

EFFECTO DE LA APLICACION DE ABONOS ORGANICOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD INIAP-FRIPAPA, EN COTOPAXI Y TUNGURAHUA

Franklin Valverde¹, Cristhian Torres², Jorge Rivadeneira³, Rafael Parra¹,
Yamil Cartagena¹, Soraya Alvarado¹

¹ Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: frankiniap@yahoo.es

² Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente.

³ Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Programa Nacional de Raíces y Tubérculos

INTRODUCCION

En Ecuador, 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 más fácil manejo. Sin embargo, el uso continuo y exclusivo de fertilizantes químicos es más nocivo que beneficioso, lo que contribuye a la degradación del suelo; debido al desequilibrio biológico y el consecuente deterioro de las características físico-químicas del mismo (INIAP, 2007 y Suquilanda, 2008).

La papa, extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, por lo que es necesario conocer la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y la cantidad que es necesario adicionar a fin de obtener altos rendimientos. En los últimos años la productividad de los suelos ha disminuido a causa del uso intensivo, erosión, influencia climática y mal uso de los fertilizantes químicos (Merchán, *et al.* 2008).

Las recomendaciones para el uso y aplicación de abonos orgánicos, están basadas en experiencias de otros países, en cuyo sistema de producción los resultados han sido sobresalientes, mientras que en las condiciones de manejo del productor ecuatoriano no se han logrado resultados iguales, quizá por las condiciones medio ambientales y socioeconómicas diferentes de una realidad y otra; también por la calidad del producto final que se esta obteniendo con el uso de metodologías inadecuadas en el proceso de elaboración de los abonos orgánicos (Benzing, 2001).

El contenido de materia orgánica es determinante en la fertilidad del suelo, el que depende de las prácticas de manejo del suelo, las condiciones climáticas, así como de las características inherentes del mismo como mineralogía y distribución del tamaño de las partículas. Se esperan contenidos más elevados de materia orgánica en suelos dominados por partículas más finas y ricos en materiales amorfos; lo cual se atribuye a procesos de estabilización química (complejación) y física (agregación). Debido a esto, la magnitud de respuesta a la aplicación de abonos orgánicos es específica para cada tipo de suelo (Alvarado, 2008).

La utilización de abonos orgánicos incrementa la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, esta disponibilidad es lenta, baja y variable con respecto a los fertilizantes químicos. Además de la disponibilidad directa de nutrientes, luego de la aplicación de abonos orgánicos se espera un aumento de la productividad del suelo a través del incremento de la capacidad de intercambio catiónico, la formación y estabilización de agregados, el aumento en la capacidad de retención de agua, una mejor regulación de temperatura, el incremento de la población de macro y microorganismos y la protección de la erosión (Henríquez, *et al.* 2008). Desde este enfoque, el uso de abonos orgánicos junto con otras prácticas de manejo, garantizan mejorar la calidad del suelo y la productividad de los cultivos.

Los objetivos de la presente investigación fueron: determinar el efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre el comportamiento agronómico y la productividad de papa (*Solanum tuberosum* L.);

así como sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; y realizar el análisis económico de los tratamientos utilizando el presupuesto parcial.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en dos localidades: 1) provincia Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Toacazo, localidad Samana, Longitud 78°42'26.7"O, Latitud 00°45'20.3"S, a 3400 m de altitud, precipitación anual 580 mm, temperatura media anual 10°C, humedad relativa 64%, en un suelo clasificado como Eutrandepts (Mejía, 1986) con contenido inicial alto en N, P, Ca, Cu y Fe; medio en Mg y bajo para S, K, Zn, Mn, B y materia orgánica (MO); y 2) provincia Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Cunchibamba, localidad San Jorge, Longitud 78° 35'17.5"O, Latitud 01°08'11.5"S, a 2674 m de altitud, precipitación anual 530 mm, temperatura media anual 14°C, humedad relativa 60%, en un suelo clasificado como Durustolls (Mejía, 1986) con contenido inicial alto en K, Ca y Mg; medio en N, P, Cu, Fe, Mn y B; bajo en S, Zn y materia orgánica.

La clasificación bioclimática de la localidad Samana pertenece a páramos bajos y muy húmedos con una clasificación ecológica de bosque muy húmedo Montano (b.m.h.M.). En tanto que, la localidad de San Jorge es clasificado bioclimáticamente como llanuras y barrancos secos del callejón interandino con una clasificación ecológica de bosque seco Montano Bajo (b.s.M.B.) (Cañadas, 1983).

Se evaluó ocho tratamientos (**Tabla 1**), provenientes de la combinación de dos fuentes y tres niveles de abono orgánico, más dos testigos (químico y absoluto).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el estudio de abonos orgánicos.

No. Tratamiento	Fuentes	Niveles t/ha
T1	Compost	5
T2	Compost	10
T3	Compost	15
T4	Gallinaza	5
T5	Gallinaza	10
T6	Gallinaza	15
T7	Fertilización química*	Testigo químico
T8	Sin fertilización	Testigo absoluto

* 150-200-100-30-15 kg/ha de N- P₂O₅-K₂O-S-Mg, respectivamente

Las fuentes de fertilizante para el testigo químico (T7) fueron: Urea, Fosfato diamónico, Superfosfato triple, Sulpomag y Muriato de potasio.

En la **Tabla 2**, se presentan las características químicas de las dos fuentes de abonos orgánicos, las cuales tienen ligeras variaciones en el pH, CE, %MO, Relación C/N, macro y micronutrientes; la humedad se ajustó en las dos fuentes a 34%.

