción de la evaporación del suelo y de las pérdidas por percolación, lo que trae una reducción significativa de las necesidades netas y brutas de agua, ahorros en la mano de obra y se reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas (Huanca, 2009).

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de niveles de vinaza y el riego por goteo en el rendimiento, calidad física y sanitaria de tubérculos y en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad INIAP-Estela.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar el nivel óptimo de vinaza en base al rendimiento del cultivo.
- ✓ Evaluar el efecto del riego en la eficiencia de las dosis de vinaza y su interacción en el rendimiento.
- ✓ Evaluar los efectos de aplicación de vinaza sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- ✓ Analizar el efecto del riego y la aplicación de vinaza en la calidad física y sanitaria de los tubérculos.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación corresponde al tercer ciclo de aplicación de niveles de vinaza, utilizando la rotación arveja, maíz y papa. El ensayo estuvo en el Campo Experimental La Tola de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador (CADET), ubicada en la provincia Pichincha, cantón Quito, parroquia Tumbaco; a 78°21'18" Longitud Oeste y 00°13'49" Latitud Sur, a 2460 m de altitud, precipitación media anual 868 mm, temperatura media anual 17.2°C y humedad relativa anual 73.9% (INAMHI, 2009).

El CADET se encuentra en una transición entre las zonas ecológicas de bosque seco montano bajo y bosque húmedo montano bajo (Cañadas, 1983). Las características químicas de este suelo de acuerdo con el análisis de disponibilidad de nutrientes muestra que es alto en K, Ca, Mg, Cu, Fe y Mn; medio en P y bajo en N, S, Zn y B. Según Mejía (1986) este suelo está clasificado como Durustolls.

Para determinar la cantidad de agua necesaria a regar durante el ciclo del cultivo, se empleó el método del balance hídrico. Conociendo la evaporación potencial y la precipitación del lugar, se estableció el balance hídrico durante el ciclo. El concepto de balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre el suelo, las plantas y la atmósfera, de fácil modelación, y sujeto a aplicarse por medio de simulaciones de toda clase de situaciones climáticas, edáficas y de cultivos.

Se evaluaron catorce tratamientos resultantes de la combinación de las fertilizaciones y el riego por goteo (**Tabla 1**). Se utilizó el Diseño de Parcela Dividida con cuatro repeticiones; la parcela grande correspondió al factor riego y la sub parcela a las fertilizaciones. Se utilizó la variedad de papa INIAP-Estela; la distancia de siembra fue a 1.10 m entre surcos y 0.30 m entre plantas; cuatro surcos por parcela, área de la parcela total 17.16 m² (4.4 m x 3.9 m) y el área de la parcela neta 7.26 m² (2.2 m x 3.3 m).

Tabla 1. Tratamientos para la evaluación del efecto de riego por goteo y fertilizaciones.

No.	Código	Riego	Fuente	Dosis (m ³ ha ⁻¹)
1	r ₀ f1	sin riego	Vinaza	0
2	r ₀ f2	sin riego	Vinaza	25
3	r ₀ f3	sin riego	Vinaza	50
4	r ₀ f4	sin riego	Vinaza	75
5	r ₀ f5	sin riego	Vinaza	100
6	r ₀ f6	sin riego	Vinaza	125

7	r ₀ f7	sin riego	Fertilización Química *	----
8	r ₁ f1	con riego	Vinaza	0
9	r ₁ f2	con riego	Vinaza	25
10	r ₁ f3	con riego	Vinaza	50
11	r ₁ f4	con riego	Vinaza	75
12	r ₁ f5	con riego	Vinaza	100
13	r ₁ f6	con riego	Vinaza	125
14	r ₁ f7	con riego	Fertilización Química *	----

* 150-250-60-30 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O-S, recomendación según análisis de suelos

Las fuentes de fertilizantes utilizadas en el tratamiento de fertilización química fueron 18-46-0, Sulpomag, Urea y Muriato de potasio. Las características de la vinaza se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resultados del análisis químico de la vinaza producida por Levapan del Ecuador S.A.

pH	C.E	N Total	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	MO	Na	B	Zn	Cu	Fe	Mn
		(dSm ⁻¹)	(kg m ⁻³)											
5.8	19.2	2.8	2.5	5.9	2.7	0.7	1.4	10	1.8	0.003	0.003	0.002	0.038	0.022

Fuente: Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas-EESS-INIAP. 2009

RESULTADOS Y DISCUSION

Altura de plantas

El análisis de varianza para altura de plantas detectó alta significación estadística al 1% para tratamientos y significación estadística al 5% para riego y para la comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6. Para tratamientos se presentaron cinco rangos, en primer lugar se encontró con riego y 25 m³ ha⁻¹ con 68.25 cm y en último lugar sin riego y fertilización química con un promedio de 48.5 cm. La prueba DMS al 5% para riego (**Figura 1**) ubico en el primer rango al riego con un promedio de 64.57 cm y en el segundo rango, sin riego con un promedio de 53.32 cm. La comparación ortogonal (**Tabla 3**) entre niveles de vinaza muestra un promedio de 59.50 cm y para fertilización química un promedio de 55.63 cm pero dentro de un solo rango de significación estadística.