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, bajo un arreglo factorial (2x3+2) para un total de ocho tratamientos y 4 repeticiones; en las dos localidades en estudio el material biológico utilizado fue la Variedad INIAP-Fripapa, categoría certificada, con una distancia de siembra a 1.10 m entre surcos y 0.30 m entre plantas; el número de surcos por parcela fue 12, área de la parcela total 67.32 m² (13.2 m x 5.10 m) y el área de la parcela neta 29.7m² (9.9 m x 3 m).

Los datos generados en las dos localidades fueron analizados utilizando el análisis de varianza para cada variable en estudio, con las pruebas de significación, Tukey al 5% para tratamientos e interacción (F x N), DMS al 5% para fuentes y contrastes ortogonales con tratamientos adicionales.

Tabla 2. Características químicas de los abonos orgánicos utilizados en el estudio

Muestra	pH	Relación C/N	CE dS/m	N total	P	K	Ca	Mg	S
							%		
Compost	8	11.8	10.66	1.64	1.47	2.86	12.5	1.02	0.39
Gallinaza	8.7	14.7	6.76	1.86	1.92	2.5	17.3	0.98	0.47

	MO %	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Humedad %
				ppm			
Compost	36.7	314.8	59	4802	480	41	34
Gallinaza	51.6	408.9	64.7	2493	572	37	34

RESULTADOS Y DISCUSION

Altura de plantas

El análisis de la varianza (**Tabla 3**), detecto diferencias altamente significativas en las dos localidades para los tratamientos, niveles y contrastes ortogonales con tratamientos adicionales.

Tabla 3. Análisis de varianza para altura de plantas en dos localidades.

Fuentes de Variación	G. de L.	Cuadrados Medios	
		L1 (Samana)	L2 (San Jorge)
Total	31		
Tratamientos	7	814.73 **	113.50 **
Fuentes (F)	1	0.22 ns	0.50 ns
Niveles (N)	2	690.57 **	64.28 **
F x N	2	37.28 ns	3.22 ns
T. Absoluto vs Fert. Orgánica - Química	1	3966.75 **	570.63 **
Fert. Química vs Fert. Orgánica	1	280.45 **	88.36 **
Repeticiones	3	30.44 ns	4.77 ns
Error experimental	21	16.25	4.52
Coeficiente de Variación (%)		6.81	3.15

** = Significativo al 1%

ns = No significativo

La prueba de Tukey al 5% (**Tabla 4**) para promedios de altura de plantas en las dos localidades mostró una respuesta consistente, los valores promedios más altos se registraron en los tratamientos con 15 t/ha de gallinaza (T6), Fertilización química (T7) y 15 t/ha de compost (T3), 10 t/ha de gallinaza (T5) y 10 t/ha de compost (T2), ubicándose en el primer rango (a). El promedio menor en las dos localidades, se registró en el tratamiento T8 (testigo absoluto) con 29.75 cm en Samana y 56.27 cm en San Jorge.

Tabla 4. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta en dos localidades.

Altura de planta					
L1 (Samana)			L2 (San Jorge)		
Tratamientos	Promedio		Tratamientos	Promedio	
T6 : A2B3	72.02	a*	T7	73.39	a
T7 : T.Q	71.17	a	T6	71.12	a
T3 : A1B3	69.32	a	T3	70.44	abc
T5 : A2B2	64.41	a	T2	69.50	abc
T2 : A1B2	62.52	ab	T5	68.38	abc
T1 : A1B1	54.81	bc	T4	65.88	bc
T4 : A2B1	49.66	c	T1	64.56	c
T8 : T.A	29.75	d	T8	56.27	d
Promedio General : 59.21 cm			Promedio General : 67.44 cm		
Efecto principal Localidades: L2-L1 = 8.23 cm					

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

En esta investigación es evidente que la fertilización química y orgánica fue superior al testigo absoluto con un incremento de 33.67 cm en Samana y 12.77 cm en San Jorge (**Tabla 5**). La diferente respuesta en las dos localidades se atribuye a las condiciones propias de suelo y clima de los sitios en estudio.

Tabla 5. Prueba de DMS al 5% para altura de planta, utilizando las comparaciones en dos localidades.

Comparaciones	Altura de plantas (cm)	
	L1 (Samana)	L2 (San Jorge)
F. Química - Orgánica	63.42 a*	69.04 a
Testigo Absoluto	29.75 b	56.27 b
Fertilización Química	71.17 a	73.39 a
Fertilización Orgánica	62.12 b	68.31 b

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

Al comparar la fertilización química vs la orgánica, los fertilizantes químicos son más fácilmente asimilados por las plantas bajo condiciones normales; en cambio el proceso de mineralización de la materia orgánica, es más lento. Cada abono orgánico tiene una tasa de mineralización específica, para materiales frescos como la gallinaza, fluctúa entre varias semanas; mientras el compost en varios meses (Henríquez, *et al.* 2008).

En la **Figura 1**, se observa que las dos localidades presentan respuestas de tipo lineal positiva; es decir, a mayor cantidad de abono orgánico, mayor crecimiento de las plantas. Siendo esta respuesta más evidente en Samana. Los cambios más importantes en magnitud de altura de planta se dieron de 0 a 5 y de 5 a 10 t/ha en las dos localidades.

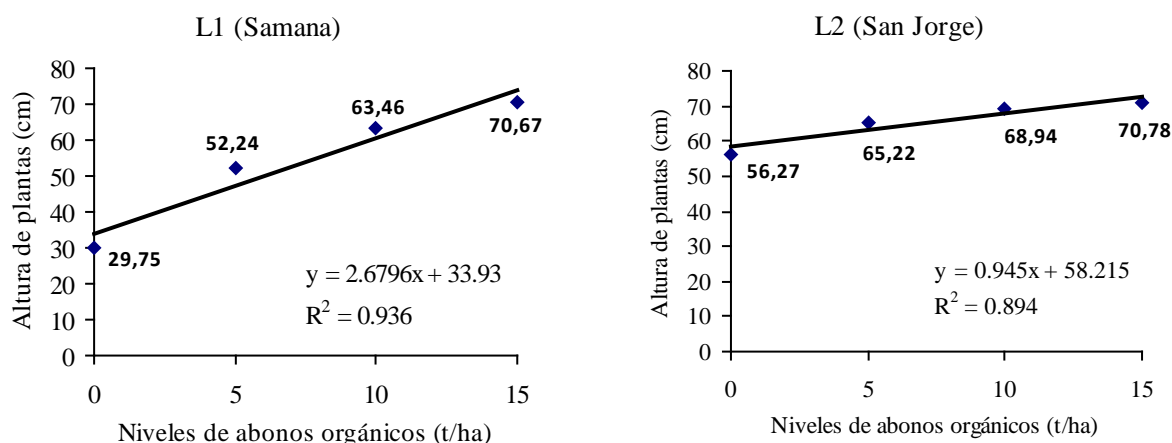


Figura 1. Efecto de niveles de abonos orgánicos en la altura de plantas de papa en dos localidades.

Días a la senescencia

La fertilización química en comparación con el testigo absoluto, redujo el ciclo del cultivo de papa hasta la senescencia en 21 y 22 días en Samana y San Jorge, respectivamente. El nivel alto de abono orgánico (15 t/ha) también redujo el ciclo del cultivo hasta la senescencia de las plantas de papa entre 17 y 21 días.

Rendimiento total

El análisis de varianza para rendimiento total de papa (Tabla 6) presenta diferencias altamente significativas en las dos localidades para tratamientos, niveles y los contrastes ortogonales con tratamientos adicionales. En San Jorge no se detectó diferencias significativas para fuentes e interacción (F x N). En Samana la interacción (F x N) fue significativa al 5%.

Tabla 6. Análisis de varianza para rendimiento total de papa en dos localidades.

Fuentes de Variación	G. de L.	Cuadrados Medios	
		L1 (Samana)	L2 (San Jorge)
Total	31		
Tratamientos	7	272.81 **	91.33 **
Fuentes (F)	1	42.35 **	0.69 ns
Niveles (N)	2	282.32 **	80.83 **
F x N	2	19.45 *	0.18 ns
T. Absoluto vs Fert. Orgánica - Química	1	965.66 **	202.46 **
Fert. Químico vs Fert. Orgánica	1	298.08 **	274.13 **
Repeticiones	3	8.25 ns	12.61 **
Error Experimental	21	3.49	1.74
Coeficiente de Variación (%)		9.03	7.71

** = Significativo al 1%
 * = Significativo al 5%
 ns = No significativo

La prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios de rendimiento total en las dos localidades mostró que los valores más altos están asociados con los tratamientos T7, T6 y T3. El promedio menor en las dos localidades se observó en el T8 (testigo absoluto) con 6.17 t/ha en Samana y 10.48 t/ha en San Jorge (**Tabla 7**).

Tabla 7. Rendimiento total y Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en dos localidades.

Rendimiento Total (t/ha)					
L1 (Samana)			L2 (San Jorge)		
Tratamientos	Promedio		Tratamientos	Promedio	
T7 : T.Q	30.77	a*	T7	25.75	a
T6 : A2B3	29.62	a	T6	20.52	b
T3 : A1B3	24.39	b	T3	19.99	b
T5 : A2B2	23.93	b	T2	16.19	c
T2 : A1B2	20.39	b	T5	16.18	c
T1 : A1B1	15.59	c	T4	14.24	c
T4 : A2B1	14.78	c	T1	13.74	c
T8 : T.A	6.17	d	T8	10.48	d
Promedio General : 20.71 t/ha			Promedio General : 17.14 t/ha		
Efecto principal Localidades: L1-L2 = 3.57 t/ha					

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

La fertilización química reportó el mayor rendimiento con 30.77 t/ha en Samana y 25.75 t/ha en San Jorge (**Tabla 7**). Estos resultados señalan que la fertilización química proporciona nutrientes más rápidamente asimilables para el cultivo de papa favoreciendo el rendimiento total, también se puede mencionar que el rendimiento esta dado por el potencial genético de cada variedad y el grado de adaptación a la zona (Gadvay, 2000).

Las mejores condiciones bioclimáticas en Samana, proporcionó un mejor rendimiento total con 3.57 t/ha de diferencia respecto a San Jorge (**Tabla 7**). Para entender como funciona la productividad del suelo se debe reconocer las relaciones existentes entre el suelo, planta y clima. Ciertos factores externos como aire, temperatura, luz, nutrientes y agua controlan el crecimiento de la planta (Inpofos, 2006).

La gallinaza tiene un incremento en rendimiento de 2.66 t/ha comparada con el compost (**Figura 2**), a pesar de tener una relación C/N más alta que este último. Las condiciones bioclimáticas favorables en Samana ayudaron a mineralizar la gallinaza. Estos resultados confirman que los residuos orgánicos frescos son mineralizados con retorno de nutrientes al estado de moléculas inorgánicas utilizables rápidamente por las plantas; sin embargo, se espera también que exista acumulación de humus en el suelo pues en todos los niveles de descomposición de cualquier material orgánico quedan residuos resistentes (Anderson y Flanagan, 1989).



Figura 2. Rendimiento de papa y Prueba de DMS al 5% para fuentes de abonos orgánicos, en la localidad de Samana.