Las plantas con menor altura se obtuvieron con los tratamientos sin riego, debido a las etapas de sequía que soportó el cultivo durante los dos primeros meses, con una precipitación promedio mensual de 50.2 mm. En estas condiciones de sequía, la absorción de nutrientes es baja pues el agua sirve de diluyente y de medio de transporte hacia las células de la planta. Los tratamientos con riego presentaron las plantas con mayor altura. El sistema de riego por goteo tiene la ventaja de facilitar la movilidad de los nutrientes permitiendo de esta manera que las raíces de las plantas absorban los elementos de la solución del suelo (Burt *et al.*, 1995).

Una humedad adecuada favorece la absorción de todos los elementos requeridos por las plantas aumentando el desarrollo y crecimiento. En el suelo, el fósforo es poco móvil y sólo es absorbido cuando llega a las raíces de la planta por procesos de difusión (Amadeo, 2010). El agua es vital para el crecimiento de las plantas y participa directa o indirectamente en todas las reacciones fisiológicas y de transporte. La fotosíntesis disminuye en las plantas con “estrés hídrico”, por la pobre hidratación de las hojas lo que da lugar a que por la falta de turgencia los estomas no se abran para el intercambio de gases (Padilla, 2007).

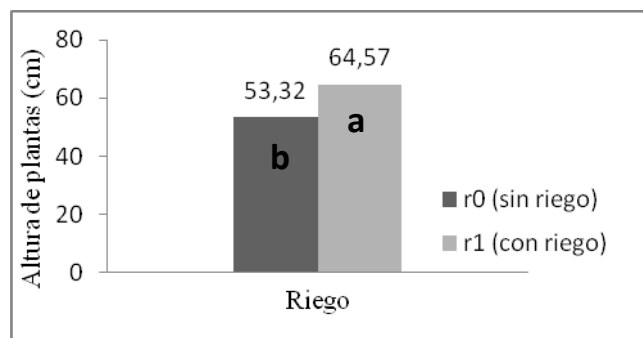


Figura 1. Prueba de DMS al 5% para riego en la evaluación de altura de plantas en papa variedad INIAP-Estela.

Rendimiento Total

El análisis de varianza para rendimiento total de papa determinó alta significación estadística al 1% para tratamientos, riego y fertilización.

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 3**) para tratamientos detectó cinco rangos de significación, ubicándose en primer lugar con riego y 125 m³ ha⁻¹ de vinaza con un rendimiento promedio de 56.96 t ha⁻¹, seguido de la fertilización química con 47.84 t ha⁻¹ y en último lugar el tratamiento sin riego y sin vinaza con 21.70 t ha⁻¹; en los tratamientos sin riego el nivel de 75 m³ ha⁻¹ rindió igual a la fertilización química y con los niveles de 100 y 125 m³ ha⁻¹ de vinaza los rendimientos fueron mayores. Para niveles de vinaza, detectó tres rangos de significación, ubicándose en primer lugar 125 m³ ha⁻¹ con un promedio de 44.23 t ha⁻¹ y en último lugar sin vinaza con 33.48 t ha⁻¹, los niveles crecientes de vinaza incrementaron el rendimiento de papa. En la **Figura 2** se muestra como la prueba de DMS al 5% detectó dos rangos de significación, en el primero se ubicó con riego con un rendimiento promedio de 47.50 t ha⁻¹ y el segundo sin riego con un promedio de 26.97 t ha⁻¹.

Resultados similares obtuvo Perugachi (2005) al evaluar la respuesta de dos genotipos de papa con fertilización orgánica y química, bajo riego por goteo, al obtener el rendimiento total más alto con la fertilización del productor (271 kg ha⁻¹ de N, 345 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 340 kg ha⁻¹ de K₂O y 30 kg ha⁻¹ de S) bajo riego por goteo con un promedio de 34.30 t ha⁻¹, en tanto que el menor rendimiento obtuvo sin fertilización presentando un promedio de 27.56 t ha⁻¹. Con estos resultados se concluye que la incorporación de materia orgánica contribuye significativamente a aumentar el rendimiento de papa y el nivel de fertilidad del suelo.

El cultivo de papa extrae altas cantidades de nitrógeno (150 kg ha⁻¹), fósforo (60 kg ha⁻¹), potasio (310 kg ha⁻¹), magnesio (40 kg ha⁻¹) y azufre (20 kg ha⁻¹) (Valverde *et al.*, 1999). La vinaza utilizada como fuente de abono orgánico, proporciona estos nutrientes y cubre las necesidades nutrimentales de este cultivo; así, con 125 m³ ha⁻¹ de vinaza se aporta al suelo 350, 312, 737, 337, 87 y 175 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg y S; respectivamente, además de los micronutrientes; superando a la fertilización química utilizada en el ensayo (**Tabla 1**).