En esta investigación se observó que el rendimiento con la fertilización química y orgánica fue superior al del testigo absoluto con un incremento de 16.61 t/ha en Samana y de 7.61 t/ha en San Jorge (**Tabla 8**), lo que indica claramente la necesidad del suministro de nutrientes al suelo para aumentar la producción del cultivo. Adicionalmente, la fertilización química fue superior al abono orgánico con un incremento de 9.32 t/ha en Samana y 8.74 t/ha en San Jorge. Estos resultados confirman que los fertilizantes químicos son más rápidamente asimilados por las plantas comparados con los abonos orgánicos. Estos últimos requieren ser mineralizados para liberar los nutrientes, pues aproximadamente un 75% de un abono orgánico es materia orgánica. La velocidad de descomposición de la materia orgánica varía en función del tiempo y las condiciones ambientales, se estima que se alcanza una mineralización del 50% durante el primer año para posteriormente disminuir y favorecer el proceso de humificación (González, 2003).

Tabla 8. Prueba de DMS al 5% para rendimiento total de papa utilizando las comparaciones en dos localidades.

Comparaciones	Rendimiento total (t/ha)	
	L1 (Samana)	L2 (San Jorge)
F. Química y Orgánica	22.78 a*	18.09 a
Testigo Absoluto	6.17 b	10.48 b
Fertilización Química	30.77 a	25.75 a
Fertilización Orgánica	21.45 b	16.81 b

* Promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes al 5%

En las dos localidades en estudio, se exhibieron respuestas de rendimiento total de tipo lineal positiva altamente significativa (**Figura 3**); es decir, a mayor cantidad de materia orgánica; mayor rendimiento total, siendo mejor esta respuesta en Samana. En la interacción fuentes x niveles en dicha localidad (**Figura 4**), el valor promedio más alto (29.6 t/ha) se registró con 15 t/ha de Gallinaza. Sin embargo; con 5 t/ha de compost ó gallinaza los rendimientos totales fueron muy similares. Por tanto, se puede inferir que no se debe considerar la fuente de abono orgánico cuando este sea utilizado hasta 5 t/ha, pero en dosis más elevadas la mejor fuente es la gallinaza.

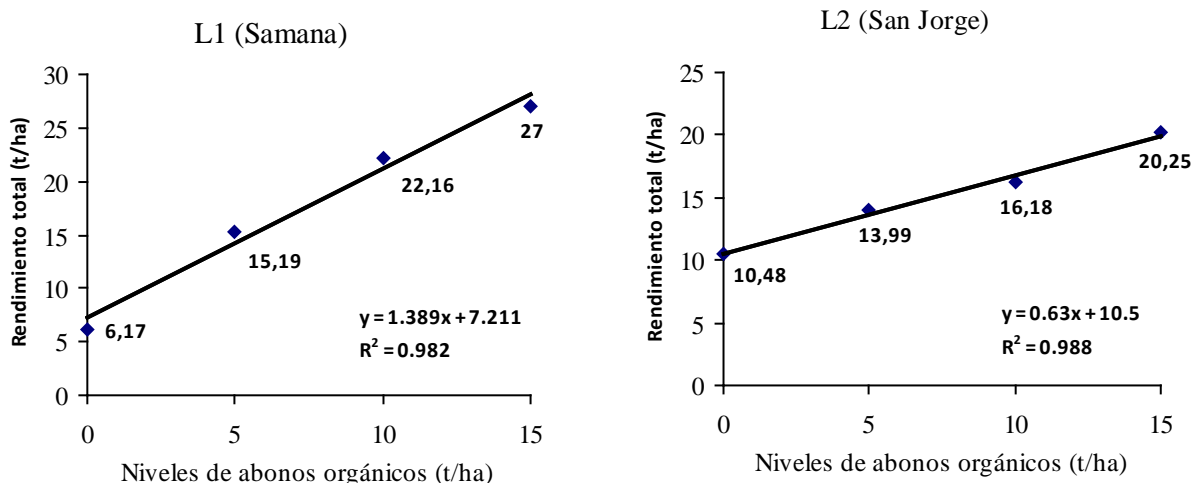


Figura 3. Efecto de niveles de abonos orgánicos, en el rendimiento de papa en dos localidades.

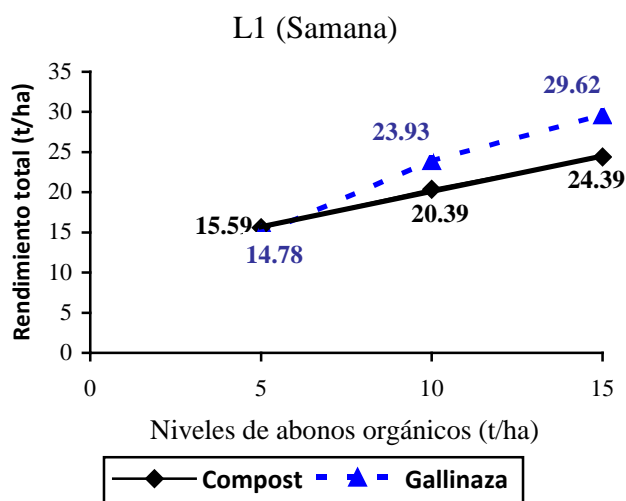


Figura 4. Efecto de la interacción dosis x fuentes de abono orgánico sobre el rendimiento total de papa en Samana.

Porcentaje de hojuelas

En las dos localidades, el mayor porcentaje de hojuelas buenas se obtuvo con el compost, el cual supero con el 90% al tratamiento con gallinaza (Figura 5). En Samana, el porcentaje de hojuelas buenas con gallinaza fue de 85.6%; esto indica que la gallinaza junto con factores climáticos redujo el porcentaje de hojuelas buenas frente al compost, los parámetros para fritura son superiores al 90%. En San Jorge, las dos fuentes de abonos orgánicos mostraron resultados mayores al 90%.

En la Figura 6, se puede apreciar que las dos localidades presentaron respuestas de tipo lineal negativa; es decir a mayor cantidad de abono orgánico, menor porcentaje de hojuelas buenas. La diferencia en el porcentaje de hojuelas buenas entre San Jorge y Samana fue de 4.45% y estaría asociado con las temperaturas bajas presentes en esta localidad. Según Smith (2003), el factor medio ambiente es el de mayor importancia. Las condiciones de temperatura deben ser favorables para el crecimiento y tuberización, pero también deben ser favorables para que no se incremente el contenido de azúcares reductores. La temperatura atmosférica, debe fluctuar entre 10 y 20 °C, pero la temperatura del suelo no debe bajar de 8°C.

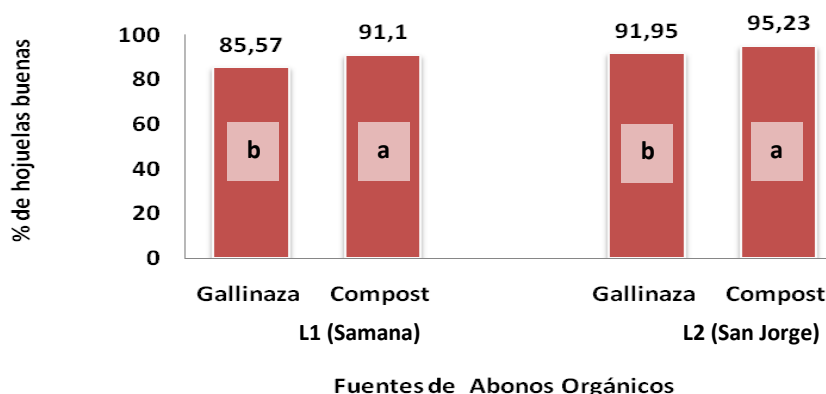


Figura 5. Prueba de DMS al 5% para fuentes de abonos orgánicos en dos localidades.

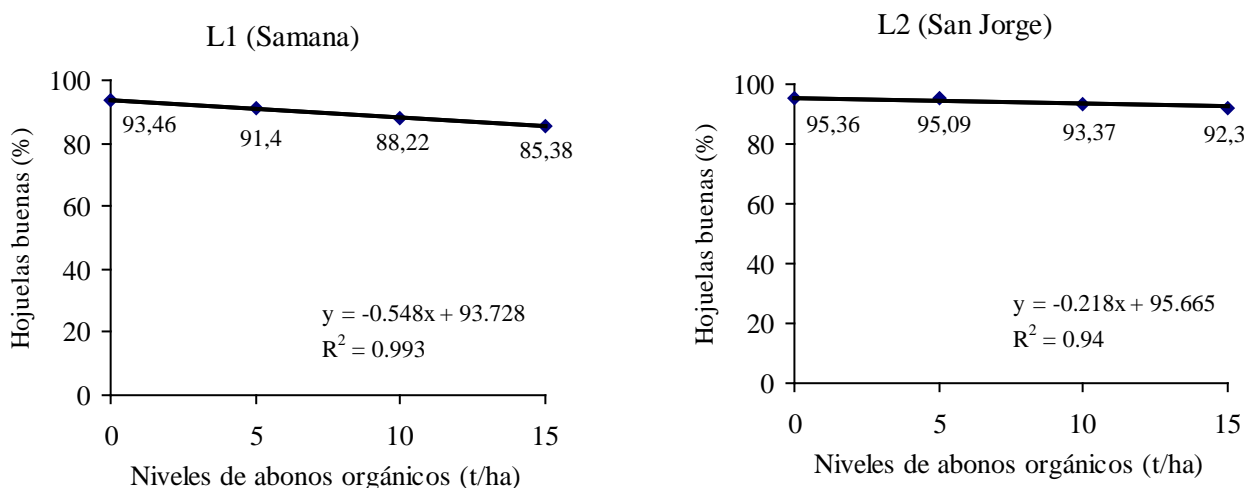


Figura 6. Efecto de los niveles de abonos orgánicos en el porcentaje de hojuelas buenas, variedad INIAP-Fripapa, en dos localidades.

Densidad aparente

Los promedios de densidad aparente en las dos localidades a dos profundidades (0- a 10- y 10- a 20- cm) no presentaron diferencias estadísticas significativas, pero se observó una tendencia a disminuir la densidad aparente con los niveles de abonos orgánicos. Henríquez (1999) menciona que la materia orgánica disminuye la densidad aparente del suelo debido a que sus componentes son menos densos que los componentes minerales. Como era de esperarse, el contenido de materia orgánica disminuyó al incrementar la profundidad del suelo, coincidiendo la tendencia en las dos localidades.

Biomasa microbiana del suelo

La biomasa microbiana del suelo a la floración y cosecha en las dos localidades presentó diferencias estadísticas significativas para tratamientos y comparaciones entre las fuentes de abonos orgánicos y el fertilizante químico (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza para biomasa microbiana del suelo, en dos localidades. 2009.