La vinaza como abono provoca un aumento importante en el rendimiento en comparación con los fertilizantes químicos. Gómez (1996) reportó incrementos significativos en el rendimiento de trigo, caña de azúcar y chícharo gandú con el uso de vinaza respecto al uso de fertilizantes químicos. De otra parte, la disponibilidad de agua durante el ciclo de cultivo es de fundamental importancia, así los niveles reducidos de humedad del suelo afectan negativamente el rendimiento. La productividad de papa fue dependiente de la disponibilidad de agua en el suelo; con el riego por goteo, el cultivo logró evapotranspirar a su máxima capacidad y logró alcanzar altos rendimientos.

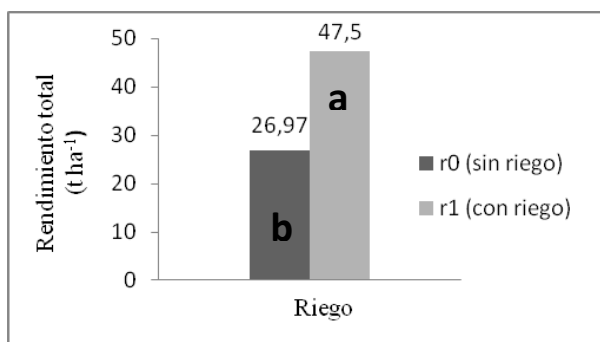


Figura 2. Prueba de DMS al 5% para riego en la evaluación del rendimiento total de papa

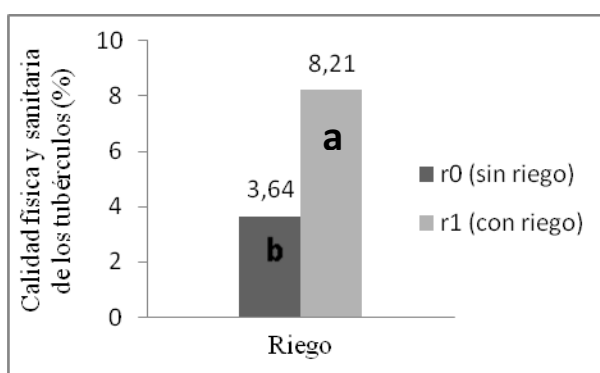


Figura 3. DMS al 5% para riego en la evaluación de la calidad física y sanitaria de los tubérculos

Calidad física y sanitaria de los tubérculos

Al realizar el análisis de varianza para el daño físico y sanitario de los tubérculos, se obtuvo alta significación estadística al 1% para tratamientos, riego, niveles de vinaza y comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6. Se presentaron tres rangos entre los tratamientos; en primer lugar se encontró sin riego y $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con 2.75% de daño de tubérculos y en último lugar con riego y $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de 11.50%. La prueba de DMS al 5% (**Figura 3**) para riego, detectó dos rangos de significación estadística, en primer lugar se ubicó sin riego con un promedio de 3.64% y en último lugar con riego con un promedio de 8.21%. La comparación ortogonal (**Tabla 3**) detecta dos rangos, f7 con 3.63% y f1, f2, f3, f4, f5, f6 con un promedio de 6.31%. La prueba de Tukey al 5% para niveles de vinaza (**Tabla 3**) muestra tres rangos, ubicándose en primer lugar $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con 4% y en último lugar $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de 8.13% de daño en los tubérculos.

El mayor porcentaje de daños físicos y sanitarios se presentaron en los tratamientos con riego y con los niveles más bajos de vinaza ($25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) mientras que el menor porcentaje de daños físicos y sanitarios se obtuvo con los tratamientos sin riego, a niveles altos de vinaza ($100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y con los tratamientos con fertilización química. Los tratamientos con riego presentaron tubérculos con pudriciones, sarna y un segundo crecimiento de los tubérculos. En la senescencia se tuvieron altas precipitaciones, lo cual afectó a los tratamientos que se les aplicó riego por goteo. Hubo un exceso de humedad y las condiciones del suelo impidieron un buen drenaje.

Según Varas (2010) al aplicar riego y al no tener buen drenaje, se altera la atmósfera del suelo, limitando el abastecimiento de oxígeno para las raíces esto facilita el ataque de hongos del suelo y

podriciones en tubérculos ya formados. Una excesiva variación de la humedad del suelo afecta la calidad de la cosecha; así, un riego luego de un período prolongado de sequía después que se han formado los tubérculos, puede provocar un segundo crecimiento de éstos, que suele ocurrir a expensas de las reservas acumuladas en los tubérculos ya formados, lo que además de reducir su peso provoca deformaciones que reducen su valor comercial (CIP, 1996).

Tabla 3. Promedios de altura de plantas, rendimiento y calidad de tubérculos de papa variedad INIAP-Estela y Tukey al 5% para tratamientos y niveles de vinaza; DMS al 5% para riego y la comparación ortogonal.

Factores	Altura de plantas (cm)	Rendimiento total (t ha ⁻¹)	Calidad física y sanitaria de tubérculos (%)
Tratamientos			
r0 f1	56.75 bcde	21.70 e	3.75 a
r0 f2	57.50 bcde	24.51 cde	4.75 a
r0 f3	51.75 e	23.62 de	4.50 a
r0 f4	52.75 de	26.95 cde	3.25 a
r0 f5	53.50 cde	33.56 c	3.25 a
r0 f6	52.50 de	31.49 cd	2.75 a
r0 f7	48.50 e	26.97 cde	3.25 a
r1f1	64.00 ab	45.26 b	10.00 cb
r1f2	68.25 a	44.37 b	11.50 c
r1f3	65.50 ab	46.53 b	9.75 cb
r1f4	62.00 abcd	45.47 b	8.50 b
r1f5	65.50 ab	46.05 b	8.50 b
r1f6	64.00 ab	56.96 a	5.25 a
r1f7	62.75 abc	47.84 ab	4.00 a
Niveles de Vinaza			
f1	60.38	33.48 c	6.88 cb
f2	62.88	34.44 bc	8.13 c
f3	58.63	35.08 bc	7.13 cb
f4	57.38	36.21 bc	5.88 b
f5	59.50	39.80 ab	5.88 b
f6	58.25	44.23 a	4.00 a
Comparación Ortogonal			
f7 vs	55.63 a	37.41	3.63 a
f1,f2,f3,f4,f5,f6	59.50 a	37.21	6.31 b

*Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

Propiedades físicas del suelo

Para humedad gravimétrica y densidad aparente al inicio del ensayo, no se detectó ninguna significación estadística para los factores en estudio. Las muestras se tomaron 3 días después de la siembra y la acción de los factores en estudio no marcó diferencias en el suelo. Para densidad aparente al final del ensayo se observó significación estadística al 5% para la comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6. Al realizar la prueba DMS al 5% (**Tabla 4**) se detectó un solo rango; donde la fertilización presentó un promedio de 1.54 g cc⁻¹ y la vinaza un promedio de 1.37 g cc⁻¹.

La densidad aparente depende de varios factores, como la densidad de las partículas del suelo, la compactación, las actividades de la fauna macrobiana, la abundancia de raíces de plantas y la cantidad de materia orgánica (Portland State University, 2010). Mientras más elevado sea el valor de la densidad aparente, menor estructura tiene el suelo; lo que en la mayoría de los casos implica menor capacidad de retención de agua y menor contenido de materia orgánica (INFOTEC, 2005).

El análisis estadístico para humedad gravimétrica al final del ensayo determinó significación estadística al 5% para tratamientos. Con la prueba de Tukey al 5% se encontraron dos rangos de significación, ubicándose en primer lugar con riego y $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de 25.28% de humedad gravimétrica y en segundo lugar sin riego y $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de 21.25%.

Tabla 4. Promedios de densidad aparente y humedad gravimétrica, Tukey al 5% para tratamientos y DMS al 5% para la comparación ortogonal en papa variedad INIAP-Estela.

Factores	Humedad gravimétrica (%)		Densidad aparente (g cc^{-1})	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Tratamientos				
r0 f1	21.84	23.28 ab	1.30	1.42
r0 f2	24.59	21.25 b	1.27	1.32
r0 f3	24.59	24.13 ab	1.26	1.31
r0 f4	23.53	23.50 ab	1.29	1.32
r0 f5	24.57	24.42 ab	1.24	1.40
r0 f6	22.79	22.14 ab	1.26	1.42
r0 f7	22.70	24.41 ab	1.28	1.68
r1f1	24.54	24.31 ab	1.29	1.42
r1f2	26.89	24.07 ab	1.13	1.40
r1f3	23.41	21.86 ab	1.29	1.32
r1f4	22.64	24.81 ab	1.23	1.28
r1f5	23.26	25.23 a	1.20	1.36
r1f6	21.81	25.28 a	1.28	1.43
r1f7	22.72	23.64 ab	1.28	1.41
Riego				
r0	23.51	23.3	1.27	1.41
r1	23.61	24.17	1.24	1.37
Niveles de Vinaza				
f1	23.19	23.80	1.29	1.42
f2	25.74	22.66	1.20	1.36
f3	24.00	22.99	1.27	1.31
f4	23.08	24.15	1.26	1.30
f5	23.92	24.82	1.22	1.38
f6	22.30	23.71	1.27	1.42
Comparación Ortogonal				
f7 vs	22.71	24.02	1.28	1.54 a
f1,f2,f3,f4,f5,f6	23.7	23.69	1.25	1.37 a

*Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%

Biomasa microbiana del suelo

El análisis de varianza para la actividad microbiana del suelo a los 10 días después de la siembra (dds) determinó alta significación estadística para tratamientos, riego y niveles de vinaza. La prueba Tukey al 5% (**Tabla 5**) para tratamientos detectó dos rangos, en el primer lugar se ubicó con riego y $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de $0.49 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco y en último lugar sin riego y sin vinaza con un promedio de $0.24 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco. Para niveles de vinaza se detectaron tres rangos, encontrándose en primer lugar $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de $0.41 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco y en último lugar sin vinaza con $0.25 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco. DMS al 5% (**Figura 4**) para riego, detectó

dos rangos de significación, ubicándose en primer lugar con riego con un promedio de 0.31 mg C- CO₂/g suelo seco y en último lugar sin riego con un promedio de 0.26 mg C- CO₂/g suelo seco.