F. de V.	G. de L.	Cuadrados Medios			
		Biomasa Microbiana del Suelo C-CO ₂ /gSS			
		L1 (Samana)		L2 (San Jorge)	
		Floración	Cosecha	Floración	Cosecha
Total	31				
Tratamientos	7	0.08*	0.19**	0.20*	0.28**
Fuentes (F)	1	0.01 ns	0.00 ns	0.08 ns	0.01 ns
Niveles (N)	2	0.06 ns	0.19*	0.01 ns	0.05 ns
F x N	2	0.04 ns	0.03 ns	0.06 ns	0.12 ns
TA vs FQ-FO	1	0.03 ns	0.19*	0.04**	0.78**
F Q vs F O	1	0.32**	0.68**	0.03**	0.87**
Rep.	3	0.05 ns	0.08 ns	0.32 ns	0.03 ns
Error Exp	21	0.03	0.03	0.05	0.04
CV = (%)		9.98	8.74	9.98	10.9

** = Significativo al 1%

* = Significativo al 5%

ns = No significativo

La prueba de Tukey al 5% para los promedios de biomasa microbiana del suelo a la floración y cosecha indicó que los valores más altos se obtuvieron con los tratamientos T6 y T3 en la localidad de Samana y con los tratamientos T5 y T1 en San Jorge. Los menores promedios se registraron con los tratamientos de fertilización química y testigo absoluto. Estos resultados demostraron que la aplicación de abonos orgánicos incrementa la actividad microbiana del suelo (**Tabla 10**). La biomasa microbiana del suelo a la floración y cosecha, mostró ligeras diferencias en los promedios entre Samana y San Jorge lo que se podría explicar por la variación de condiciones bioclimáticas entre las localidades

Tabla 10. Prueba de tukey al 5% para tratamientos y promedios de biomasa microbiana del suelo en dos localidades.

Biomasa Microbiana del Suelo C-CO ₂ /gSS					
L1 (Samana)			L2 (San Jorge)		
Tratamiento	Floración	Cosecha	Tratamiento	Floración	Cosecha
T6	1.95 a	T6 2.19 a*	T1	1.89	T5 2.11 a
T3	1.76 ab	T3 2.10 ab	T5	1.88	T6 2.08 a
T2	1.74 ab	T2 2.01 abc	T6	1.83	T1 2.00 a
T4	1.74 ab	T5 1.89 abcd	T3	1.78	T3 1.99 a
T1	1.71 ab	T4 1.89 abcd	T2	1.67	T2 1.85 ab
T5	1.65 ab	T1 1.79 bcd	T4	1.53	T4 1.78 ab
T8	1.63 ab	T8 1.69 cd	T7	1.37	T7 1.47 b
T7	1.45 b	T7 1.54 d	T8	1.34	T8 1.42 b

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

Comparando la fertilización química y los abonos orgánicos versus el testigo absoluto, existe un incremento en la biomasa microbiana del suelo a la cosecha en Samana de 0.23 g C-CO₂/g SS. En el caso de San Jorge, aumentó la biomasa a la floración y a la cosecha con 0.34, 0.48 g C-CO₂/g SS; respectivamente (**Tabla 11**). Estos resultados demuestran el efecto positivo de la fertilización química y orgánica sobre la biomasa microbiana del suelo, esta última es un componente importante de la MO pues regula tanto la transformación como la preservación de nutrientes. Adicionalmente, es un

componente lábil del suelo cuya fracción contiene del 1 al 3% del total de carbono (C) y un máximo de 5% del total de N (Schulten and Schnitzer, 2003).

Tabla 11. Prueba de DMS al 5% y promedios para biomasa microbiana del suelo utilizando las comparaciones en dos localidades.

Comparaciones	Biomasa microbiana del suelo C-CO ₂ /g SS			
	L1 (Samana)		L2 (San Jorge)	
	Floración	Cosecha	Floración	Cosecha
Comparación (C1)				
- F. Química y Orgánica	1.71	1.92 a*	1.71 a	1.90 a
- Testigo Absoluto	1.63	1.69 b	1.34 b	1.42 b
Comparación (C2)				
- Fertilización Orgánica	1.76 a	1.98 a	1.76 a	1.97 a
- Fertilización Química	1.45 b	1.54 b	1.37 b	1.47 b

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

En la floración y cosecha al comparar el abono orgánico frente a la fertilización química existe incrementos en las dos localidades de 0.31, 0.44 en Samana y 0.39, 0.50 en San Jorge; respectivamente. Estos resultados indican que la calidad del suelo aumenta luego de la aplicación de abonos orgánicos, puesto que la presencia de mayor actividad biológica en un suelo implica: a) Mayor descomposición de la MO vegetal y animal con liberación de nutrientes; b) Mejor estructura del suelo por cementación de partículas; c) Mayor reserva de nutrientes; d) Aumento de la retención hídrica; e) Aumento de la absorción solar; f) Aumento de la capacidad de cambio catiónico; g) Mejor control del balance hídrico y de los mecanismos de erosión; h) Aumento en la tasa de humificación; i) Mayor solubilización de nutrientes a partir de formas insolubles; j) Fijación de N atmosférico; k) Mejor nutrición radicular por condiciones favorables para el crecimiento de micorrizas; y l) Control del crecimiento de organismos patógenos (Felbeck, 2003; Schlesinger and Khan, 2003).

Extracción total de nutrientes

El análisis de varianza para extracción de macro y micronutrientes por el cultivo de papa determinó diferencias altamente significativas para tratamientos en las dos localidades. La prueba de tukey al 5% para los promedios de extracción total de nutrientes en las dos localidades con macro y micronutrientes muestra que los valores más altos se registraron con la fertilización química y 15 t/ha de gallinaza. El menor promedio en las dos localidades se registró con el testigo absoluto (**Tablas 12 y 13**).

Estos resultados son consistentes con lo observado con el rendimiento (**Tabla 7**) indicando que la fertilización química óptima produce un incremento en el rendimiento y por tanto un aumento proporcional en la extracción de todos los nutrientes por parte de la planta de papa (parte aérea y tubérculos), lo que a mediano y largo plazo lleva a la pérdida de la fertilidad de los suelos. El uso de abonos orgánicos tiene la ventaja de reponer una parte de los macro y micro nutrientes que son extraídos por las cosechas, en algunos casos dependiendo de la cantidad y contenido de nutrientes de las fuentes de abonos orgánicos y los requerimientos de las plantas, el aporte de nutrientes puede superar a la extracción por los cultivos.

Al analizar el efecto principal entre localidades, se verificó una mayor extracción de macronutrientes en San Jorge y las diferencias con Samana fueron de 85, 10, 208, 3, 37 y 8 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg y S; respectivamente (**Tabla 12**). La extracción de micronutrientes es menor a 1 kg/ha para Zn, Cu, Mn y B; mientras la extracción de Fe llega a 5 kg/ha (**Tabla 13**). Estas diferencias en los resultados de extracción se atribuyen a las condiciones bioclimáticas y el origen de los suelos

(Mollisol y Andisol), los que se diferencian en la fisiografía, mineralogía, características físicas, químicas y biológicas del suelo.

En las dos localidades, los niveles de abono orgánico presentaron respuestas de tipo lineal positiva; es decir, a mayor cantidad de abono orgánico, mayor extracción de nutrientes por parte de la planta. La liberación de nutrientes al suelo a partir de los abonos orgánicos está en función de la fragmentación, mineralización y humificación (Soto, 2004).

Tabla 12. Prueba de tukey al 5% para tratamientos en la extracción total de macronutrientes, variedad INIAP-Fripapa en dos localidades.

Extracción total de macronutrientes kg/ha						
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	
L1 (Samana)						
T7 168 a*	T7 59 a	T6 274 a	T7 169 a	T7 75 a	T7 23 a	
T6 116 b	T6 53 ab	T3 248 ab	T6 104 b	T6 37 b	T6 21 ab	
T3 98 bc	T5 44 bc	T7 247 ab	T5 103 b	T5 33 b	T3 17 ab	
T5 92 bcd	T3 44 bc	T5 224 ab	T3 83 bc	T3 32 b	T5 17 bc	
T2 87 bcd	T2 36 cd	T2 193 bc	T2 71 bc	T2 27 b	T2 16 bc	
T1 65 cde	T1 30 d	T1 146 c	T1 59 bc	T1 21 b	T1 11 cd	
T4 55 de	T4 28 d	T4 132 c	T4 53 bc	T4 18 b	T4 9 de	
T8 36 e	T8 15 e	T8 69 d	T8 41 c	T8 15 b	T8 5 e	
X.. 90	38	191	85	32	15	
L2 (San Jorge)						
T7 244 a	T7 72 a	T7 533 a	T7 116 a	T7 97 a	T7 26	
T3 209 ab	T3 54 b	T6 487 ab	T3 99 ab	T3 77 ab	T3 26	
T6 198 abc	T6 49 bc	T3 450 abc	T6 96 ab	T6 75 ab	T6 26	
T2 185 abc	T2 47 bc	T2 390 abcd	T2 92 ab	T2 69 ab	T5 22	
T5 173 abc	T5 44 bc	T5 384 bcd	T5 84 ab	T5 68 ab	T2 22	
T4 155 bc	T4 43 bc	T4 354 bcd	T4 82 ab	T4 62 b	T4 22	
T1 119 c	T1 37 c	T1 312 cd	T1 67 b	T1 53 b	T1 18	
T8 114 c	T8 36 c	T8 286 d	T8 66 b	T852 b	T8 18	
X.. 175	48	399	88	69	23	

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

X.. Promedio entre tratamientos

Tabla 13. Prueba de tukey al 5% para tratamientos en la extracción total de micronutrientes, variedad INIAP-Fripapa en dos localidades.

Extracción total de micronutrientes g/ha				
Zn	Cu	Fe	Mn	B
L1 (Samana)				
T6 743 a*	T7 490 a	T7 7616 a	T7 866 a	T7 349 a
T7 641 ab	T6 390 ab	T6 7058 ab	T6 590 b	T6 318 a
T 2 612 ab	T3 368 ab	T5 6990 ab	T3 530 b	T5 292 ab
T5 493 abc	T5 347 abc	T3 6953 ab	T5 477 bc	T3 267 abc
T1 453 abc	T2 310 bcd	T2 4607 abc	T2 355 bcd	T2 243 abc
T3 417 abc	T1 193 cde	T4 3472 bc	T1 324 bcd	T1 162 bcd
T4 280 bc	T4 168 de	T8 2568 c	T4 262 cd	T4 149 cd
T8 174 c	T8 110 e	T1 2146 c	T8 143 d	T8 95 d
X.. 477	297	5176	443	234
L2 (San Jorge)				
T6 373	T7 149	T7 6368	T7 1337 a	T7 419
T7 367	T6 139	T6 4979	T6 917 ab	T6 306
T3 337	T3 129	T4 4965	T3 850 b	T2 301
T4 291	T5 125	T2 4313	T5 816 b	T3 300
T5 283	T2 108	T3 3947	T4 799 b	T4 295
T2 269	T4 99	T5 3858	T2 795 b	T5 273
T8 259	T8 94	T1 3363	T8 621 b	T1 266
T1 234	T1 91	T8 3180	T1 608 b	T8 263
X.. 302	117	4372	843	303

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

X.. Promedio entre tratamientos

Análisis económico

La fertilización química, presentó las tasas de retorno marginal (TRM) más altas en las dos localidades (**Tabla 14**), lo que implica que al adicionar la fertilización química se permitió al agricultor recuperar su dólar invertido y recibir adicionalmente \$ 7.36 y \$ 41.66 en Samana y San Jorge; respectivamente.

Para los abonos orgánicos en la localidad de Samana es rentable aplicar hasta 10 t/ha de compost o gallinaza y en la localidad de San Jorge los tratamientos que superan la tasa mínima de retorno (TAMIR), estimada para esta investigación en 100%, son 5 t/ha de compost y gallinaza (**Tabla 14**).

La fertilización química fue más rentable que la fertilización orgánica, debido a las dosis altas requeridas, costos de los abonos orgánicos, mano de obra y tiempo. Por lo tanto, es necesario capacitar al agricultor en la fabricación de abonos que sean de fácil acceso, mediante el reciclaje de los residuos orgánicos producidos en la finca.

Tabla 14. Tasa de Retorno Marginal (TRM) para rendimiento de papa en dos localidades.

L1 Samana		L2 San Jorge	
Tratamientos	TRM (%)	Tratamientos	TRM (%)
T8		T8	
T1	417	T1	120
T2	205	T4	200
T5	492	T3	22
T7	736	T7	4166

CONCLUSIONES

- ✓ La fertilización química alcanzó los rendimientos más altos de papa en las dos localidades con 30.77 t/ha en Samana y 25.75 t/ha en San Jorge. Con 15 t/ha de gallinaza se obtuvo el máximo rendimiento comparado con los demás tratamientos de abonos orgánicos, 29.6 t/ha en Samana y 20.5 en San Jorge.
- ✓ La respuesta del cultivo de papa a niveles de abono orgánico en las dos localidades fue de tipo lineal positiva, siendo más evidente en Samana.
- ✓ En el primer año de evaluación la aplicación de abonos orgánicos, en las dos localidades, mejoró las propiedades químicas y biológicas del suelo. Las propiedades físicas se mantuvieron estables en las dos localidades.
- ✓ Los valores de extracción de macro y micronutrientes en las dos localidades mostraron incrementos significativos por la aplicación de los abonos orgánicos y fertilizante químico, siendo superior con la fertilización química y 15 t/ha de gallinaza, comparados con los demás tratamientos; el testigo absoluto presentó la menor extracción de nutrientes.
- ✓ El porcentaje promedio de hojuelas buenas en San Jorge superó en 4.45% a Samana, influenciado por el clima. Las dosis crecientes de abonos orgánicos disminuyeron el porcentaje de hojuelas en las dos localidades. La fertilización química superó el 90% de hojuelas buenas (parámetro normal >90%).
- ✓ El análisis económico en las dos localidades, determinó que la fertilización química tuvo la mayor rentabilidad; la tasa mínima de retorno (TRM) en Samana fue de 736% y 4166% en San Jorge. Para los abonos orgánicos en Samana es rentable aplicar hasta 10 t/ha y en San Jorge 5 t/ha, con Tasas de Retorno Marginal que superan el 100%.

RECOMENDACIONES

- ✓ Continuar con el trabajo de investigación sobre el efecto de fuentes y niveles de aplicación de abonos orgánicos en la productividad de papa durante el segundo año de aplicación.
- ✓ Recomendar el uso de abonos orgánicos en el cultivo de papa.
- ✓ Capacitar a los agricultores en la fabricación del compost, el cual es de fácil disponibilidad para el agricultor, a través del reciclaje de los residuos producidos en su finca.
- ✓ Validar el uso de abonos orgánicos en suelos con diferentes características físico-químicas y contenido de materia orgánica.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, S. 2008. Dinámica de la materia orgánica en los suelos agrícolas. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. pp.1-8.
- Anderson, J., and P. Flanagan. 1989. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In Coleman D, JM Oades, G Uehara eds. Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. Hawaii. Niftal. p. 97-123.
- Benzing, M. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región Andina. Alemania. Editorial Neckar - Verlag. pp.56-60.
- Cañadas, L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Banco Central del Ecuador. Quito-Ecuador. pp. 171-173; 148-149.
- Felbeck, G.T. 2003. Structural hypothesis of soil humic acids. Soil science. pp. 42-48.

- Gadvay, C. 2000. Evaluación de la producción de tubérculo semilla, de cuatro variedades mejoradas de papa bajo tres niveles de fertilización en tres localidades de la provincia de Chimborazo. pp. 50 - 62.
- González, I. 2003. La Materia Orgánica su Importancia en Suelos Naturales y Cultivados. La materia Orgánica del suelo y sus repercusiones ambientales. pp. 2,3. Loja - Ecuador.
- Henríquez, C., C. Castro, y F. Bertsch. 2008. Capacidad de suplemento de nutrientes de los fertilizantes orgánicos. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Central del Ecuador. pp.1. Quito-Ecuador.
- INPOFOS. 2006. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Ciencia detrás de las recomendaciones de fertilización. Informe anual 2006. pp. 8 - 15.
- INIAP, 2007. Informe anual sobre los trabajos de fertilización. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- Mejía, L. 1986. Mapa General de Suelos del Ecuador. IGM. PRONAREC.
- Merchán, M., M. Pumisacho, y P. Cáceres. 2008. Elaboración de herramientas de aprendizaje para el manejo integrado de suelos en el cultivo de papa bajo el enfoque de gestión de conocimientos. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Central del Ecuador. pp.1. Quito-Ecuador.
- Soto, G. 2004. Liberación de nutrimentos de los abonos orgánicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Disponible en: <http://gabisoto@catie.ac.cr>
- Smith, O. 2003. Effect of cultural and Environmental Conditions Potatoes for processing. Potato Processing. 3rd ed. Avi, Westport, Conn.-US. pp. 69-115.
- Suquilanda, M. 2008. El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Central del Ecuador. pp.1-12. Quito-Ecuador.
- Schulten, R., and M. Schnitzer. 2003. Chemical model structures for soil organic matter and soils. Soil science. pp. 115-130.
- Schlesinger, M., and U. Khan. 2003. Soil organic matter. Elsevier, Amsterdam. pp. 320.