El análisis de varianza para biomasa microbiana en el suelo a la floración, determinó alta significación estadística al 1% para tratamientos, riego, vinaza y comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6. Tukey al 5% para tratamientos (**Figura 5**) detectó cinco rangos de significación, ubicándose primero el tratamiento con riego y 125 m³ ha⁻¹ con un promedio de 2.05 mg C- CO₂/g suelo seco y en último lugar el tratamiento sin riego y sin vinaza con un promedio de 0.24 mg C- CO₂/g suelo seco. Para niveles de vinaza se detectaron cuatro rangos, en el primer lugar se encontró 125 m³ ha⁻¹ con 1.59 mg C- CO₂/g suelo seco y en el último sin vinaza con 0.35 mg C- CO₂/g suelo seco. La prueba DMS al 5% para riego (**Figura 4**) presentó en primer lugar al riego con un promedio de 1.16 mg C- CO₂/g suelo seco y en último lugar sin riego con 0.76 mg C- CO₂/g suelo seco.

Figura 4. Tukey al 5% para tratamientos y dosis de vinaza. DMS al 5% para riego y para la comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6 en papa variedad INIAP-Estela.

Factores	Biomasa del suelo (mg C- CO ₂ /g suelo seco)		
	10 dds	Floración	Senescencia
Tratamientos			
r0 f1	0.24 b	0.24 e	0.24 c
r0 f2	0.28 b	0.60 cde	1.32 b
r0 f3	0.25 b	0.66 cde	1.58 b
r0 f4	0.24 b	0.62 cde	1.24 bc
r0 f5	0.27 b	1.01 bcd	1.70 ab
r0 f6	0.34 b	1.14 bc	1.91 ab
r0 f7	0.24 b	1.05 bcd	1.77 ab
r1f1	0.27 b	0.45 de	0.66 c
r1f2	0.34 b	0.98 bcde	1.83 ab
r1f3	0.26 b	1.13 bc	1.84 ab
r1f4	0.25 b	0.78 cde	1.69 ab
r1f5	0.26 b	1.17 bc	2.09 ab
r1f6	0.49 a	2.05 a	2.71 a
r1f7	0.29 b	1.54 ab	2.14 ab
Niveles de Vinaza			
f1	0.25 c	0.35 d	0.45 c
f2	0.31 b	0.79 bc	1.57 b
f3	0.25 c	0.89 bc	1.71 ab
f4	0.25 c	0.70 cd	1.47 b
f5	0.26 c	1.09 b	1.89 ab
f6	0.41 a	1.59 a	2.31 a
Comparación Ortogonal			
f7 vs	0.26	1.29 a	1.96 a
f1,f2,f3,f4,f5,f6	0.29	0.90 b	1.57 b

*Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%

El análisis de varianza para biomasa en el suelo a la senescencia determinó alta significación estadística al 1% para tratamientos y vinaza y significación al 5% para riego y la comparación f7 vs f1, f2, f3, f4, f5, f6. Tukey al 5% (**Tabla 5**) para tratamientos detectó tres rangos de significación, ubicándose en el primero con riego y 125 m³ ha⁻¹ de vinaza con un promedio de 2.71 mg C- CO₂/g suelo seco y en último lugar sin riego y sin vinaza con 0.24 mg C- CO₂/g suelo seco. Para vinaza se detectaron tres rangos (**Tabla 5**), en primer lugar se ubicó 125 m³ ha⁻¹ con un promedio de 2.31 mg C- CO₂/g suelo seco y en el último lugar sin vinaza con 0.45 mg C- CO₂/g suelo seco. DMS al 5% para riego (**Figura 4**), detectó dos rangos, encontrándose en primer lugar con riego con un promedio de

1.85 mg C- CO₂/g suelo seco y en último lugar sin riego con un promedio de 1.39 mg C- CO₂/g suelo seco.

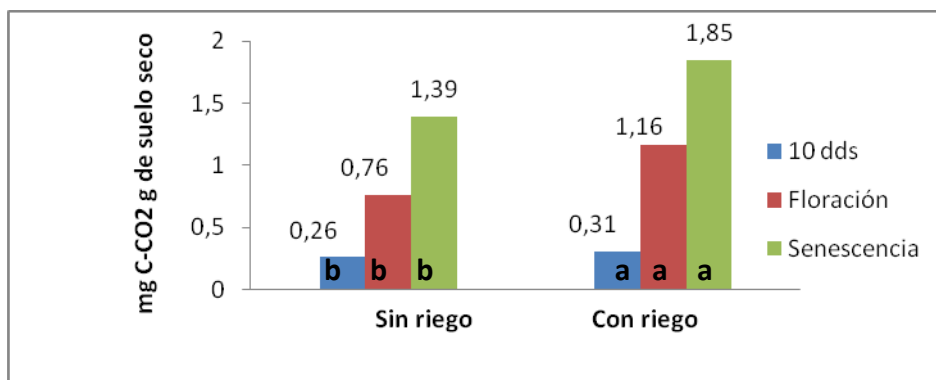


Figura 4. DMS al 5% para riego en la evaluación de biomasa microbiana del suelo a los 10 dds, floración y senescencia en el cultivo de papa variedad INIAP-Estela.

Al aplicar vinaza en el suelo, se incorporó macro y micro nutrientes que favorecieron el crecimiento de los microorganismos. Según Valverde *et al.* (2004) la aplicación de la vinaza al suelo es considerada como una fertilización de elevada eficiencia, ya que además de aportar al suelo los nutrientes necesarios, mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

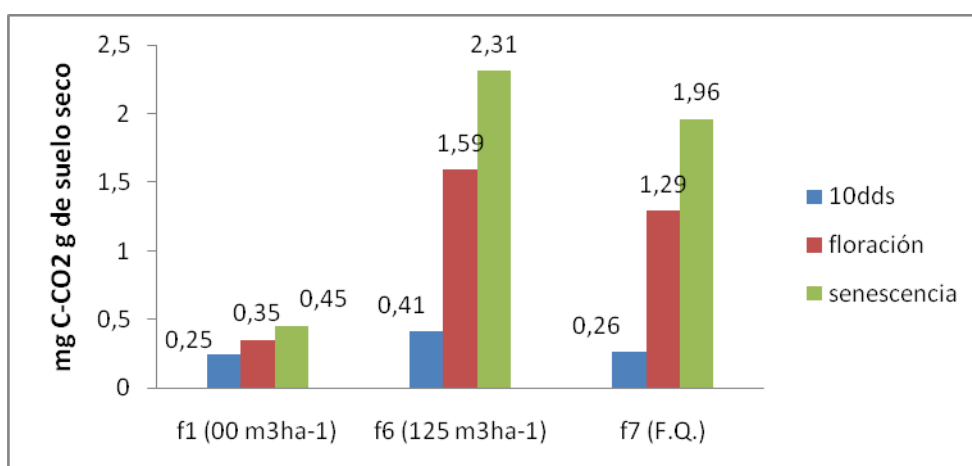


Figura 5. Promedios para tratamientos f1 (00 m³ha⁻¹) f6 (125 m³ha⁻¹) y f7 (Fertilización química) en la evaluación de biomasa microbiana del suelo a los 10 dds, floración y senescencia en el cultivo de papa variedad INIAP-Estela.

De estos resultados se observa claramente que la fertilización química tiene asociada cantidades de biomasa comparables con el nivel más alto de vinaza (**Figura 5**) y marcadamente superior al que presenta el testigo. Algunos autores señalan que al utilizar fertilizantes inorgánicos se destruye a la biomasa del suelo. Sin embargo, este estudio demuestra que una fertilización inorgánica racional y balanceada favorece el crecimiento microbiano.

Con la vinaza se está consiguiendo tener un suelo naturalmente fértil, que según Wild (1992), es aquél en el que los organismos edáficos van liberando nutrientes inorgánicos, a partir de las reservas orgánicas, con velocidad suficiente para mantener un crecimiento rápido de las plantas. Este conjunto de transformaciones microbianas de la forma orgánica no utilizable a una forma inorgánica asimilable se llama mineralización. La actividad biológica de los suelos es la resultante de las funciones

fisiológicas de los organismos que proporciona a las plantas un ambiente adecuado para su desarrollo. Lo que requieren los microorganismos edáficos es energía, elementos nutritivos, agua, temperaturas adecuadas y ausencia de condiciones nocivas.

Durante la floración y la senescencia se observa un mayor efecto del factor riego sobre el crecimiento microbiano, lo cual puede explicarse ya que el grado de humedad del suelo afecta directamente al crecimiento, desarrollo y multiplicación de sus poblaciones.

Los resultados de este estudio son consistentes con lo encontrado por Jaramillo (2010) al evaluar el efecto de la vinaza en el rendimiento de una mezcla forrajera. Dicho estudio determinó que la mayor respuesta de microorganismos fue con el nivel de $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de $0.98 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco y la menor actividad biológica sin fertilización con un promedio de $0.59 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco. Concluye que existe una relación directa y positiva entre la actividad microbiana y la cantidad de producto orgánico aplicado. De igual manera, Reyes (2009) en la evaluación del efecto de niveles de vinaza en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) variedad INIAP - 122 Chaucho Mejorado en choclo, señala que durante tres muestreos, la producción de CO_2 se incrementó al máximo con la dosis $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de $1.35 \text{ mg CO}_2/\text{g}$ de suelo seco, mientras que sin vinaza el promedio fue de $0.75 \text{ mg CO}_2/\text{g}$ de suelo seco. 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, también concluye que la biomasa microbiana del suelo más elevada estuvo asociada con la dosis de $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con un promedio de $1.0 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco en comparación al tratamiento sin vinaza que presentó un promedio de $0.617 \text{ mg C- CO}_2/\text{g}$ suelo seco.

El efecto positivo y acumulativo de la aplicación de vinaza sobre las poblaciones de microorganismos es evidente. Como se observa en el **Figura 6**, para los tres ciclos de cultivos arveja, maíz y papa, la cantidad de biomasa microbiana para el tratamiento sin aplicación de vinaza es baja comparada con el tratamiento de $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Estos resultados son esperados por el efecto acumulativo de nutrientes en el suelo asociado con las aplicaciones consecutivas de vinaza.

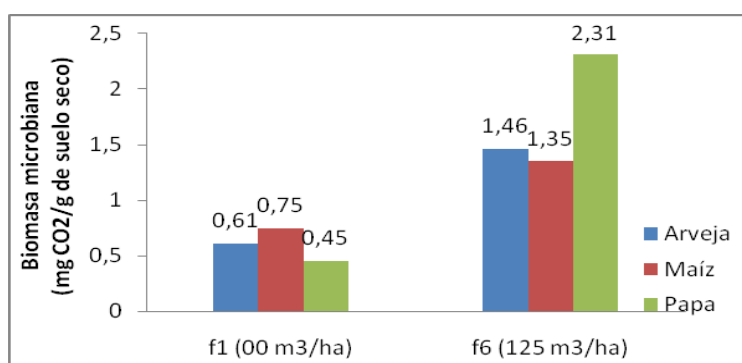


Figura 6. Promedios para la biomasa microbiana del suelo en los cultivos de arveja, maíz y papa. Tumbaco – Pichincha 2010.

Análisis químico del suelo al final del ensayo

El análisis químico de suelos realizado luego de la cosecha (**Tabla 6**) muestra que la aplicación de vinaza favoreció la acumulación y por tanto la disponibilidad de P, S, y K tanto en los tratamientos con riego como en los tratamientos sin riego. Sin embargo, se observa un efecto residual marcado de la aplicación de P inorgánico, el cual no fue superado por el aporte de P con la aplicación de vinaza. Estos resultados ratifican una vez más que la aplicación de vinaza satisface los requerimientos del cultivo y aún existe una considerable disponibilidad de nutrientes luego de la cosecha.

Tabla 6. Análisis químico al final del ensayo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad INIAP-Estela.

Tratamientos	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
	(ppm)			meq (100 ml) ⁻¹			(ppm)			
r0 f1	16.0	26.5	8.7	0.6	8.3	4.6	1.5	7.7	114.5	6.2
r0 f2	15.5	27.8	13.4	0.8	8.4	4.6	1.5	7.6	110.5	6.0
r0 f3	17.0	27.0	16.3	0.9	8.7	4.9	1.6	8.1	114.3	6.6
r0 f4	17.5	31.8	17.8	1.2	8.9	5.0	1.7	7.9	125.0	6.4
r0 f5	17.7	30.8	17.5	1.3	9.1	4.9	1.7	8.1	120.5	6.6
r0 f6	16.3	28.5	23.8	1.5	8.6	5.1	1.6	7.9	110.5	7.2
r0 f7	15.0	40.8	11.3	0.7	8.4	5.1	1.6	8.0	121.8	6.6
r1 f1	22.0	25.5	8.8	0.6	9.0	5.9	1.5	8.3	112.3	5.9
r1 f2	17.0	23.8	9.8	0.8	8.8	5.5	1.4	8.5	108.5	6.1
r1 f3	18.9	23.8	12.4	0.9	9.4	5.6	1.5	8.4	110.3	6.4
r1 f4	17.2	24.5	15.0	1.1	8.9	5.4	1.6	8.0	106.8	6.7
r1 f5	25.0	29.5	18.0	1.3	9.3	5.5	1.6	8.2	118.3	7.3
r1 f6	21.5	24.5	20.0	1.4	8.9	5.2	1.5	8.1	105.0	6.6
r1 f7	22.3	43.3	9.1	0.8	8.9	5.6	1.5	8.2	117.0	6.5

CONCLUSIONES

- ✓ El máximo rendimiento de papa se obtuvo con riego y 125 m³ ha⁻¹ de vinaza (56.96 t ha⁻¹) y el menor rendimiento (21.70 t ha⁻¹) sin riego y sin vinaza.
- ✓ La vinaza incrementó el rendimiento promedio de papa de 33.48 t ha⁻¹ sin vinaza, a 44.23 t ha⁻¹ con 125 m³ ha⁻¹ de vinaza, superando a la fertilización química que rindió 37.41 t ha⁻¹.
- ✓ El riego por goteo influyó significativamente en el rendimiento del cultivo, con riego el rendimiento promedio fue de 47.50 t ha⁻¹ y sin riego el rendimiento promedio fue de 26.97 t ha⁻¹.
- ✓ Las dosis crecientes de vinaza incrementaron significativamente la altura de plantas, el rendimiento de papa y la biomasa microbiana.
- ✓ La biomasa microbiana del suelo se incremento con los niveles de vinaza y los muestreos. El mayor incremento de biomasa se obtuvo con 125 m³ ha⁻¹ comparada con el resto de dosis de vinaza.
- ✓ El fertilizante químico incremento la actividad biológica del suelo durante el ciclo del cultivo.
- ✓ En cuanto al efecto en la calidad sanitaria de la papa, el mayor porcentaje de daños físicos y sanitarios en los tratamientos se presentó con riego y a los niveles más bajos de vinaza (25 m³ ha⁻¹ y 50 m³ ha⁻¹) y el menor porcentaje de daño físico y sanitario se obtuvo con los tratamientos sin riego, a niveles altos de vinaza 100 y 125 m³ ha⁻¹ y con los tratamientos con fertilización química.
- ✓ La humedad gravimétrica y densidad aparente no presentan cambios significativos por los niveles de vinaza y el riego.
- ✓ La residualidad de la aplicación de vinaza se vio reflejada fundamentalmente en el K y S y en menor grado en el P; mientras la residualidad de la aplicación de P inorgánico fue marcada.

RECOMENDACIONES

- ✓ Recomendar el uso de vinaza como abono orgánico líquido en el cultivo de papa.
- ✓ Realizar ensayos aplicando vinaza a suelos con bajo porcentaje de materia orgánica para determinar el efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- ✓ Instruir y capacitar a los agricultores sobre la importancia, el uso y el manejo de la vinaza utilizada. como abono orgánico líquido en el suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Amadeo, C. 2010. Fertilización fosfatada. Consultado Septiembre 2010, disponible en www.elsitioagricola.com.
- Burt. K., T. O'Connor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo. California.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2009. Estudios e Investigaciones Meteorológicas, Estadística Climatología, Estación La Tola. Tumbaco-Ecuador.
- Cañadas. L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Auspicio especial Banco Central del Ecuador. Quito-Ecuador. Pp. 171-173; 148-149.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 1996. Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa. Lima – Perú. P. 60 -61.
- Comina. P. 2007. Evaluación de dos métodos de riego y dos niveles de fertilización química en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) para la producción de tubérculo-semilla mediante brotes. Tesis. Ing. Agr. Latacunga. EC. Universidad Técnica de Cotopaxi. p. 1-3-7-12.
- FAO (Organización Para la Agricultura Y Alimentación). 2000. Manual de Prácticas Integradas de Manejo y conservación de suelos. Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Boletín de tierras y aguas de la FAO N° 8.
- Gómez. T. 1996. Efecto de la aplicación de vinaza en la producción de la caña de azúcar. Caña de azúcar. P. 14: 15-34.
- Huanca A.W. 2009. Riego por goteo y fertirrigación. Consultado 29 Octubre 2009, disponible: <http://www.monografias.com/trabajos58/riego-goteo-fertirrigacion/riego-goteo-fertirrigacion.shtml>.
- INFOTEC (Información científica y tecnológica del sector agropecuario en las Américas). 2005. Suelo, importancia, textura, densidad aparente. Consultado Septiembre 2010, disponible en inforganic.com
- Jaramillo, R. 2010. Efecto de la vinaza en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un Andisol. Estación Experimental Santa Catalina (EESC). Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Cantón Mejía. Parroquia Cutuglagua - Ecuador. Tesis Ing. Agroindustrial. Consultado Abril 2010. disponible en: bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1688.
- Mejía, L. 1986. Mapa General de Suelos del Ecuador. IGM (Instituto Geográfico Militar) PRONAREC.

- Muñoz, A. 2010. Cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Consultado Junio 2010, disponible en Agrytec.com
- Padilla, W. 2007. Fertilización de Suelos y Nutrición Vegetal. Quito-Ecuador.
- Perugachi, L. 2005. Respuesta de dos genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) para la industria de hojuelas a la fertilización orgánica y química, bajo riego por goteo. Quito – Ecuador. Tesis Ing. Agr. UCE – FCA (CADET)
- Portland State University. 2010. La "densidad aparente" del suelo. Estados Unidos. Consultado Septiembre 2010, disponible en ecoplexity.org/node/596
- Prieto, F. 2001. La vinaza de contaminante a fertilizante. Palmira, Colombia. Consultado Octubre 2009, disponible en fprieto@mafalda.univalle.edu.co.
- 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 físicoquímicos y biológicos producidos en el suelo. Tumbaco - Pichincha. Tesis Ing. Agr. U.C.E – F.C.A.
- Suquilanda, M. 2008. Principios que sustentan a la agricultura orgánica ecológica o biológica. Quito. ECUADOR. Curso de Agricultura Alternativa. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas.
- 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.
- Valverde, F., Y. Cartajena 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.
- Valverde, F., J. Córdova y R. Parra. 1999. Fertilización del cultivo de papa. INIAP (Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). PNRT-papa (Programa Nacional de Raíces y tubérculos rubro papa). DMSA (Departamento de Manejo de Suelos y Agua). Quito. Ecuador. p. 9 –13.
- Varas, E. 2010. Efecto del Riego en la producción y calidad de la papa (*Solanum tuberosum* L.). INIA CRI RAIHUEN. Consultado Mayo 2010, disponible en www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/varas.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 p.
- Wipo. 2007. Procedimiento para la obtención de vinazas. Consultado Enero 2010, disponible en <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp>