



CRIA
Programa Consorcios
Regionales de
Investigación Agropecuaria



CRIA Occidente

Cadena de Papa

“Efecto de enmiendas con gallinaza a granel sobre fertilidad del suelo y
rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.)”



Plutarco Emanuel Morales González
Osman Estuardo Cifuentes Soto
Hamilton Estuardo Fuentes Fuentes

San Marcos, mayo de 2019

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de ésta publicación es responsabilidad de sus autores y de la institución a la que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan

Lista de siglas y acrónimos

CRIA	Consortio Regional de Investigación Agropecuaria
CUSAM	Centro Universitario de San Marcos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GAG	Gallinaza a granel
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas
IICA	Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	United States Department of Agriculture / Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Índice general

1	Introducción	1
2	Marco teórico	2
2.1	<i>Aspectos botánicos del cultivo de papa</i>	2
2.2	<i>Descripción botánica</i>	2
2.3	<i>Clasificación taxonómica</i>	3
2.4	<i>Descripción de la variedad Loman</i>	3
2.5	<i>Requerimientos de suelos para el cultivo de papa</i>	3
2.6	<i>Requerimientos nutrimentales del cultivo de papa</i>	3
2.7	<i>Enmiendas agrícolas</i>	3
2.8	<i>Definición de gallinaza</i>	4
2.8.1	Gallinaza a granel	4
2.8.2	Composición de la gallinaza	4
2.8.3	Propiedades de la gallinaza	5
2.8.3.1	Efectos en la parte física del suelo	5
2.8.3.2	Efectos en la parte química del suelo	5
2.8.3.3	Efectos en la parte biológica del suelo y medioambiental	5
2.8.4	Fertilidad del suelo y factores que la determinan	6
2.8.4.1	Materia orgánica (MO)	6
2.8.4.2	Potencial de hidrógeno (pH)	7
2.8.4.3	Conductividad eléctrica (CE)	8
2.8.4.4	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	9
2.8.4.5	Textura	10
2.9	<i>Coliformes</i>	12
2.10	<i>Escherichia coli</i>	12
2.11	<i>Salmonella</i>	12
2.12	<i>Shigella</i>	13
2.13	<i>Rentabilidad</i>	13
2.13.1	Métodos de estimación de la rentabilidad	13
2.13.1.1	Tasa de retorno sobre la inversión original (Iroi)	13
3	Objetivos	14
3.1	<i>General</i>	14
3.2	<i>Específicos</i>	14
4	Hipótesis	14
5	Metodología	15

5.1	<i>Localidad y época</i>	15
5.2	<i>Métodos</i>	15
5.2.1	Método de la investigación.....	15
5.2.2	Métodos para análisis químico de suelos	15
5.2.3	Métodos para análisis microbiológico de suelos	15
5.2.4	Método para el análisis económico	15
5.3	<i>Diseño experimental</i>	16
5.4	<i>Tratamientos</i>	16
5.5	<i>Tamaño de la unidad experimental</i>	16
5.6	<i>Modelo estadístico</i>	18
5.7	<i>Variables de respuesta</i>	18
5.7.1	Variables independientes.....	18
5.7.2	Variables dependientes	19
5.8	<i>Análisis de la información</i>	19
5.9	<i>Manejo del experimento</i>	20
5.9.1	Toma de muestra para análisis químico y microbiológico de gallinaza.....	20
5.9.2	Toma de muestras para análisis químico y microbiológico de suelo	20
5.9.3	Compra de semilla certificada	20
5.9.4	Preparación del terreno.....	20
5.9.5	Trazo del terreno.....	20
5.9.6	Siembra.....	20
5.9.7	Fertilización	20
5.9.8	Control de plagas y enfermedades.....	21
5.9.9	Riego.....	21
5.9.10	Control de malezas y aporque	21
5.9.11	Defoliación	21
5.9.12	Cosecha.....	21
5.9.13	Toma de datos.....	21
6	Análisis y discusión de resultados	22
6.1	<i>Clase textural 1: Franco arenoso (Cantón El Centro, Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos)</i>	22
6.1.1	Número de tubérculos por planta	22
6.1.2	Diámetro de tubérculo	23
6.1.3	Largo de tubérculo.....	23
6.1.4	Rendimiento por calidad en peso de tubérculos	24
6.1.5	Rendimiento por hectárea.....	27
6.1.6	Potencial de hidrógeno (pH).....	28
6.1.7	Materia orgánica (M.O.).....	30
6.1.8	Conductividad eléctrica (C.E.)	31
6.1.9	Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe).....	32
6.1.10	Microbiología	33
6.1.11	Rentabilidad.....	35

6.2	<i>Clase textural 2: Franco arcillo arenoso (Cantón Canoj, Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos)</i>	36
6.2.1	Número de tubérculos por planta	36
6.2.2	Diámetro de tubérculo	37
6.2.3	Largo de tubérculo.....	38
6.2.4	Rendimiento por calidad en peso de tubérculos	39
6.2.5	Rendimiento por hectárea.....	40
6.2.6	Potencial de hidrógeno (pH).....	42
6.2.7	Materia orgánica (M.O.).....	43
6.2.8	Conductividad eléctrica (C.E.)	44
6.2.9	Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe).....	45
6.2.10	Microbiología	46
6.2.11	Rentabilidad.....	48
7	Conclusiones	50
8	Recomendaciones	52
9	Referencias bibliográficas	53
	Anexos	57

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición de la gallinaza	4
Cuadro 2. Interpretación agronómica del contenido de materia orgánica en el suelo.....	7
Cuadro 3. Interpretación agronómica de los valores de acidez y alcalinidad en el suelo.	7
Cuadro 4. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes.....	8
Cuadro 5. Interpretación agronómica de la conductividad eléctrica en el suelo.	9
Cuadro 6. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo.	10
Cuadro 7. Clases texturales según el USDA.	11
Cuadro 8 Dosis de gallinaza a granel	16
Cuadro 9 Número de tubérculos por planta de papa var. Loman de acuerdo a su calidad en relación a su peso en un suelo franco arenoso.....	25
Cuadro 10 Rendimiento por hectárea de acuerdo a calidad por peso de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	28
Cuadro 11. Resultados de análisis microbiológicos antes de la siembra (ADS) y después de la cosecha (DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.....	33
Cuadro 12. Costos de producción y tasa de retorno sobre la inversión inicial de producción de papa var Loman en un suelo franco arenoso.	35
Cuadro 13 Número de tubérculos por planta de papa var. Loman de acuerdo a su calidad en relación a su peso en un suelo franco arcillo arenoso.....	39
Cuadro 14 Rendimiento por hectárea de acuerdo a calidad por peso de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.....	41
Cuadro 15. Resultados de análisis microbiológicos antes de la siembra (ADS) y después de la cosecha (DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.....	46
Cuadro 16. Costos de producción y tasa de retorno sobre la inversión inicial de producción de papa var Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	48

Índice de figuras

Figura 1 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	22
Figura 2 Efecto de gallinaza a granel en el diámetro de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	23
Figura 3 Efecto de gallinaza a granel en el largo de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.....	24
Figura 4 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por calidad en peso de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	26
Figura 5 Efecto de gallinaza a granel en el rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	27
Figura 6 Efecto de gallinaza a granel en el pH después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	29
Figura 7 Efecto de gallinaza a granel en el contenido de materia orgánica después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.	30
Figura 8 Efecto de gallinaza a granel en la conductividad eléctrica antes de la siembra (C.E. ADS) y después de la cosecha (C.E. DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arenoso. .	31
Figura 9 Efecto de gallinaza a granel en la capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra (CICe ADS) y después de la cosecha (CICe DDC) en un suelo franco arenoso.	32
Figura 10 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	36
Figura 11 Efecto de gallinaza a granel en el diámetro de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.....	37
Figura 12 Efecto de gallinaza a granel en el largo de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	38
Figura 13 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por calidad en peso de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.....	40
Figura 14 Efecto de gallinaza a granel en el rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.....	41
Figura 15 Efecto de gallinaza a granel en el pH antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	42
Figura 16 Efecto de gallinaza a granel en el contenido de materia orgánica antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	43
Figura 17 Efecto de gallinaza a granel en la conductividad eléctrica antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.	44

Figura 18 Efecto de gallinaza a granel en la capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.
.....45

“Efecto de enmiendas con gallinaza a granel sobre fertilidad del suelo y rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.)”

Plutarco Emanuel Morales González¹, Osman Cifuentes², Hamilton Fuentes³

Resumen

El objetivo de la investigación fue generar información sobre los efectos de la gallinaza a granel (GAG) en el rendimiento de papa var. Loman (*Solanum tuberosum* L.) y en la fertilidad de dos clases texturales de suelo (franco arenoso y franco arcillo arenoso). El experimento se realizó en Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos de noviembre de 2017 a abril de 2018. Las dosis de GAG fueron 0 (testigo absoluto), 4,000, 6,000, 8,000 (testigo relativo) y 10,000 kilogramos por hectárea ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). El diseño utilizado fue bloques al azar con 4 repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por 40 plantas y se tomaron 16 como parcela neta. Los resultados mostraron que la GAG tuvo un efecto en el rendimiento en ambas clases texturales de suelo, sin embargo, estadísticamente no se observó diferencia significativa, los tratamientos 10,000 y 8,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presentaron los mayores rendimientos en el suelo franco arenoso y franco arcillo arenoso respectivamente. Respecto a la calidad de tubérculos, en el suelo franco arenoso no se obtuvo diferencia significativa para las 3 calidades; en el suelo franco arcillo arenoso el tratamiento con 4,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presentó diferencia significativa para tubérculos de primera calidad, las demás calidades no reportaron diferencia significativa. Los parámetros de fertilidad no presentaron mejoras en ninguno de los tratamientos en comparación al testigo absoluto. Las cantidades de coliformes totales variaron entre los tratamientos y en ambas clases texturales, *Escherichia coli* únicamente aumentó ligeramente en el suelo franco arcillo arenoso donde se aplicaron 8,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG, *Shigella* sp y *Salmonella* sp no fueron halladas.

¹ Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de San Marcos (USAC-CUSAM)

² Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Labor Ovalle, Quetzaltenango

³ Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de San Marcos (USAC-CUSAM)

“Effect of amendments with bulk poultry manure on soil fertility and potato yield (*Solanum tuberosum* L.)”

Abstract

The goal of this research was to generate information about effect of bulk poultry manure on potato yield var. Loman (*Solanum tuberosum* L.) and fertility of two soil textural classes (sandy loam, and sandy clay loam). The experiment was carried out in Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepequez, San Marcos from November 2017 to April 2018. Bulk poultry manure rates were 0 (absolute control), 4,000, 6,000, 8,000 (relative control) and 10,000 kilograms per hectare ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Design used was randomized complete block with 4 replications, experimental unit was constituted by 40 plants and 16 were taken as a net plot. Results indicated that the bulk poultry manure had an effect on the yield in both soil textural classes, however, statistically no significant difference was observed, rates 10,000 and 8,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presented the highest yields in the sandy loam and sandy clay loam soil respectively. Regarding quality of tubers, in sandy loam soil no significant difference was obtained for the 3 qualities; in sandy clay loam soil the rate with 4,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presented significant difference for first quality tubers, the other qualities did not report significant difference. Fertility parameters indicated no improvement in any of the treatments compared to the absolute control. Quantities of total coliforms varied between rates and in both textural classes, *Escherichia coli* only increased slightly in sandy clay loam soil where was applied 8,000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of bulk poultry manure, *Shigella* spp and *Salmonella* spp were not found.

1 Introducción

La gallinaza a granel (GAG) es un abono rico en nitrógeno y fósforo, el cual es un recurso valioso para la fertilización de los suelos destinados a actividades agropecuarias en la finca o en el huerto casero, y permite reducir los costos asociados al uso de fertilizantes químicos (Villanueva 2015).

La GAG se ha utilizado como enmienda agrícola para diferentes cultivos en el altiplano de San Marcos, pero especialmente para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), el cual es de gran importancia para los pequeños y medianos agricultores debido a que es una fuente de trabajo e ingresos (Cabaleiro 2013).

Los rendimientos del cultivo de papa, se han visto afectados por diversos factores, entre ellos el ataque de plagas y enfermedades, y la degradación de los suelos (González 2016). Merchán *et al.* (2008) señala que la productividad de los suelos ha disminuido a causa de su uso intensivo, erosión, influencia climática y mal uso de los fertilizantes.

Cabaleiro (2013) señala que los altos niveles de nutrientes que algunos fertilizantes contienen, pueden saturar el suelo y anular la eficacia de otros nutrientes vitales, añade que muchos fertilizantes contienen ácido sulfúrico y clorhídrico que si se usan en exceso pueden causar un grave daño a los microorganismos del suelo, teniendo un grave impacto en el pH del suelo y afectando negativamente el crecimiento de la planta.

El uso de GAG está muy extendido en el altiplano marquense debido a su bajo costo y a su facilidad de manejo; según sondeos realizados, el 100% de los agricultores dedicados a la producción de papa utilizan GAG, aunque empíricamente en cantidades variadas no sabiendo si son excesivas o deficientes (González 2016).

El consorcio Regional de Investigación Agropecuaria (CRIA), a través del diagnóstico de la problemática del cultivo de papa en el departamento de San Marcos, determinó que uno de los principales problemas es la falta de conocimiento sobre las cantidades adecuadas que se deben de utilizar de enmiendas orgánicas (González 2016).

El objetivo general de la presente investigación fue determinar el efecto de enmiendas con GAG sobre el rendimiento en papa, fertilidad y microbiología de un suelo franco arenoso y un franco arcillo arenoso en la Aldea La Grandeza, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de San Marcos, la cual es una zona con una alta producción de este cultivo.

Para lograr los objetivos de la investigación se realizaron aplicaciones de 0, 4,000, 6,000, 8,000 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG al momento de la siembra y finalizado el ciclo de cultivo se determinó su efecto en la producción de papa, además se realizaron análisis químicos y microbiológicos antes de la siembra y después de la cosecha en ambos suelos para determinar el efecto de la GAG en la fertilidad y microbiología de los suelos.

La investigación demostró que la GAG tuvo un efecto en el rendimiento del cultivo de papa y el contenido de materia orgánica, principalmente en el suelo franco arenoso, además no se determinó presencia de *Shigella sp* y *Salmonella sp* en ambos suelos.

2 Marco teórico

2.1 Aspectos botánicos del cultivo de papa

La papa es nativa de la cordillera andina de Sudamérica, donde ha servido como producto principal en la dieta del habitante nativo (Chávez 2010).

La especie de papa más común es *Solanum tuberosum* L. la cual probablemente es una selección hecha por el hombre (Chávez 2010).

2.2 Descripción botánica

Es una planta herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos (Muchuch 2005).

a) Raíces: son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. Las raíces tienen un débil poder de penetración y sólo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido (Muchuch 2005).

b) Tallos: son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo al principio erguido y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en la yerma del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.5 y 1 metro. Son de color verde pardo debido a los pigmentos antociánicos asociados a la clorofila, estando presentes en todo el tallo (Muchuch 2005).

c) Rizomas: son tallos subterráneos de los que surgen las raíces adventicias. Los rizomas producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados (Muchuch 2005).

d) Tubérculos: son los órganos comestibles de la patata. Están formados por tejido parenquimático, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilas del tubérculo se sitúan las yemas de crecimiento llamadas “ojos”, dispuestas en espiral sobre la superficie del tubérculo (Muchuch 2005).

e) Hojas: son compuestas, imparpinnadas y con foliolos primarios, secundarios e intercalares. La nerviación de las hojas es reticulada, con una densidad mayor en los nervios y en los bordes del limbo (Muchuch 2005).

f) Inflorescencias: son cimosas, están situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral. Es una planta autógama, siendo si androesterilidad muy frecuente, a causa del aborto de los estambres o del polen según las condiciones climáticas. Las flores tienen la corola rotácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc. (Muchuch 2005).

g) Frutos: en forma de baya redondeada de color verde de 1 a 3 cm. de diámetro, que se tornan amarillos al madurar (Muchuch 2005).

2.3 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: Solanum
Especie: Solanum tuberosum L. (Rivera 2002)

2.4 Descripción de la variedad Loman

Es una variedad con una altura entre 50 a 60 cm. En condiciones de campo no produce flor. Su ciclo a madurez fisiológica oscila entre 80 a 120 después de la siembra (Chávez 2010).

El rango de adaptación es de 1,700 a 3,500 msnm. El color de la piel y la pulpa del tubérculo es crema. El tubérculo es de forma oblongo alargado (Chávez 2010).

El rendimiento es de 20 a 30 t/ha. Su uso potencial es para papa hervida, puré, de regular a buena para papalinas y enlatado, su textura es cerosa (Chávez 2010).

2.5 Requerimientos de suelos para el cultivo de papa

La papa se adapta a una gran variedad de suelos siempre que estos posean una buena estructura y un buen drenaje. Los mejores suelos para papas son los porosos, friables y bien drenados, con una profundidad de 25-30 centímetros. Los suelos muy arenosos no retienen humedad y por esto requieren de riegos frecuentes, los suelos derivados de materia orgánica son los mejores y producen los más altos rendimientos (Rivera 2002).

2.6 Requerimientos nutrimentales del cultivo de papa

Sifuentes *et al.* (2013) citando a Bertsch (2003) reporta que este cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente para una producción de 20 t.ha⁻¹, lo que evidencia los altos requerimientos nutrimentales que presenta el cultivo.

Sifuentes *et al.* (2013) citando a Horneck y Rosen (2008) indican que la mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50% con una demanda diaria de 7 kg.ha⁻¹-día, para el caso del P la demanda fluctúa entre 0.4 a 0.9 kg.ha⁻¹-día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg.ha⁻¹-día.

2.7 Enmiendas agrícolas

Las enmiendas son prácticas agronómicas utilizadas para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, con el objetivo de obtener mayores rendimientos en los cultivos (Arévalo y Castellano 2009).

2.8 Definición de gallinaza

La gallinaza es el estiércol de la gallina preparado para ser utilizado en la industria ganadera o en la industria agropecuaria, la gallinaza tiene como principal componente el estiércol de las gallinas que se crían para la producción de un huevo (Gallinaza México 2004).

La gallinaza se utiliza como abono o complemento alimenticio en la crianza de ganado debido a la riqueza química y de nutrientes que contiene (Gallinaza México 2004).

Los nutrientes que se encuentran en la gallinaza se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30% y 40% de los nutrientes con las que se alimenta, lo que hace que en su estiércol se encuentre el restante 60-70% no asimilado (Gallinaza México 2004).

La gallinaza contiene un importante nivel de nitrógeno el cual es imprescindible para que tanto animales y plantas asimilen otros nutrientes y formen proteínas y se absorba en la energía en la célula (Gallinaza México 2004).

2.8.1 Gallinaza a granel

La gallinaza a granel (GAG) es aquel material conformado por el estiércol de pollos de engorde más el sistema de absorción que por lo general puede ser cascarilla de arroz, viruta o paja seca, la cual es conocida como cama, la cual es llevada de las granjas a diferentes sitios del país donde se le realiza una molienda y luego es acumula en pilas para que pierda la humedad contenida en ella, luego ser empacada en costales y posteriormente estar a disposición de los agricultores. Esta gallinaza no posee un control estricto de temperatura ni de humedad.

2.8.2 Composición de la gallinaza

Cuadro 1. Composición de la gallinaza

Materia seca	83.10 %
Ph	7.90
Materia orgánica	58.00 %
Nitrógeno	4.00 %
Fósforo	2.60 %
Potasio	2.30 %
Calcio	9.50 %
Magnesio	0.80 %
Sodio	0.30 %
Hierro	506.10 mg.kg ⁻¹
Manganeso	297.50 mg.kg ⁻¹
Cobre	37.40 mg.kg ⁻¹
Zinc	531.80 mg.kg ⁻¹
Relación C/N	7.26
Conductividad	4.57 dS.m ⁻¹
Densidad	500 kg.m ⁻¹

De acuerdo al cuadro anterior, la gallinaza presenta las siguientes características:

- Una relación muy bien proporcionada de N-P-K para su utilización como abono completo y único.

- Un Nitrógeno orgánico de liberación lenta.
- Un elevado contenido de materia orgánica.
- Un nivel muy alto de calcio, un elemento muy mejorador de la estructura de los suelos participando en los mecanismos de intercambio catiónico.
- Una relación C/N muy baja, más que cualquier otro estiércol, que será indispensable para la descomposición de los rastrojos donde se aplique (TECNAMED 2011).

De acuerdo a Cabaleiro (2013) citando varias fuentes, la relación C/N es baja (6,4-12,1), lo que facilita la liberación de N. Confirmando lo antes mencionado.

2.8.3 Propiedades de la gallinaza

La gallinaza es un fertilizante orgánico que combina todos los nutrientes esenciales Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K) y otros macro y microelementos, con un alto contenido de materia orgánica (TECNAMED 2011).

Esto hace que sea un producto que ejerce efectos muy positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando los rendimientos de los cultivos (TECNAMED 2011).

2.8.3.1 Efectos en la parte física del suelo

- Favorece la estabilidad del suelo al mantener floculado el complejo arcillo húmico.
- Facilita los mecanismos de distribución del aire entre el suelo y la atmósfera exterior.
- Permite la circulación del agua en el suelo al impedir la destrucción de agregados y el taponamiento de los poros y aumenta la capacidad de retención del agua (TECNAMED 2011).

2.8.3.2 Efectos en la parte química del suelo

- Es un fertilizante completo, conteniendo los principales elementos necesarios para un óptimo rendimiento de los cultivos N, P, K, Ca, Mg y otros microelementos y materia orgánica.
- Las formas orgánicas del N y P actúan como fertilizantes de liberación lenta, por lo que son menos susceptibles de lavado que otros fertilizantes minerales.
- La formación de complejos orgánicos mejora la disponibilidad de los microelementos.
- La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales consigue mayores rendimientos (TECNAMED 2011).

2.8.3.3 Efectos en la parte biológica del suelo y medioambiental

- Es alimento para los cultivos y para los microorganismos del suelo.
- Favorece la respiración radicular.
- Incrementa la actividad microbiana.
- Un mejor enraizamiento disminuye la erosión del suelo.

- El aumento de la capacidad de retención del agua, disminuye la contaminación por el lavado de elementos fertilizantes.
- La baja relación C/N facilita la humificación de los rastrojos limitando el efecto de “hambre de nitrógeno” (TECNAMED 2011).

La gallinaza seca posee una mayor concentración de nutrientes, este valor depende del tiempo y rapidez del secado, así como de la composición de N, P (P₂O₅), K (K₂O). Esto tiene especial relevancia en el caso del nitrógeno y el fósforo ya que, aparte de su valor como abono, en muchas ocasiones, con una excesiva densidad animal en el área, estos elementos se consideran contaminantes del suelo (TECNAMED2011).

En relación con la alimentación de las aves, el nivel de nitrógeno de las deyecciones es, obviamente, más elevado en la de los pollos de engorde que en la de las gallinas, en tanto que con el calcio ocurre al contrario (TECNAMED 2011).

2.8.4 Fertilidad del suelo y factores que la determinan

La Fertilidad del suelo es una expresión con la que se designa la aptitud de un suelo para asegurar a la planta unas buenas condiciones de desarrollo y el suministro adecuado de agua y elementos nutritivos, conducente todo ello a la obtención de buenas cosechas (Andrades y Martínez 2014).

La fertilidad del suelo es la resultante de numerosos componentes físicos, químicos y biológicos, que por una parte depende del medio (suelo, clima) y de la actividad humana (laboreo, riego, abonado, etc.) (Andrades y Martínez 2014). Dentro de los factores que determinan la fertilidad del suelo están: contenido de materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC).

2.8.4.1 *Materia orgánica (MO)*

De acuerdo a Stauder (2010) la MO es el humus acumulado a través del tiempo en el suelo. El humus está conformado por las sustancias húmicas que son compuestos de peso molecular relativamente alto, de color pardo a negro, formadas por reacciones secundarias de síntesis.

La acumulación de humus está directamente relacionada con la actividad microbiana y depende de la humedad y temperatura del suelo, pero mucho más de la disponibilidad de carbono (C) fácilmente accesible que es utilizado por los microorganismos como fuente de energía. (Stauder 2010).

La biomasa del suelo se encarga de la descomposición de residuos de plantas y animales y en el reciclaje de nutrientes, contribuyendo de esta manera a la acumulación de humus en el suelo. En cualquier suelo, la acumulación de humus tiende a equilibrarse con el paso del tiempo y la cantidad de humus depende de la cantidad y calidad del material orgánico añadido y su tasa de descomposición (Stauder 2010).

A continuación, se presenta la interpretación agronómica del contenido de materia orgánica en el suelo.

Cuadro 2. Interpretación agronómica del contenido de materia orgánica en el suelo.

Contenido de MO (%)	Interpretación agronómica
< 2.0	Bajo
2.0 a 4.0	Adecuado
> 4.0	Alto

Fuente: Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización.

El suelo donde se cultive papa debe tener al menos 2% de MO (Chávez 2010), INTAGRI (2017) recomienda que el contenido de MO sea mayor a 3.5%.

2.8.4.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno (H^+) e iones hidroxilo (OH^-) que representa la acidez o alcalinidad de un suelo. A pH 7.0 existe una concentración igual de iones H^+ y OH^- , por lo tanto el pH es neutro, un pH menor a 7.0 es ácido y por arriba de 7.0 es alcalina. Un suelo es ácido cuando el pH es < 5.5 y alcalino cuando es > 7.3. Se considera que el pH óptimo del suelo para el desarrollo de plantas está entre 5.8 y 6.8. En este rango de pH están disponibles la mayoría de nutrientes para las plantas (Stauder 2010).

A continuación, se presenta la interpretación agronómica de los valores de acidez y alcalinidad en el suelo:

Cuadro 3. Interpretación agronómica de los valores de acidez y alcalinidad en el suelo.

pH	Interpretación agronómica	
< 4.5	Extremadamente ácido	Adecuado para la mayoría de los cultivos.
4.5 – 5.0	Fuertemente ácido	
5.1 – 5.5	Moderadamente ácido	
5.6 – 6.0	Ligeramente ácido	
6.1 – 7.2	Neutro	
7.3 – 7.8	Moderadamente alcalino	
7.9 – 8.4	Fuertemente alcalino	
> 8.5	Extremadamente alcalino	

Fuente: Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización.

La acidez ($\text{pH} < 5.5$) favorece la solubilización de Al, Fe y Mn, que cuando están presentes en altas cantidades en la solución del suelo son tóxicos para las plantas. En condiciones ácidas se puede presentar una mayor incidencia de hongos dañinos como Fusarium y una menor actividad bacteriana lo que inhibe el proceso de nitrificación y la fijación de N por las leguminosas. La acidez también incrementa la precipitación de P en el suelo por la formación de fosfatos insolubles de Fe, Mn y Al y son comunes las deficiencias de Ca y/o Mg (Stauder 2010).

El principal problema por la acidez del suelo es la toxicidad por Al^{3+} y Mn^{2+} , estos dos metales, principalmente el Al, aparecen en cantidades altas en la solución del suelo, además este compite con Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y NH_4^+ por los espacios en la fase de intercambio del suelo reduciendo la capacidad de las plantas para absorber estos nutrientes esenciales (Stauder 2010).

Las condiciones alcalinas ($\text{pH} > 7.3$) hacen menos disponible el P que se precipita como fosfato de calcio (menos soluble) y los micronutrientes como Cu, Fe, Mn y Zn que se precipitan como fosfatos y carbonatos. El único micronutriente que se hace disponible en suelos alcalinos es el molibdeno (Mo) (Stauder 2010).

A continuación, se presenta los efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes:

Cuadro 4. Efectos del pH en la disponibilidad de nutrientes.

Disponibilidad de nutrientes		
Niveles altos de Al, Cu, Fe, Mn, Zn, B.	Nivel optimo	Niveles altos de Ca, Mg.
Niveles bajos de P, Ca, Mg, S, Mo.	Nutrientes disponibles.	Niveles bajos de Cu, Fe, Mn, Zn, P, B, $\text{pH} > 7.5$
$\text{pH} < 5.5$	5.8 – 6.8	> 7.3

Fuente: Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) recomienda para el cultivo de papa que el pH este entre 5.5 y 7.0 (Chávez 2010), INTAGRI (2017) indica que el cultivo de papa se desarrolla adecuadamente en un rango de 5.0 a 7.0.

2.8.4.3 Conductividad eléctrica (CE)

La CE es una media directa de la cantidad de sales (CS) disuelta en la solución del suelo o en el agua de riego. La CE mide la capacidad de la solución de transmitir corriente eléctrica, condición que es proporcional al contenido de iones o sales presentes en dicha solución. Cada sal disuelta tiene su propia conductividad por lo que la CE del suelo es una aproximación del contenido real de sales (Stauder 2010).

En condiciones de acumulación de sales, las plantas manifiestan susceptibilidad a la presencia de concentraciones altas de ciertos iones particularmente sodio (Na) y cloruros (Cl) que se manifiestan con síntomas como mal crecimiento y necrosis de los bordes y de la parte central de las hojas viejas. La susceptibilidad a las sales varía con el cultivo (Stauder 2010).

Por otro lado, las concentraciones muy altas de sales en el suelo afectan la disponibilidad del agua para la planta. En condiciones normales, la planta extrae agua ejerciendo una fuerza de absorción mayor que la presión osmótica que retiene el agua en el suelo. Si existe una concentración de sales muy alta afuera de la raíz, el agua permanece osmóticamente en el suelo y no se desplaza hacia la raíz y más bien el agua de las raíces tiende a salir atraída por las sales del suelo y las plantas presentan síntomas de marchitamiento y mala nutrición a pesar de que el contenido de humedad sea adecuado y se hayan aplicado fertilizantes (Stauder 2010).

A continuación, se presenta la interpretación agronómica de la conductividad eléctrica en el suelo:

Cuadro 5. Interpretación agronómica de la conductividad eléctrica en el suelo.

Fertilización	Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)					
	0.00 – 0.20	0.21 – 0.50	0.51 – 0.8	0.81 – 1.40	1.40 – 2.00	> 2.00
Con fertiriego	Bajo	Adecuado	Moderado	Alto	Muy alto	Extremadamente alto
Sin fertiriego	Adecuado	Moderado	Alto	Extremadamente alto	No se presentan en cultivos que no tienen fertilización por riego.	No se presentan en cultivos que no tienen fertilización por riego.

Fuente: Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización.

INTAGRI (2017) recomienda que la conductividad eléctrica para el cultivo de papa debe ser menor a 4 dS.m⁻¹, Sánchez-Bernal *et al.* (2003) citando a Bernstein (1964) indica que esta hortaliza es moderadamente sensible a salinidad, pues a conductividades de 3 a 6 dS.m⁻¹ de soluciones de cloruro de sodio reduce drásticamente su rendimiento; no obstante, la tolerancia depende de la variedad.

2.8.4.4 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Las partículas de arcilla y los coloides orgánicos generalmente desarrollan carga negativa en la superficie y por tanto tienen capacidad de retener y liberar elementos y moléculas con carga positiva (cationes). A la capacidad del suelo para retener cationes se le denomina Capacidad de Intercambio Catiónico (Stauder 2010).

La carga sobre la superficie de los coloides puede ser permanente o variable. Se reconoce que existen suelos dominados por coloides de carga permanente y suelos dominados por coloides con carga variable. La carga de los suelos dominados por carga permanente no cambia con el pH y estos suelos conservan la misma CIC a cualquier pH, mientras que la carga de los suelos dominados por coloides de carga variable tienen un importante cambio en la CIC con los cambios de pH del suelo. En estos suelos, a medida que se incrementa el pH también se incrementa la CIC y viceversa (Stauder 2010).

La CIC del suelo se puede medir en el laboratorio con métodos simples como la extracción de cationes en acetato de amonio y los resultados representan bien la CIC en suelos dominados por carga permanente. Sin embargo, no representa bien la CIC de suelos dominados por carga variable, debido a esta variación, Stauder (2010) recomienda calcular la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe), que es la suma de los cationes reportados por el análisis de laboratorio.

A continuación, se presenta la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo.

Cuadro 6. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo.

CICe [cmol _e .kg ⁻¹]	Interpretación agronómica
< 5.0	Baja. Condición presente en suelos arenosos y en suelos ácidos en áreas con alta precipitación (pH < 5.5). Estos suelos tienen poca capacidad de retener nutrientes y mayor probabilidad de pérdidas por lixiviación. Generalmente se presentan bajos niveles de K, Ca y Mg y altos niveles de Al.
5.1 – 15.0	Adecuado.
> 15.0	Alta. Se presenta en suelos arcillosos, generalmente alcalinos (pH > 7.3). Presentan altos niveles de Ca, Mg, K y/o Na.

Fuente: Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización.

En términos generales, se considera que existe un buen balance de cationes cuando la CIC del suelo retiene 75% de Ca, 15% de Mg, 5% de K y < 20% de Al+H.

2.8.4.5 Textura

Stauder (2010), indica que la textura se refiere al porcentaje de cada una de las tres partículas que están presentes en el suelo (arena, limo y arcilla) y esta combinación define la clase textural.

- **Suelos arenosos:** son aquellos que contienen un alto porcentaje de arena (0.05 a 2 mm de diámetro). Estas partículas se agregan poco y dejan poros grandes por donde circulan fácilmente el agua y el aire. Las partículas de arena no retienen nutrientes, poseen buen drenaje y buena aireación. Son suelos de baja fertilidad y bajo contenido de MO. Comúnmente, presentan problemas de nematodos por la facilidad de movimiento de estos patógenos. Son ásperos al tacto y no se pueden moldear (Stauder 2010).
- **Suelos limosos:** contienen un mayor porcentaje de limo (0.002 a 0.05 mm de diámetro) poseen cierta elasticidad y cohesión para ser moldeadas. Los suelos que

tienen un alto porcentaje de limo se agregan más que los arenosos y formas poros de tamaño intermedio que reducen el movimiento de agua y aire por el suelo sin llegar a saturarlo. Tienen una adecuada capacidad para retener nutrientes. Estos suelos tienen una sensación de talco al tacto y cuando se secan dejan una capa de material blanco muy fino en los dedos (Stauder 2010).

- **Suelos arcillosos:** son suelos con un alto porcentaje de arcilla (partículas menores a 0.002 mm de diámetro). También se les denomina coloides y tienen propiedades específicas importantes. Los coloides arcillosos poseen áreas superficiales muy grandes sobre la cual se desarrollan cargas eléctricas, generalmente negativas, que pueden retener cationes, se agregan fuertemente dejando poros muy finos que no permiten que el agua y el aire se muevan con facilidad. Retienen mucha agua y tienen mal drenaje. Sus propiedades coloidales le permiten retener nutrientes y tienden a acumular MO, lo que los hace muy fértiles. Las arcillas húmedas son pegajosas y fáciles de moldear, pero cuando se secan forman terrones muy duros y difíciles de romper (Stauder 2010).

A continuación, se presentan las clases texturales según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Cuadro 7. Clases texturales según el USDA.

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso
Fuente: FAO. Textura del suelo. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm				

2.9 Coliformes

Los coliformes son descritos como microorganismos como bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas, aunque algunos pueden ser fermentadores tardíos o no fermentadores. La mayoría de estos microorganismos se pueden encontrar en la flora normal del tracto digestivo del hombre y de los animales, por lo cual son expulsados especialmente en las heces, tal es el caso de *Escherichia coli*.

Los coliformes son el grupo más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de prácticas inadecuadas de higiene. Estas bacterias pueden vivir también en otros ambientes, se distingue entre coliformes totales y coliformes fecales, su presencia no necesariamente implica un riesgo sanitario cuando los coliformes son de origen no-fecal (Camacho *et al.* 2009).

2.10 *Escherichia coli*

Bell y Kyriakides (2000) citados por De Jesús (2016) indican que *E. coli* es un bacilo corto, Gram negativo con una sola cadena espiral de ADN, móvil, aerobio y anaerobio facultativo, con flagelos peritricos. La mayoría forma fimbrias y pilis, muchas cepas producen una pequeña microcápsula, muy pocas elaboran macrocápsulas y no fabrican esporas.

Romero (2007) citado por de Jesús (2016) señala que *E. coli* es la bacteria más constantemente encontrada en las materias fecales del hombre, así como de muchas especies animales. Su nicho ecológico natural es el intestino delgado y grueso, forma parte de la flora intestinal y se encuentra en calidad de saprobio sin causar daño.

Muchas cepas de *E. coli* son inofensivas, producen sustancias que son útiles al hospedero como son las colicinas, que tienen efecto inhibitorio sobre otras cepas potencialmente patógenas; sin embargo, algunas cepas son patógenas y provocan enfermedades gastrointestinales graves.

2.11 *Salmonella*

Salmonella es un género que pertenece a la familia Enterobacteriaceae. La mayoría de sus miembros se encuentra en el tracto intestinal del hombre y los animales como bacterias patógenas o comensales. Son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos no esporulados. Los síntomas clínicos por infección de *Salmonella* son: dolor abdominal, diarrea, fiebre moderada y escalofríos; a veces hay vómitos, dolor de cabeza y malestar en general.

El género *salmonella* son microorganismos quimioorganotrofos con pocos requerimientos nutricionales por lo que pueden crecer en medios de cultivo relativamente simples, tienen capacidad para metabolizar nutrientes por las vías metabólicas respiratorias y fermentativa (Doyle *et al.* 2001 citado por de Jesús 2016).

El reglamento técnico Centroamericano de alimentos señala que *Salmonella* sp debe de estar ausente para frutas y hortalizas frescas (Reglamento técnico Centroamericano s.f.).

2.12 *Shigella*

Las especies del genero *Shigella* son bacterias muy contagiosas que atacan el tracto intestinal y pertenece a la familia Enterobacteriaceae, es un bacilo no esporulado, Gram negativos. Existen cuatro especies del genero *Shigella* agrupadas serológicamente: *S. dysenteriae* (grupo A), *S. flexneri* (grupo B), *S. boydii* (grupo C) y *S. sonnei* (grupo D), en el aspecto genético son casi idénticas a *E. coli* (Doyle *et al.* 2001 citado por de Jesús 2016).

El medio principal de transmisión de *Shigella* es de persona a persona, por la vía fecal-oral. En el caso de los alimentos, el factor principal de contaminación es la poca higiene personal de los manipuladores de alimentos. Este patógeno se puede propagar por varias vías que incluyen la comida, los dedos de las manos, las heces fecales y las moscas, estas bacterias se transmiten de la materia fecal a los alimentos (Molina *et al.* 2010 citado por de Jesús 2016).

2.13 Rentabilidad

La palabra "rentabilidad" es un término general que mide la ganancia que puede obtenerse en una situación particular. Es el denominador común de todas las actividades productivas. En general, el producto de las entradas de dinero por ventas totales (V) menos los costos totales de producción sin depreciación (C) dan como resultado el beneficio bruto (BB) de la compañía. (FAO 1998)

2.13.1 Métodos de estimación de la rentabilidad

2.13.1.1 Tasa de retorno sobre la inversión original (Iroi)

En estudios de ingeniería económica, la tasa de retorno sobre la inversión es expresada normalmente como un porcentaje. El beneficio neto anual dividido por la inversión total inicial representa la fracción que, multiplicada por 100, es conocida como retorno porcentual sobre la inversión.

Este método da "valores puntuales" que son aplicables a un año en particular o para algún año "promedio" elegido. No tienen en cuenta la inflación, ni el valor temporal del dinero. (FAO 1998)

$$i_{ROI} = \frac{BN_p}{I_t}$$

Siendo:

i_{ROI} = Tasa de retorno sobre la inversión original

BN_p = Beneficio neto

I_t = Inversión total

3 Objetivos

3.1 General

Generar información sobre el efecto de la gallinaza a granel en el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.), fertilidad y microbiología de dos clases texturales de suelos.

3.2 Específicos

Determinar el efecto de diferentes dosis de gallinaza a granel sobre el rendimiento del cultivo de papa.

Determinar el efecto de diferentes dosis de gallinaza sobre la calidad del rendimiento de cultivo de papa.

Establecer el efecto de la gallinaza a granel sobre la fertilidad a través de los indicadores de fertilidad del suelo: contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Determinar el efecto de la gallinaza a granel en la microbiología a través de la detección de coliformes totales, *Escherichia coli*, *Shigella sp* y *Salmonella sp* en ambos suelos.

Establecer la dosis de gallinaza a granel en el cultivo de papa, en dos clases texturales de suelo, que represente mayor beneficio económico al agricultor, aplicando la metodología de Tasa de retorno sobre la inversión original.

4 Hipótesis

Ha. 1 Al menos una de las dosis de gallinaza a granel mostrará significancia estadística en el rendimiento de papa.

Ha. 2 Al menos una de las dosis de gallinaza a granel mostrará significancia estadística en la calidad del rendimiento del cultivo de papa.

Ha. 3 Al menos en una clase textural una de las dosis de gallinaza a granel mostrará diferencia en cuanto a los indicadores de fertilidad del suelo: contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Ha. 4 Al menos una de las dosis de gallinaza a granel representará mayor rentabilidad.

Ho. 1 Ninguna de las dosis de gallinaza a granel mostrará significancia estadística en el rendimiento de papa.

Ho.2 Ninguna de las dosis de gallinaza a granel mostrará significancia estadística en la calidad del rendimiento del cultivo de papa.

Ho.3 Ninguna de las texturas de suelo mostrara diferencia en cuanto a los indicadores de fertilidad del suelo: contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio.

Ho.4 Ninguna de las dosis de gallinaza a granel representará mayor rentabilidad.

5 Metodología

5.1 Localidad y época

El presente trabajo de investigación se realizó durante los meses de noviembre de 2017 a abril de 2018 en los cantones El Centro y Canoj de Aldea La Grandeza, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de San Marcos, la cual está ubicada entre los paralelos 14° 57' 55" de latitud norte y 31° 46' 35" longitud oeste; tiene una altura de 2,230 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) en la parte más baja; 2,480 m s. n. m., en la parte media y 3,500 m s. n. m. en la parte alta.

La aldea se encuentra a una distancia de 5 kilómetros (km) de la cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez, a 4 km de la cabecera departamental de San Marcos y a 255 km de la ciudad de Guatemala.

El área de estudio se caracteriza por tener un clima frío, durante el año se marcan dos épocas climáticas, la época lluviosa comprende los meses de mayo a noviembre y la época seca de noviembre a abril, la cual registra un régimen de baja temperatura específicamente entre noviembre y enero, donde se presentan heladas que afectan a los cultivos. La temperatura media anual es de 12° C y una precipitación pluvial media de 1248.31 mm.

5.2 Métodos

5.2.1 Método de la investigación

El método utilizado como base para la presente investigación fue el método científico, auxiliándose del método experimental.

5.2.2 Métodos para análisis químico de suelos

Los métodos utilizados por el laboratorio para determinación de parámetros químicos fueron: potencia del Hidrógeno (pH) por extracción con agua, relación suelo:agua de 1:2 a través de determinación potenciométrica; materia orgánica (M.O.) por volumetría redox, Walkley-Black; conductividad eléctrica (C.E.) por extracción con agua, relación suelo:agua de 1:2 a través de determinación conductimétrica y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) por medio de la sumatoria de los cationes.

5.2.3 Métodos para análisis microbiológico de suelos

Para los análisis microbiológicos, el laboratorio reporta los métodos CM 9.95:2015 para coliformes totales y *Escherichia coli*, CM 37.2:2015 para *Shigella* sp del Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 5th. Ed. American Public Health Association (APHA), 20015; y para *Salmonella* sp el método VIDAS UP.

5.2.4 Método para el análisis económico

Para ello se utilizó el método tasa de retorno que es la relación entre el beneficio neto y la inversión total inicial multiplicada por 100. Es conocida como retorno porcentual sobre la inversión.

5.3 Diseño experimental

Para realizar el experimento se utilizó el diseño Bloques Completos al Azar, con la utilización de cinco tratamientos y cuatro repeticiones en cada una de las localidades. Los terrenos en los cuales se establecieron los ensayos presentaron una leve pendiente (no mayor del 25 %), por lo que la gradiente del diseño experimental es la pendiente.

Los suelos donde se estableció la investigación fueron de las clases texturales, franco arenoso y franco arcillo arenoso.

5.4 Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron fueron: Dosis de gallinaza a granel, a continuación, se presentan las diferentes dosis utilizadas:

Cuadro 8 Dosis de gallinaza a granel

Identificación	Dosis de gallinaza a granel
Tratamiento 0 (testigo absoluto)	0 kg.ha ⁻¹
Tratamiento 1	4,000 kg.ha ⁻¹
Tratamiento 2	6,000 kg.ha ⁻¹
Tratamiento 3 (testigo relativo)	8,000 kg.ha ⁻¹
Tratamiento 4	10,000 kg.ha ⁻¹

Los tratamientos se determinaron en base al testigo relativo.

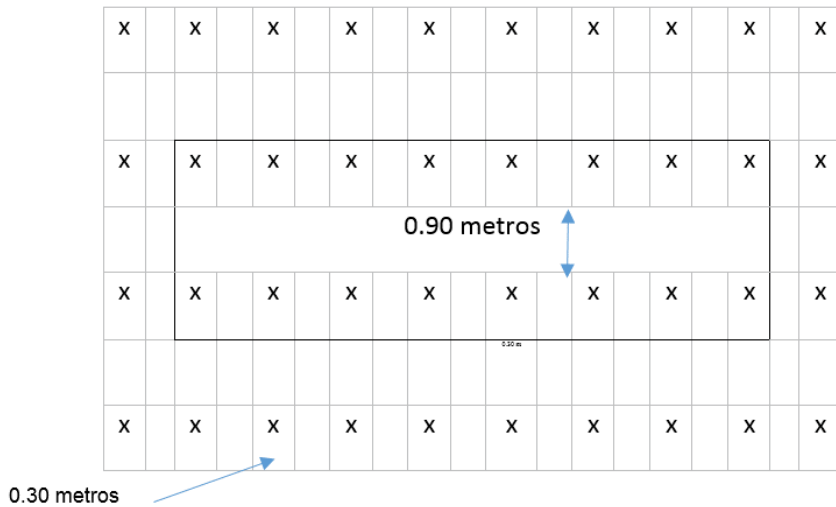
5.5 Tamaño de la unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 3 m de longitud y 0.90 m entre surco, por lo que el área de cada unidad experimental fue de 10.8m² y el área total fue de 216 m² por localidad.

El número total de unidades experimentales fue de 20 por localidad, teniendo un total de 40 y el área total que se utilizó en el experimento fue de 432 m².

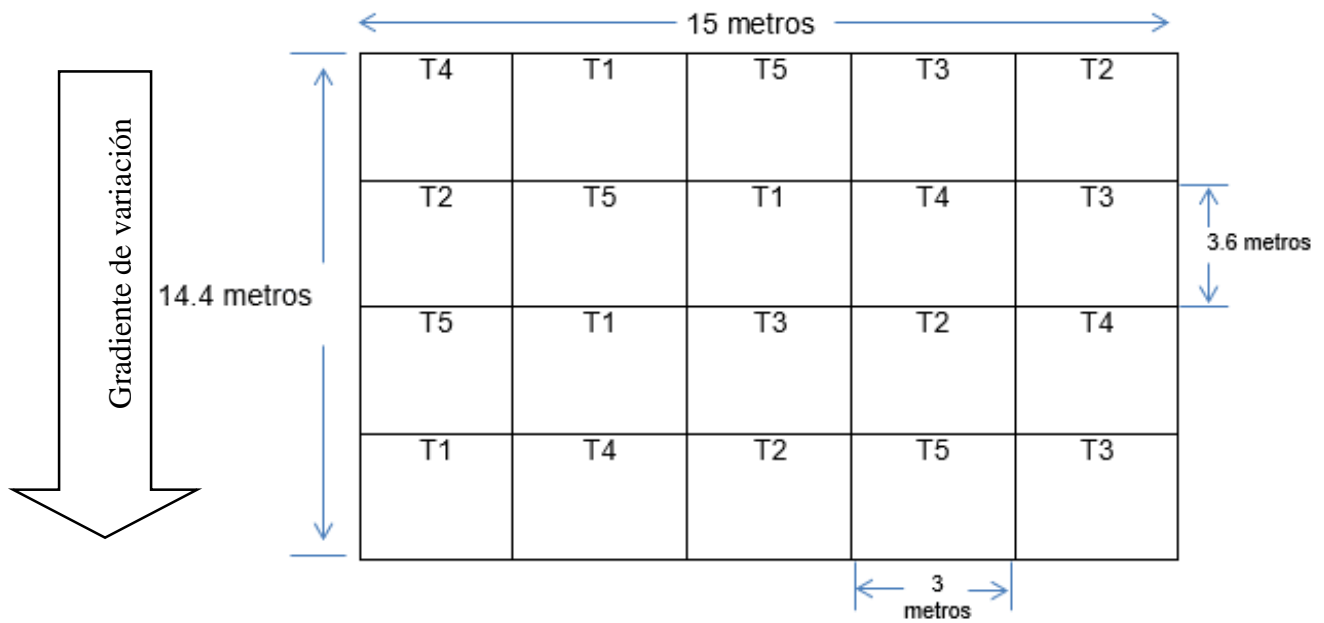
Cada unidad experimental tuvo un total de 40 plantas, tomando en cuenta el efecto de borde se trabajaron 16 plantas (parcela neta) por unidad experimental.

A continuación, se describe el croquis de la unidad experimental.

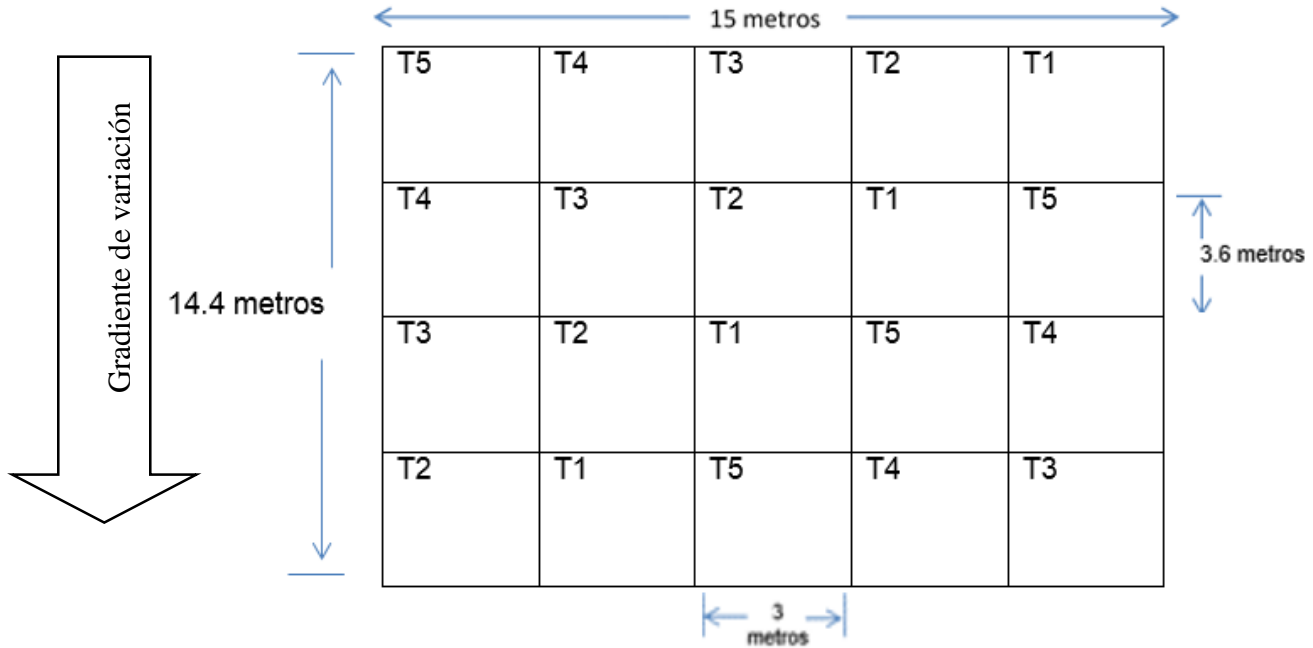


A continuación, se describen los croquis del diseño experimental de ambas localidades de Aldea La Grandeza del municipio de San Pedro Sacatepéquez.

Croquis de Cantón el Centro (clase textural: franco arenoso)



Croquis de Cantón Canoj (clase textural: franco arcillo arenoso)



5.6 Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó para este diseño fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

Y_{ij} = Variable de respuesta (rendimiento) de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Media general de la variable de respuesta

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (dosis de gallinaza a granel) en la variable dependiente.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

5.7 Variables de respuesta

5.7.1 Variables independientes

- **Dosis de Gallinaza:** Se evaluaron 5 dosis de gallinaza a granel.
- **Textura del suelo:** las clases texturales donde se realizó la investigación correspondieron a un franco arenoso y un franco arcillo arenoso (ver anexo 6).

5.7.2 Variables dependientes

Número de tubérculos por planta: Se contaron la cantidad total de tubérculos producidos por planta en cada una de las parcelas netas.

Tamaño de tubérculos por planta: Se midió el diámetro y largo de cada uno de los tubérculos producidos por planta, para ello se utilizó un vernier.

Calidad de tubérculos: Se contabilizaron los tubérculos de acuerdo a su calidad en peso producidos por planta y se clasificaron como tubérculos de primera, segunda o tercera calidad (ver anexo 6).

Rendimiento: Se determinó mediante el pesaje de los tubérculos producidos por planta por área, luego se realizó una extrapolación de los rendimientos obtenidos por unidad experimental para obtener el rendimiento por hectárea, se expresó en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Potencial de Hidrógeno (pH): Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa.

Contenido de materia orgánica (MO): Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa.

Conductividad eléctrica (CE): Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa.

Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE): Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa.

Coliformes totales: Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa, el resultado fue expresado en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC/g).

***Escherichia coli*:** Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa, el resultado fue expresado en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC/g).

***Shigella sp*:** Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa, el resultado fue expresado como ausente/presente.

***Salmonella sp*:** Se determinó por medio de análisis de laboratorio, el análisis se realizó antes de la siembra y después de la cosecha de papa, el resultado fue expresado como ausente/presente.

Rentabilidad: Se determinará a partir de la relación entre el beneficio neto y la inversión total inicial multiplicada por 100.

5.8 Análisis de la información

Los resultados obtenidos de las variables número de tubérculos por planta, tamaño de tubérculos por planta, rendimiento y calidad de tubérculos fueron sometidos a un análisis de

varianza al 5% y la comparación de medias se realizó por el método de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) al 5%, el análisis para las variables de fertilidad de los suelos fue mediante la prueba de Fisher al 5%. Los resultados se analizaron con el software estadístico INFOSTAT.

5.9 Manejo del experimento

Las actividades del manejo del experimento fueron:

5.9.1 Toma de muestra para análisis químico y microbiológico de gallinaza

Se tomó una muestra de aproximadamente una libra de GAG y se llevó a un laboratorio con el fin de conocer su composición química y microbiológica.

5.9.2 Toma de muestras para análisis químico y microbiológico de suelo

Con el propósito de conocer el estado nutricional y microbiológico del suelo se realizaron muestreos antes de la siembra y después de la cosecha a una profundidad de 0 a 0.30 m, el muestreo se hizo en zig-zag. En cada una de las unidades experimentales se tomaron dos submuestras que luego fueron mezcladas para formar una muestra compuesta, finalmente se tomó 0.5 kilogramo de suelo y se colocó dentro de una bolsa con cierre hermético, para el análisis microbiológico únicamente se seleccionó una unidad experimental por tratamiento. Todas las muestras fueron enviadas a un laboratorio en Mixco, Guatemala.

5.9.3 Compra de semilla certificada

Se compraron tubérculos sanos, con 5 yemas, de buen tamaño, superiores a 30 gramos.

5.9.4 Preparación del terreno

Los suelos de ambas parcelas fueron preparados antes de la siembra a una profundidad de 0.30 m quedando el suelo bien mullido.

5.9.5 Trazo del terreno

Se realizó en base al croquis de campo, dejando delimitadas todas las unidades experimentales, además se identificaron cada una con un letrero de madera, en los cuales se especificaron los tratamientos y las repeticiones.

5.9.6 Siembra

La siembra se realizó de forma manual, para ello se abrieron surcos de 0.25 m de profundidad y separados 0.9 m, antes de la colocación de tubérculos se aplicó cal agrícola a razón de 2,105 kg.ha⁻¹, la GAG en sus diferentes dosis y una fertilización base de 157.5 kg.ha⁻¹ de nitrógeno (N), 157.5 kg.ha⁻¹ de fósforo (P) y 157.5 kg.ha⁻¹ de potasio (K), luego se colocaron los tubérculos a una distancia de 0.30 m entre ellos, después se realizó una aplicación de Etoprofos para el control de nematodos y plagas del suelo y Sulfato de amonio más Azoxistrobina para el control de enfermedades del suelo, finalmente se procedió a tapar los surcos.

5.9.7 Fertilización

La segunda aplicación de fertilizante se realizó a los 31 días después de la siembra, se realizó de forma manual y se aplicó 157.5 kg.ha⁻¹ de N, 157.5 kg.ha⁻¹ de P y 157.5 kg.ha⁻¹ de K.

La tercera aplicación de fertilizante se realizó a los 38 días después de la siembra y consistió en aplicar 279.3 kg.ha⁻¹ de N, 34.65 kg.ha⁻¹ de P y 56.7 kg.ha⁻¹ de K.

Además, se realizó una fertilización foliar semanalmente después de la emergencia de las plantas con un fertilizante foliar completo, en total se realizaron 14 aplicaciones.

5.9.8 Control de plagas y enfermedades

Para el control de enfermedades, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*), se realizaron aplicaciones semanales de Fosetil Aluminio + Propomocarb, Propineb y Oxatiapiprolin, para el control de plagas como mosca blanca (*Bemisia* sp) y pulgones (*Myzus persicae*) se realizaron aplicaciones de Thiacloprid, Beta-Ciflutrina y Lambdacihalotrina. Todos se rotaron para evitar generar resistencia.

5.9.9 Riego

Se utilizó un riego por aspersión y las aplicaciones fueron de acuerdo a las necesidades del cultivo, de manera general el riego se realizó a cada 3 días en el suelo franco arenoso y a cada 5 días en el suelo franco arcillo arenoso.

5.9.10 Control de malezas y aporque

El control de malezas se realizó de forma química y manual, el primer control se realizó a los 25 días después de la siembra con Metribuzin y el segundo control se realizó a los 31 días después de la siembra, esta última se realizó manualmente, el aporque consistió en recoger el suelo de los alrededores de la planta y amontonarlo junto a ella hasta formar un camellón, se realizó a los 38 días después de la siembra.

5.9.11 Defoliación

Esta práctica se realizó a los 110 días después de la siembra, cuando los tubérculos alcanzaron el tamaño deseado. Se realizó un muestreo para determinar la madurez de los tubérculos, la práctica consistió en cortar el follaje de las plantas de papa, esto se realizó manualmente con machete.

5.9.12 Cosecha

Llegado el momento de la cosecha se procedió a la extracción de los tubérculos del suelo, para ello se utilizó un azadón y con cuidado se quitó el suelo que los cubría para evitar dañarlos. La cosecha se realizó a los 124 días después de la siembra.

5.9.13 Toma de datos

La toma de datos se realizó al momento de la cosecha, se contaron cada uno de los tubérculos producidos por planta, se midió el diámetro y el largo de cada tubérculo y se pesó cada uno de los tubérculos producidos. Cada dato obtenido se anotó en la matriz correspondiente (ver anexo 5).

6 Análisis y discusión de resultados

6.1 Clase textural 1: Franco arenoso (Cantón El Centro, Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos)

6.1.1 Número de tubérculos por planta

Finalizada la cosecha se procedió a contar el número de tubérculos por planta, se realizó la transformación de datos por el método de la raíz cuadrada y el análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 1 del anexo), el testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) presentó la mayor media con 12.98 tubérculos por planta, seguido por el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ con 12.96 tubérculos por planta, en tercer lugar el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ con una media de 12.63 tubérculos por planta, le siguió el testigo relativo (8,000 kg.ha⁻¹ de GAG) con una media de 12.48 tubérculos por planta y el tratamiento que mostró la menor media fue el de 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG Con 11.98 tubérculos por planta, habiendo una diferencia de 1 tubérculo entre el tratamiento que mostró la mayor media y el tratamiento que mostró la menor media (figura 1).

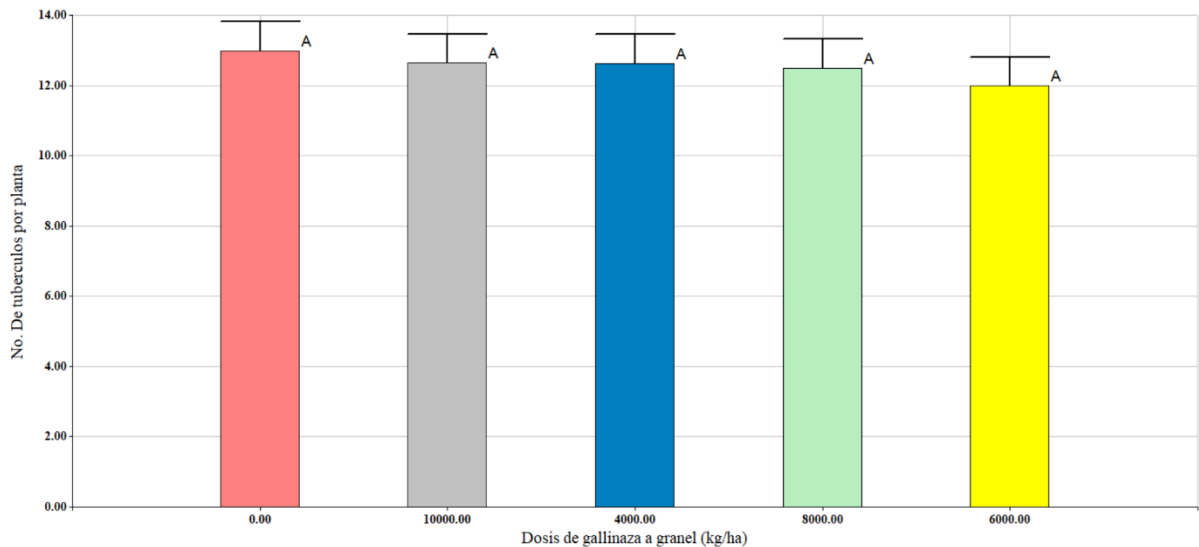


Figura 1 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

De acuerdo a lo anterior se observa que la gallinaza no tuvo un efecto en la cantidad de tubérculos producidos por planta debido a que la función principal de la gallinaza es el porte de nutrientes y no la estimulación de producción de tubérculos.

Chávez (2017) reporta medias de 12, 13 y 15 tubérculos por planta en papa var. Loman en una evaluación de altura de aporque en el municipio de Ixchiguán, San Marcos, lo que indica que la media de tubérculos por planta está alrededor de los 13, lo cual es similar a lo obtenido en esta investigación.

Se observa que la aplicación únicamente de fertilizantes químicos (testigo relativo) hace que la planta de papa muestre su potencial genético sin la necesidad de incorporación de la enmienda de GAG.

6.1.2 Diámetro de tubérculo

Estadísticamente se observó diferencia significativa en cuanto al diámetro de tubérculo (cuadro 2 del anexo), se identificaron dos grupos, el primero conformado por los tratamientos 10,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó una media de 47.31 mm y el tratamiento con 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó una media de 42.45 mm; el segundo grupo en orden descendente estuvo conformado por los tratamientos 6,000, 0 y 4,000 kg.ha⁻¹ obteniendo medias de 38.68, 37.31 y 34.35 mm correspondientemente.

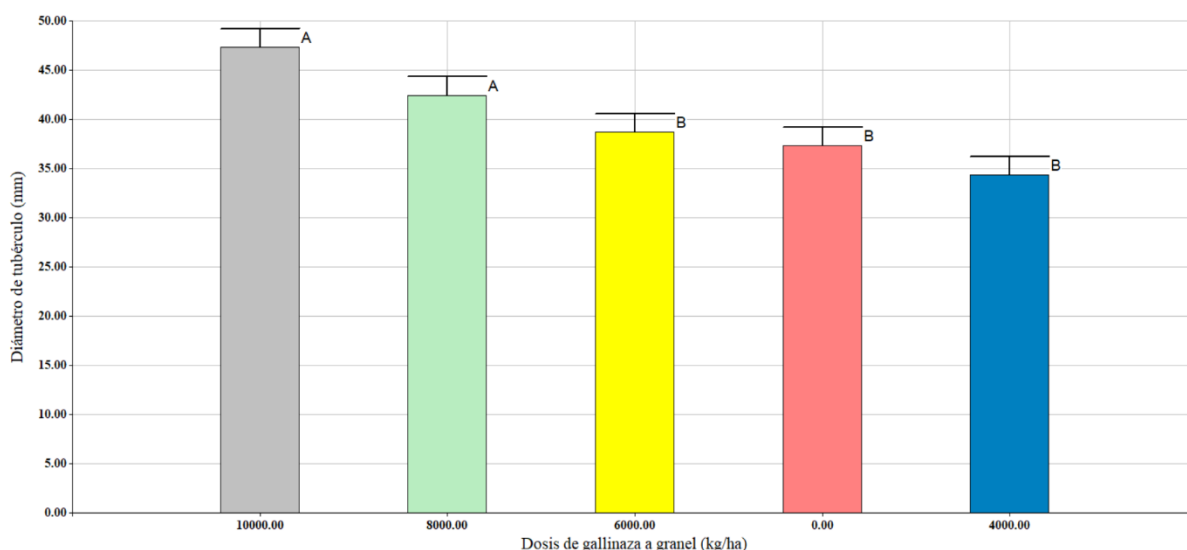


Figura 2 Efecto de gallinaza a granel en el diámetro de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Se observa que la aportación de nutrientes por medio de la GAG tuvo un efecto en el diámetro de tubérculos, incrementándolos con las dosis de 10,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG, indicando que a estas dosis los nutrientes que aporta tienen un efecto positivo en el tamaño de los tubérculos.

Los tratamientos con 6,000 y 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG mostraron tener medias muy cercanas a la del testigo absoluto, señalando que a estas dosis los aportes de nutrientes por parte de la GAG no son significativos.

Chávez (2017) reporta haber obtenido tubérculos con un diámetro de 6 centímetros bajo 3 diferentes niveles de aporte y utilizando únicamente fertilización química.

6.1.3 Largo de tubérculo

Referente al largo de tubérculos, se observó diferencia estadística significativa (cuadro 3 del anexo), obteniéndose dos grupos, el primero conformado únicamente por el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el cual presentó la media mayor con 76.31 mm, los demás tratamientos conformaron el segundo grupo, las medias en orden descendente fueron: 8,000 kg.ha⁻¹ con 69.02 mm, 6,000 kg.ha⁻¹ con 67.07, 0 kg.ha⁻¹ con 66.01 mm y 4,000 kg.ha⁻¹ con 62.17 mm (figura 3).

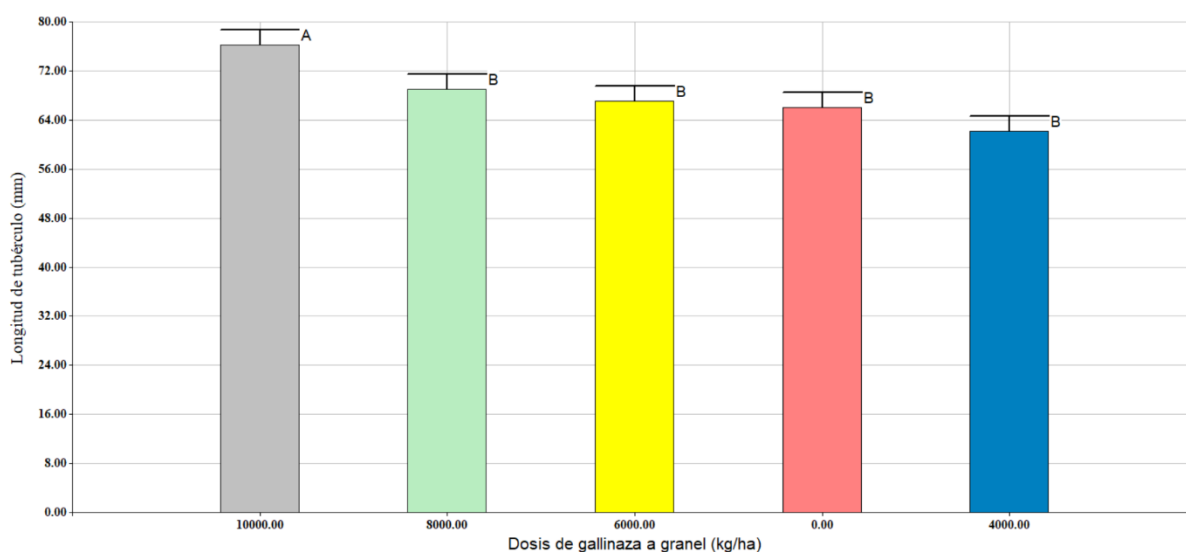


Figura 3 Efecto de gallinaza a granel en el largo de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

La aplicación de 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG superó a todos los demás tratamientos, el aporte extra de nutrientes por parte de la GAG contribuyó al incremento en el largo de los tubérculos de papa contribuyendo al rendimiento final.

El testigo absoluto superó aún al tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ demostrando que no todas las dosis aplicadas de esta enmienda aportarán nutrientes que contribuirán a la nutrición de la planta. Al ser una enmienda poco humificada se hace una fuente rica en nutrientes para satisfacer las necesidades de los microorganismos del suelo y con capacidad para consumir los nutrientes aportados por los fertilizantes (Navarro y Navarro 2003).

Chávez (2017) reporta haber obtenido tubérculos con un largo de 4 centímetros únicamente con fertilización química y evaluando diferentes alturas de aporques; en la presente investigación se obtuvieron medias mayores en todos los tratamientos; con la dosis de 10,000 kg.ha⁻¹ se obtuvo una media que casi duplica a los resultados obtenidos por Chávez.

6.1.4 Rendimiento por calidad en peso de tubérculos

Para realizar el análisis de varianza en esta variable, primero se realizó la transformación de datos por medio del método de raíz cuadrada, luego se realizó al análisis de varianza para cada una de las calidades de tubérculo.

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa para número de tubérculos de primera (cuadro 4 del anexo), sin embargo, la diferencia entre 10,000 kg.ha⁻¹ y 0 kg.ha⁻¹ de GAG fue exactamente la diferencia mínima significativa (PCALT=0.2392).

En cuanto a tubérculos de segunda calidad, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 5 del anexo).

Para tubérculos de tercera calidad, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 6 del anexo).

Cuadro 9 Número de tubérculos por planta de papa var. Loman de acuerdo a su calidad en relación a su peso en un suelo franco arenoso.

Tratamiento (kg.ha ⁻¹ de GAG)	No. De tubérculos de primera calidad	No. De tubérculos de segunda calidad	No. De tubérculos de tercera calidad
0	2.94	6.95	3.1
4000	3.16	4.58	4.88
6000	3.48	5.57	2.94
8000	4.32	5.46	2.71
10000	5.36	5.25	2.02

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

Como se observa en el cuadro 9, la producción de tubérculos de primera fue mayor en todos los tratamientos donde se aplicó GAG, el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo la mayor media mientras que el testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) obtuvo la menor media, la diferencia entre ambos tratamientos fue de 2.94 tubérculos, duplicando así la producción de tubérculos de primera calidad; la diferencia entre el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ y el testigo relativo (8,000 kg.ha⁻¹) fue de 1.04 tubérculos.

El testigo absoluto obtuvo la mayor producción de tubérculos de segunda calidad mientras que los tratamientos donde se utilizó GAG mostraron tener una menor cantidad en cuanto a tubérculos de esta calidad.

Referente a la cantidad de tubérculos de tercera, el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG produjo la mayor cantidad por planta, mientras que el testigo absoluto le siguió en esta categoría, los tratamientos con 6,000, 8,000 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG mostraron tener las menores medias en cuanto a producción de tubérculos de esta calidad.

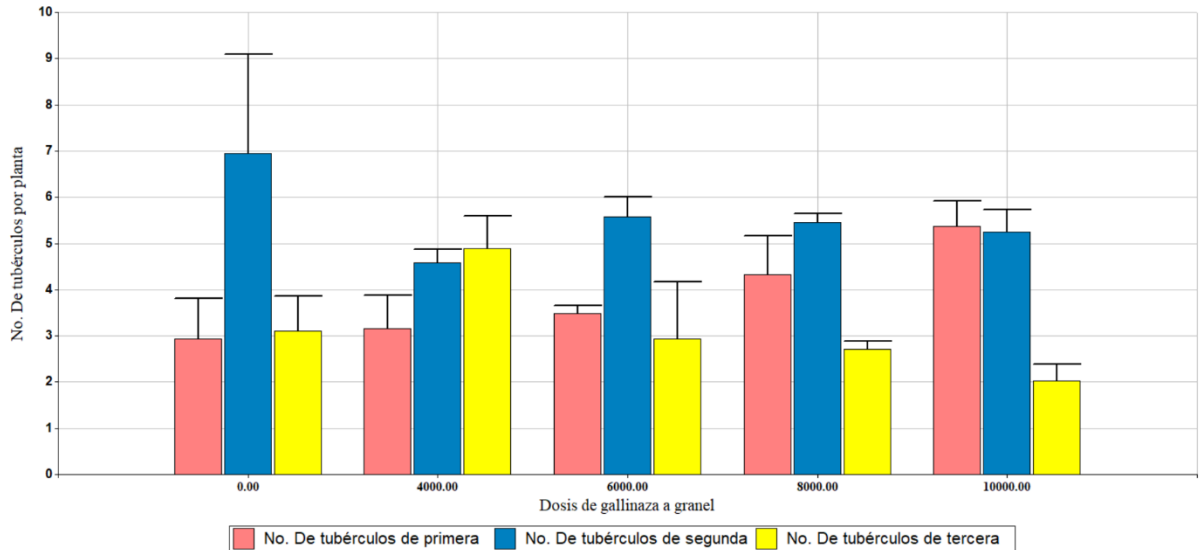


Figura 4 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por calidad en peso de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Como se observa en la figura 4, el testigo relativo (0 kg.ha⁻¹ de GAG) produjo una mayor cantidad de tubérculos de segunda calidad e incluso tuvo una mayor producción de tercera calidad que de primera.

Conforme se va aumentando la cantidad de GAG aplicada, la producción de tubérculos de primera calidad aumenta, sin embargo, es hasta la dosis de 10,000 kg.ha⁻¹ donde se observa que la producción de tubérculos de primera supera en una mínima a la producción de tubérculos de segunda.

También se observa que a menor cantidad de GAG la producción de tubérculos de tercera se incrementa y la producción de tubérculos de segunda y primera calidad disminuye, esto debido a la actividad que realizan los microorganismos para metabolizar la GAG, Navarro y Navarro (2003) indican que si se incorporan grandes cantidades de tejido orgánico fresco y descomponible se origina un cambio rápido, se multiplican los microorganismos desintegradores ya que encuentran de forma fácil, energía y nutrientes asimilables, lo que se ve manifestado en la rápida liberación de energía y el gran desprendimiento de dióxido de carbono. Estas condiciones propician que el nitrógeno desaparezca debido a que los microorganismos lo utilizan para sintetizar sus tejidos. Al cabo de cierto tiempo el nitrógeno desaparece o queda en pequeñas cantidades.

Lo cual refleja el comportamiento del rendimiento a bajas dosis de GAG, siendo entonces capaces los microorganismos de acabar con el nitrógeno propio de la GAG y utilizar el nitrógeno que se incorpora a través de los fertilizantes.

6.1.5 Rendimiento por hectárea

En cuanto al rendimiento por hectárea, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 7 del anexo), sin embargo, los tratamientos 10,000, 6,000 y 8,000 (testigo relativo) kg.ha⁻¹ de GAG superaron al testigo relativo (0 kg.ha⁻¹ de GAG) y este incluso superó al tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG (figura 5).

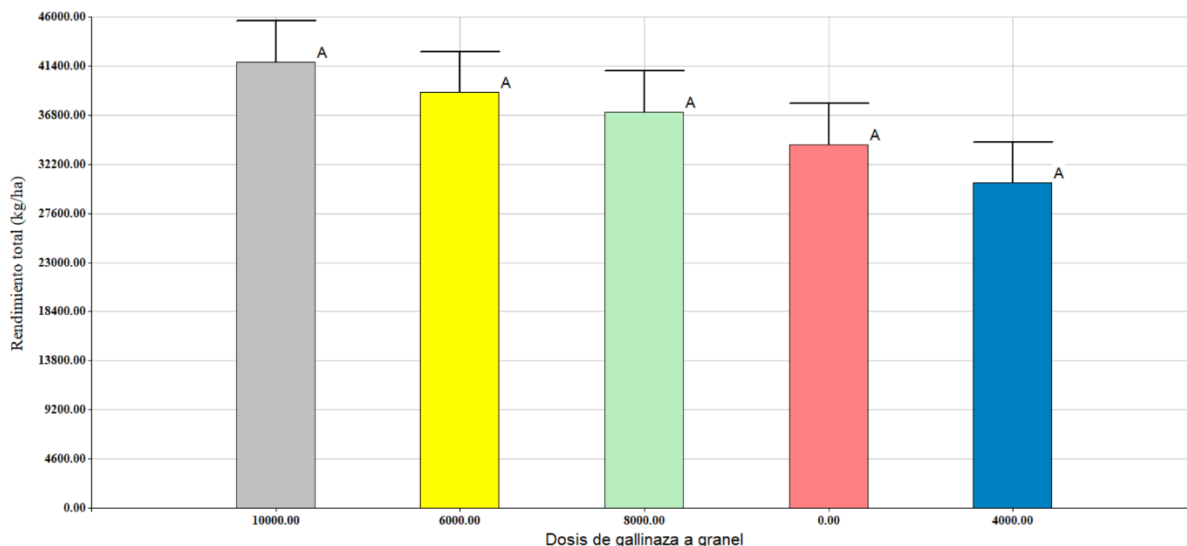


Figura 5 Efecto de gallinaza a granel en el rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

El tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG superó en producción total a todos los demás tratamientos, al testigo absoluto lo superó en 7,754.78 kg y al testigo relativo en 4,695.71 kg, representando incrementos de casi 23% y 13% respectivamente. La mayor diferencia fue de 11,354.35 kg y fue con el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG, significando un incremento de más del 37%. La menor diferencia fue de 2,860.34 kg y fue con el tratamiento donde se aplicaron 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG, representando un incremento de 7%.

El tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG mostró tener una producción mayor en comparación al testigo relativo, superándolo en 1,835.37 kg de producción de papa, al finalizar el análisis económico determinará que tratamiento será el que represente mayores ingresos.

Cuadro 10 Rendimiento por hectárea de acuerdo a calidad por peso de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Tratamiento (kg.ha ⁻¹ de gallinaza a granel)	Rendimiento tubérculos de primera calidad (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento tubérculos de segunda calidad (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento tubérculos de tercera calidad (kg.ha ⁻¹)
0	12,944.98	18,128.04	2,962.09
4,000	13,819.17	11,625.32	4,991.06
6,000	19,546.51	15,756.83	3,626.21
8,000	19,294.47	14,410.19	3,389.51
10,000	24,911.56	13,617.15	3,261.18

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

En el cuadro 10 se observa el rendimiento por hectárea de acuerdo a la calidad de tubérculos, observándose claramente la mayor producción de primera calidad por parte del tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG superó en todas las calidades al testigo absoluto (8,000 kg.ha⁻¹ de GAG).

Mollinedo (2013) reporta rendimientos de hasta 28 toneladas por hectárea de tubérculos de primera calidad en Alta Verapaz utilizando únicamente gallinaza (no indica que tipo de gallinaza) a razón de 7.79 toneladas por hectárea.

Al relacionar la variable pH con el rendimiento obtenido, Stauder (2010) señala que a pH menor de 5.5 se tiene problemas con la nitrificación. Esto explica la razón por lo que el rendimiento a dosis de 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG fue el más bajo,

El testigo relativo mostró mayor rendimiento que el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG pero no presentó problemas con el pH del suelo al momento de la siembra.

6.1.6 Potencial de hidrógeno (pH)

El análisis de varianza mostró diferencia estadística significativa para la variable pH antes de la siembra (pH ADS) (cuadro 8 del anexo), el primer grupo lo conformaron las unidades experimentales donde se aplicarían 10,000, 6,000 y 0 kg.ha⁻¹ de GAG, el segundo grupo lo conformó las unidades donde se aplicarían 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG y el tercer grupo lo conformó las unidades experimentales donde se aplicarían 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG, esto indicó que no se partió de condiciones similares para esta variable. De acuerdo a Stauder (2010), se clasifica como moderadamente ácido (unidades experimentales donde se aplicarían 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG) a ligeramente ácido (todas las demás unidades experimentales).

Finalizada la cosecha de papa, el análisis de varianza para la variable pH después de la cosecha (pH DDC) no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 9 del anexo). De

acuerdo a Stauder (2010) se consideran suelos moderadamente ácidos, pudiendo llegar a tener problemas de toxicidad por altas cantidades de Al, Fe y Mn.

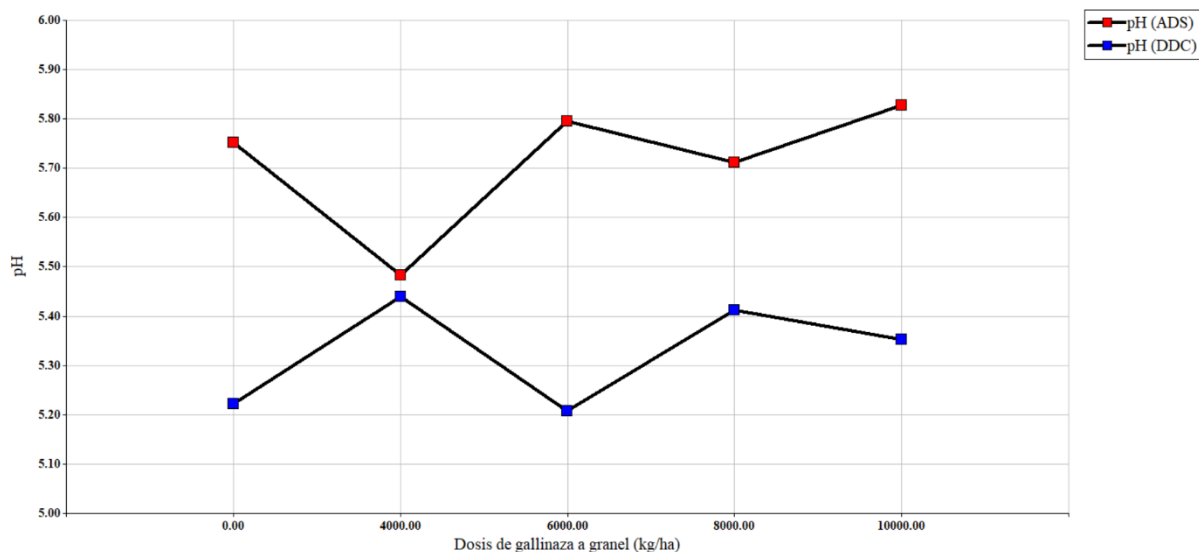


Figura 6 Efecto de gallinaza a granel en el pH después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

En la figura 6 se observa que en todos los tratamientos el pH del suelo descendió después de la cosecha, siendo el menor descenso en el tratamiento donde se aplicaron $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG.

Stauder (2010) señala que a pH menor a 5.5 (caso del tratamiento con $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG) hay una menor actividad bacteriana lo que inhibe el proceso de nitrificación afectando el rendimiento, lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación.

González (2011) en el cultivo de yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) observó descensos de pH con dosis de gallinaza de 25 y 50 toneladas por hectárea.

Girón y López (s.f.) en el cultivo de café (*Coffea arabica*) determinaron el efecto combinado de fertilización química con gallinaza y obtuvieron descensos considerables de pH en las parcelas donde llevaron a cabo la investigación, siendo mayor el descenso donde fertilizaron únicamente con químicos, intermedio con la combinación gallinaza y fertilizantes químicos y menor donde fertilizaron únicamente con gallinaza, cabe destacar que no mencionan el tipo de gallinaza utilizada.

Estos cambios en la acidez del suelo se dan debido a los compuestos ácidos que se originan por la degradación de la materia orgánica por los microorganismos, así como por la segregación de las raíces y la incorporación de fertilizantes nitrogenados como la urea (Navarro y Navarro 2003).

6.1.7 Materia orgánica (M.O.)

El análisis de varianza para la variable materia orgánica antes de la siembra (M.O. ADS) no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 10 del anexo). De acuerdo a los resultados reportados por el laboratorio, las medias referentes a esta variable iban desde 3.18 hasta 3.60%, de acuerdo a Stauder (2010) el contenido de M.O. es adecuado.

Al realizar el análisis de los resultados reportados por el laboratorio para la variable materia orgánica después de la cosecha (M.O. DDC), el análisis de varianza presentó diferencia estadística significativa (cuadro 11 del anexo), siendo el testigo absoluto y el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG los que presentaron los mayores incrementos de M.O.

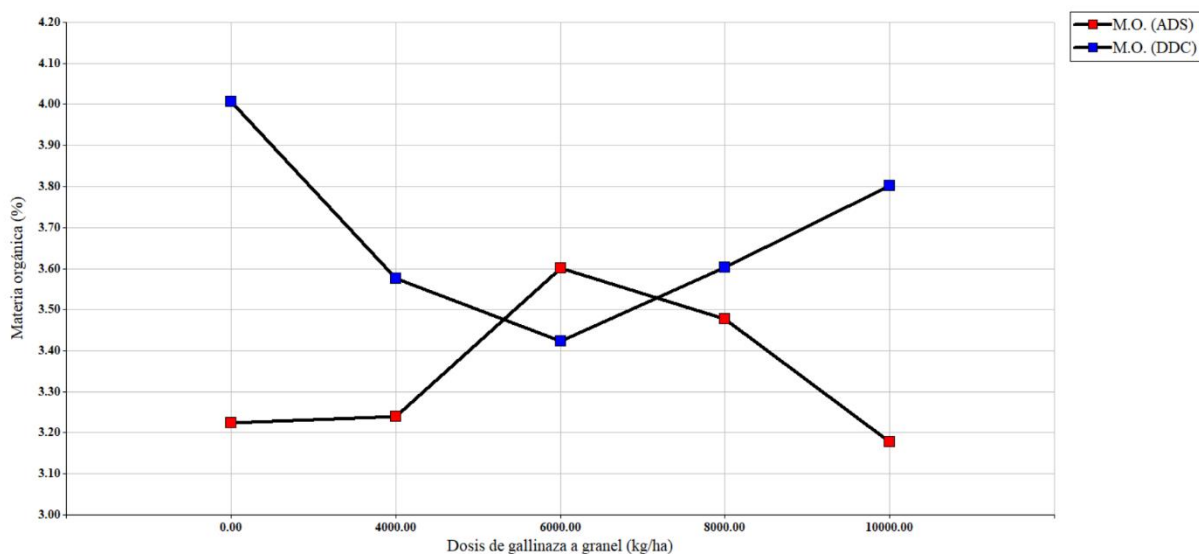


Figura 7 Efecto de gallinaza a granel en el contenido de materia orgánica después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

El testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) presentó el mayor incremento de M.O., seguido por el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG presenta pérdida de M.O. en comparación a la M.O. inicial (figura 7), siendo este el tratamiento que presentó la mayor mineralización.

Sánchez *et al.* (s.f.) observó los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo por adición de enmiendas orgánicas en cultivo de tomate, teniendo como resultado un incremento en la materia orgánica en suelos donde no fue aplicada ninguna enmienda y teniendo descensos del contenido de materia orgánica donde aplicó las enmiendas, lo que concuerda con parte de los resultados obtenidos en esta investigación.

De acuerdo a Navarro y Navarro (2003), la cantidad de materia orgánica aportada es un factor importante debido a que, a mayores cantidades de residuos orgánicos, el tiempo de degradación será mayor y viceversa, lo cual se observó claramente en esta investigación. En relación al testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) el incremento es muy probable que se deba a los restos de las plantas que quedan en los suelos y a la baja actividad microbiana debido al aporte únicamente de fertilizantes químicos.

6.1.8 Conductividad eléctrica (C.E.)

El análisis de varianza no demostró diferencia estadística significativa para la conductividad eléctrica antes de la siembra (C.E. ADS) (cuadro 12 del anexo), estando entre 0.10 y 0.11 decisiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$). De acuerdo a Stauder (2010) el suelo presenta una C.E. adecuada.

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica después de la cosecha (C.E. DDC) tampoco mostró diferencia estadística significativa (cuadro 13 del anexo), obteniendo la mayor media donde se aplicaron $6,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG ($0.48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), la menor media se obtuvo donde se aplicaron $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($0.14 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Todas las unidades experimentales a excepción donde se aplicaron $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG presentaron una C.E. moderada (Stauder 2010).

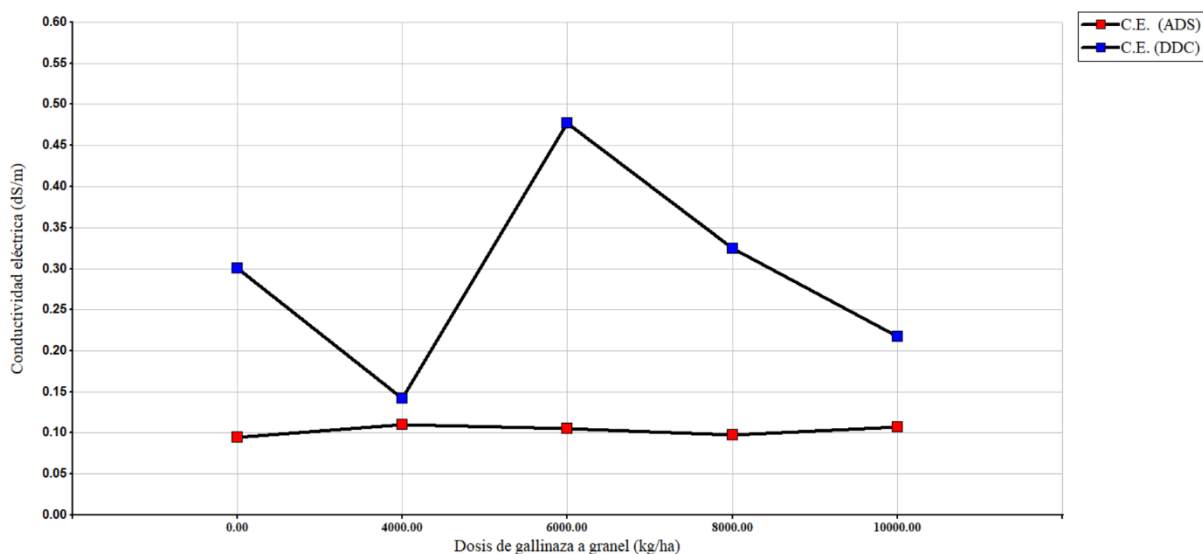


Figura 8 Efecto de gallinaza a granel en la conductividad eléctrica antes de la siembra (C.E. ADS) y después de la cosecha (C.E. DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

La GAG presentó una C.E. de $19.41 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, siendo una alta concentración de sales para una enmienda, Torres *et al.* (2016) citando a Wang *et al.* (2010) y Mamani *et al.* (2011) señala que los abonos luego del compostaje incrementan su C.E., pudiendo llegar a más de $20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, además indica que la incorporación continua de estos podría eventualmente evolucionar a suelos salinos, afectando el desarrollo de las plantas.

De manera general se observa un incremento de la C.E. en todos los tratamientos (figura 8) siendo la combinación de fertilizantes y gallinaza los responsables de estos aumentos.

Navarro y Navarro (2003) indican que a pH menores a 5.5, las bacterias y los actinomicetos reducen notablemente su actividad, Stauder (2010) señala que a pH menor a 5.5 hay una menor actividad bacteriana lo que inhibe el proceso de nitrificación; la actividad microbiana se vio disminuida debido al bajo pH en el tratamiento con $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de GAG lo que hizo que la concentración de sales no aumentara considerablemente, al tener una baja mineralización de la M.O.

Los tratamientos con 8,000 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG se observan descensos de la C.E. en comparación con lo reportado para el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG. Navarro y Navarro (2003) señalan que la cantidad de materia orgánica que se aporta al suelo determina cuanto tiempo tardará en degradarse, a mayores cantidades de M.O. mayor tiempo tardará en degradarse y por lo tanto mayores serán los nutrientes requeridos y utilizados por los microorganismos para su metabolismo y descomposición de la M.O.

6.1.9 Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe)

El análisis de varianza para la variable capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra (CICe ADS) si mostró diferencia estadística significativa (cuadro 14 del anexo), lo cual indica diferencias en cuanto al suelo donde se trabajó la investigación. De acuerdo a Stauder (2010) la CICe del suelo es adecuada.

El análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico efectiva después de la cosecha (CICe DDC) no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 15 del anexo). De acuerdo a Stauder (2010) la CICe es adecuada.

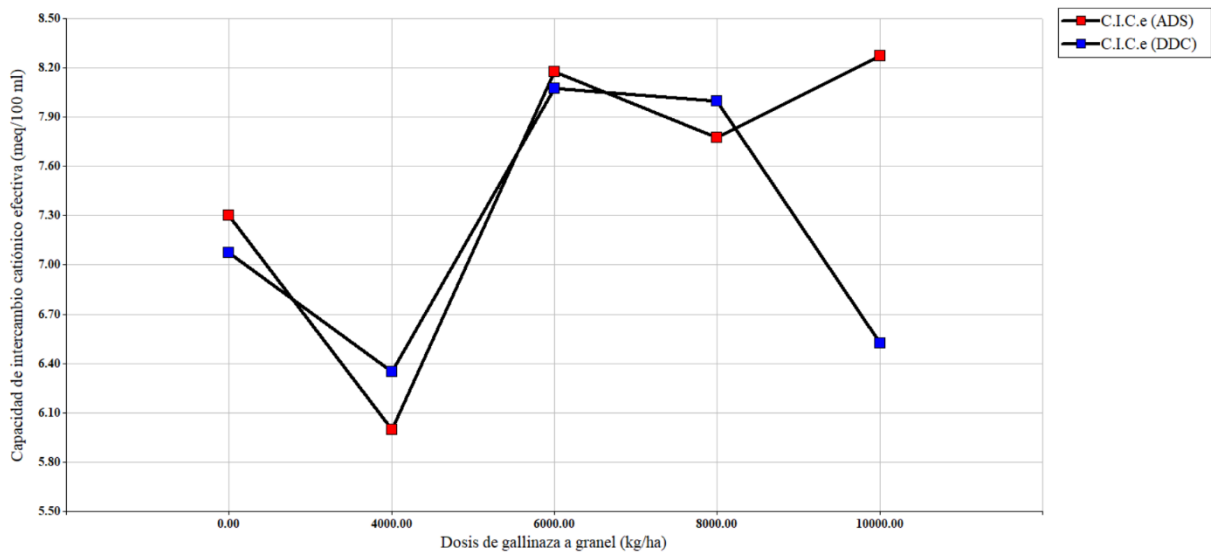


Figura 9 Efecto de gallinaza a granel en la capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra (CICe ADS) y después de la cosecha (CICe DDC) en un suelo franco arenoso.

De acuerdo a la figura 9, la CICe antes de la siembra y después de la cosecha fue muy similar, teniendo disminución en el testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) y los tratamiento con 6,000 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, este último fue el que presentó la mayor disminución. Los tratamientos donde se aplicaron 4,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvieron un ligero incremento.

Al ser muy similares los resultados en esta propiedad para antes de la siembra y después de la cosecha, se considera que se restituyeron los iones utilizados tanto por la planta como por los microorganismos con los fertilizantes y la gallinaza utilizada.

La disminución de la CICE en el tratamiento donde se aplicaron 10,000 kg ha^{-1} de GAG se debe a lo indicado por Navarro y Navarro (2003), ellos señalan que cuando se aplica algún material degradable, los microorganismos inician con la degradación y continúan hasta terminarlos, parte de los nutrientes son absorbido por la planta, otra parte es utilizada por los microorganismos y otra parte queda retenida en el suelo, esto sugiere que los microorganismos continuaron trabajando durante todo el ciclo del cultivo e incluso posiblemente después de la cosecha de papa.

Barahona y Villareal (2015), obtuvieron una ligera disminución en la CIC utilizando 20 t. ha^{-1} de gallinaza en comparación al testigo, con 40 y 60 t. ha^{-1} de gallinaza lograron incrementar la CIC en 3.3 y 2.2 cmol. kg^{-1} más que el testigo. Sin embargo, las dosis de gallinaza fueron el doble, cuádruple y séxtuple en comparación a la presente investigación.

6.1.10 Microbiología

El anexo 4 muestra los resultados microbiológicos de la GAG; referente a los parámetros analizados, la gallinaza no representa riesgo como contaminante microbiológico para los microorganismos de los géneros *Shigella* sp y *Salmonella* sp; respecto a *Escherichia coli* y coliformes totales el análisis reporta una cantidad menor a 10 unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) el cual es el límite de detección del laboratorio, estos resultados no descartan la presencia o ausencia de *E coli* y coliformes en la GAG.

El cuadro 11 presenta los resultados microbiológicos obtenidos antes de la siembra (ADS) y después de la cosecha (DDC) de papa, los microorganismos analizados fueron coliformes totales, *Escherichia coli*, *Shigella* sp y *Salmonella* sp.

Cuadro 11. Resultados de análisis microbiológicos antes de la siembra (ADS) y después de la cosecha (DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Tratamientos (kg. ha^{-1} de gallinaza a granel)	Parámetros							
	Coliformes totales (UFC/g)		<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)		<i>Shigella</i> sp (Ausente/Presente)		<i>Salmonella</i> sp (Ausente/Presente)	
	ADS	DDC	ADS	DDC	ADS	DDC	ADS	DDC
0	350	30	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
4000	20	< 10	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
6000	< 10	10	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
8000	130	< 10	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
10000	20	80	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

Se observa presencia de coliformes en todas las parcelas donde se establecieron los diferentes tratamientos antes de la siembra, después de la cosecha se observa descensos en las parcelas donde no se aplicó GAG (testigo absoluto), donde se aplicaron 4,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG. En las parcelas donde se aplicaron 6,000 kg.ha⁻¹ y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG se observaron incrementos de coliformes; debido a la naturaleza de la investigación no es posible determinar si la presencia de coliformes es por excretas de personas o animales porque muchos coliformes se encuentran comúnmente en el medioambiente (por ejemplo, en el suelo y las plantas) (División de Salud pública de Carolina del Norte 2009).

Los resultados de laboratorio para antes de la siembra y después de la cosecha no reportan variación para *E coli*, lo cual indica que la GAG no favorece el incremento de dicho microorganismo, aunque los resultados no hayan mostrado incrementos en las UFC de este microorganismo se debe de tener en cuenta que el límite de detección del laboratorio es de < 10 UFC/g por lo que no se puede descartar la presencia de este, aunque sea mínima.

Shigella sp y *Salmonella* sp no fueron hallados ni antes de la siembra ni después de la cosecha de papa, indicando que la GAG es apta como enmienda y no representa un riesgo para las personas que consuman papa proveniente de suelos enmendados con GAG.

Como referencia, Guatemala no cuenta con reglamento que indique límites máximos permisibles de las especies analizadas en esta investigación para suelos agrícolas, únicamente se tienen como referencia el acuerdo Gubernativa 236-2006 (2006), referente a las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual solicita que el agua de reuso para cultivos comestibles presente una cantidad menor a $2 \cdot 10^2$ número más probable por 100 mililitros (NMP/100 ml) de coliformes fecales y el reglamento técnico Centroamericano de alimentos señala un límite máximo permitido de *E. coli* de 10^2 UFC/g y *Salmonella* sp debe de estar ausente para frutas y hortalizas frescas (Reglamento técnico Centroamericano s.f.).

6.1.11 Rentabilidad

El cuadro 12 muestra los costos e ingresos totales de la producción de papa bajo los diferentes tratamientos con GAG en un suelo franco arenoso.

Cuadro 12. Costos de producción y tasa de retorno sobre la inversión inicial de producción de papa var Loman en un suelo franco arenoso.

COSTOS POR Ha		0 kg.ha ⁻¹	4000 kg.ha ⁻¹	6,000 kg.ha ⁻¹	8,000 kg.ha ⁻¹	10,000 kg.ha ⁻¹
INSUMOS	Semilla	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44
	Agroquímicos	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96
	Fertilizantes	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56
MANO DE OBRA	Preparación del suelo	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35
	Siembra	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59
	Fertilización	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44
	pique y aporcado	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35
	Defoliación	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44
	Cosecha	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70
Tratamiento	Gallinaza a Granel	Q0.00	Q2,469.14	Q3,703.70	Q4,938.27	Q6,172.84
COSTO TOTAL		Q124,201.85	Q126,670.99	Q127,905.55	Q129,140.12	Q130,374.69
costo por 436.81 m ² (1 cuerda)		Q5,425.26	Q5,533.12	Q5,587.04	Q5,640.97	Q5,694.90
INGRESOS POR Ha		0 kg.ha ⁻¹	4000 kg.ha ⁻¹	6,000 kg.ha ⁻¹	8,000 kg.ha ⁻¹	10,000 kg.ha ⁻¹
Rendimiento kg.ha ⁻¹						
	primera	12,944.98	13,819.17	19,546.51	19,294.47	24,911.56
	segunda	18,128.04	11,625.32	15,756.83	14,410.19	13,617.15
	tercera	2,962.09	4,991.06	3,626.21	3,389.51	3,261.18
Precio por 45.36 kg						
	primera	Q210.00	Q210.00	Q210.00	Q210.00	Q210.00
	segunda	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00
	tercera	Q50.00	Q50.00	Q50.00	Q50.00	Q50.00
Ingreso por calidad						
	primera	Q59,930.46	Q63,977.64	Q90,493.10	Q89,326.25	Q115,331.30
	segunda	Q59,947.22	Q38,443.52	Q52,105.92	Q47,652.74	Q45,030.26
	tercera	Q3,265.09	Q5,501.61	Q3,997.15	Q3,736.23	Q3,594.78
Ingreso total		Q123,142.78	Q107,922.77	Q146,596.17	Q140,715.23	Q163,956.33
Ganancia neta		(Q1,059.08)	(Q18,748.23)	Q18,690.61	Q11,575.11	Q33,581.64
Ganancia neta por 436.81 m ² (1 cuerda)		-Q46.26	-Q818.94	Q816.42	Q505.61	Q1,466.88
Análisis económico						
Relación Beneficio / costo		0.99	0.85	1.15	1.09	1.26
Tasa de retorno sobre la inversión inicial		99.15	85.20	114.61	108.96	125.76

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

Tres de los cinco tratamientos tuvieron una tasa de retorno sobre la inversión inicial mayor a cien lo cual indica que con ellos se obtuvieron ganancias, mientras que dos de los tratamientos mostraron tasas menores a cien lo que indica que se obtuvieron pérdidas con ellas.

El tratamiento que mostró la mayor tasa de retorno sobre la inversión inicial fue donde se aplicaron 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, teniendo de esta manera un ingreso de Q125.76 por cada Q100.00 invertidos, el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ mostró la segunda mejor tasa de retorno con 114.61 y el testigo relativo (8,000 kg.ha⁻¹ de GAG) obtuvo una tasa de retorno de 108.96.

El testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) mostró una tasa de retorno de 99.15 muy cercana al 100, el cual indicaría que no hubo pérdida ni ganancia. El tratamiento que mostró la peor tasa de retorno fue el de 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 85.2.

El análisis de rentabilidad nos indica que para tener ganancia se debe de aplicar cantidades mayores a 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG para un suelo franco arenoso.

6.2 Clase textural 2: Franco arcillo arenoso (Cantón Canoj, Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos)

6.2.1 Número de tubérculos por planta

Realizada la cosecha, se determinó la cantidad de tubérculos por planta producidos en cada tratamiento, los datos obtenidos fueron transformados por el método de la raíz cuadrada y posteriormente se realizó el análisis de varianza, el cual no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 16 del anexo). El tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo una media de 12.04 tubérculos por planta, le siguió el tratamiento con 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 10.72 tubérculos por planta, el tercer mejor tratamiento fue con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG produciendo 10.55 tubérculos por planta, el tratamiento donde no se aplicó GAG (testigo absoluto) tuvo una media de 9.92 tubérculos por planta y en último lugar el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG teniendo una media de 9.88 tubérculos por planta (figura 10). La diferencia entre el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG fue de 2.16 tubérculos.

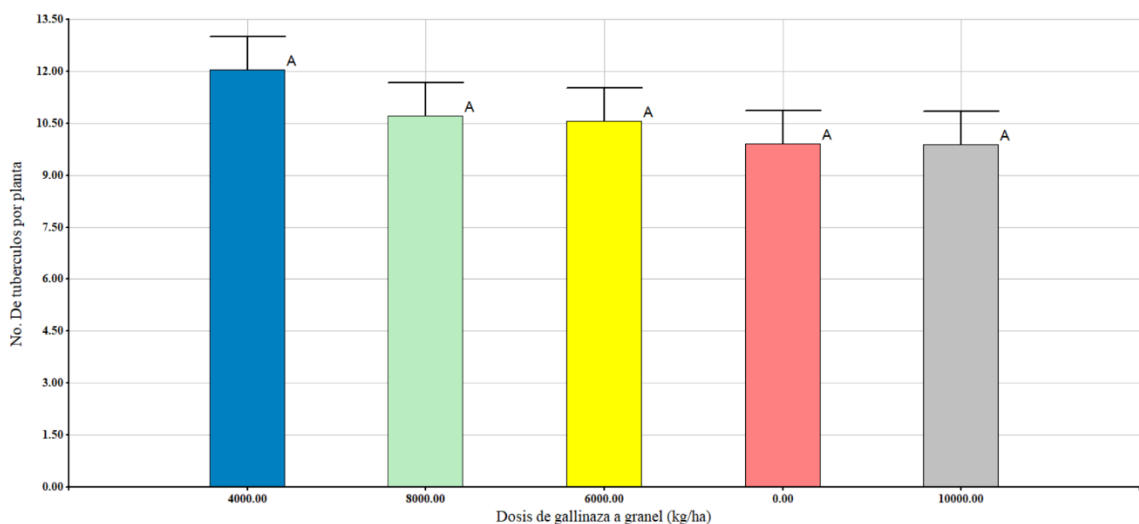


Figura 10 Efecto de gallinaza a granel en el número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Lo observado en esta clase textural indica que no hay un efecto por parte de la GAG sobre la producción de tubérculos por planta, el único tratamiento que superó la media de 12 tubérculos por planta fue donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹, el resto de los tratamientos no superaron la media de 11.

Al comparar los resultados de ambas clases texturales de suelo, se observa un contraste total, en el suelo franco arenoso los tratamientos con 0 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG mostraron las medias mayores sobre producción de tubérculos, mientras que en este fueron los que presentaron las menores medias.

De acuerdo a Chávez (2017) en su investigación obtuvo planta de papa var. Loman tiene una producción media de tubérculos por planta de trece, pero no indica la textura del suelo donde realizó la investigación.

La Red de especialistas en agricultura (2017) señala que los cultivos como jícama (*Pachyrhizus erosus*) y papa tienden a presentar deformaciones en suelos con alto contenido de arcilla, además los suelos con textura fina como los arcillosos tienden a evitar un desarrollo considerable de la raíz, con lo cual la planta explora una menor área del suelo, teniendo efectos negativos en la producción de tubérculos.

6.2.2 Diámetro de tubérculo

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística en cuanto al diámetro de tubérculos (cuadro 17 del anexo), el tratamiento donde se aplicaron 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó la mayor media con 39.47 mm, seguida por el testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) con 38.90 mm, en tercer lugar fue el tratamiento donde se aplicaron 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG teniendo una media de 38.58 mm, el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo una media de 38.54 mm, en último lugar quedó el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG con una media de 37.44 mm (figura 11), la diferencia entre la mayor y menor media fue de 2.03 mm.

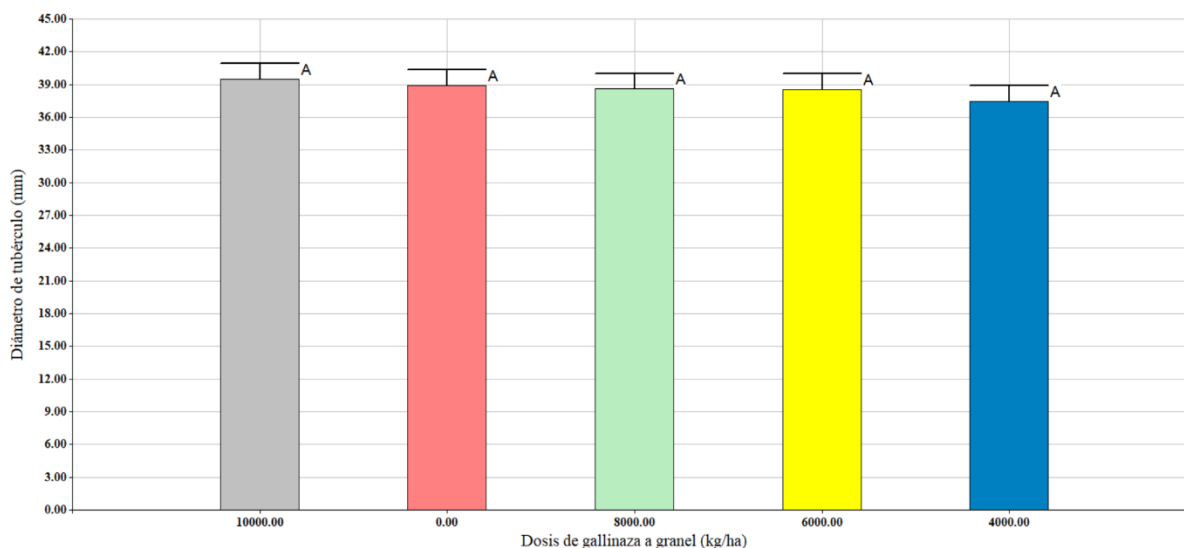


Figura 11 Efecto de gallinaza a granel en el diámetro de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Se observa que la enmienda a diferentes dosis no tuvo un efecto sobre el diámetro de los tubérculos, todas las medias fueron muy similares.

En ambas clases texturales las mayores medias referentes al diámetro de tubérculos fueron donde se aplicaron 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG y las menores medias fueron obtenidas con el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG, se observa también que en esta textura de suelo se presentaron los tubérculos de menor tamaño en comparación a los obtenidos en el suelo franco arenoso.

INTAGRI (2017), indica que la papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque recomienda sembrar en suelos que ofrezcan poca resistencia al crecimiento de los tubérculos, por lo que suelos arcillosos pueden influir en el crecimiento de ellos.

6.2.3 Largo de tubérculo

El análisis de varianza para la variable largo de tubérculo no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 18 del anexo), el mejor tratamiento fue donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 73.10 mm, en orden descendente siguieron los tratamientos 10,000, 0, 6,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 71.55, 71.47, 71.16 y 69.38 mm respectivamente (figura 12). La diferencia entre la mayor y menor media fue de 3.72 mm.

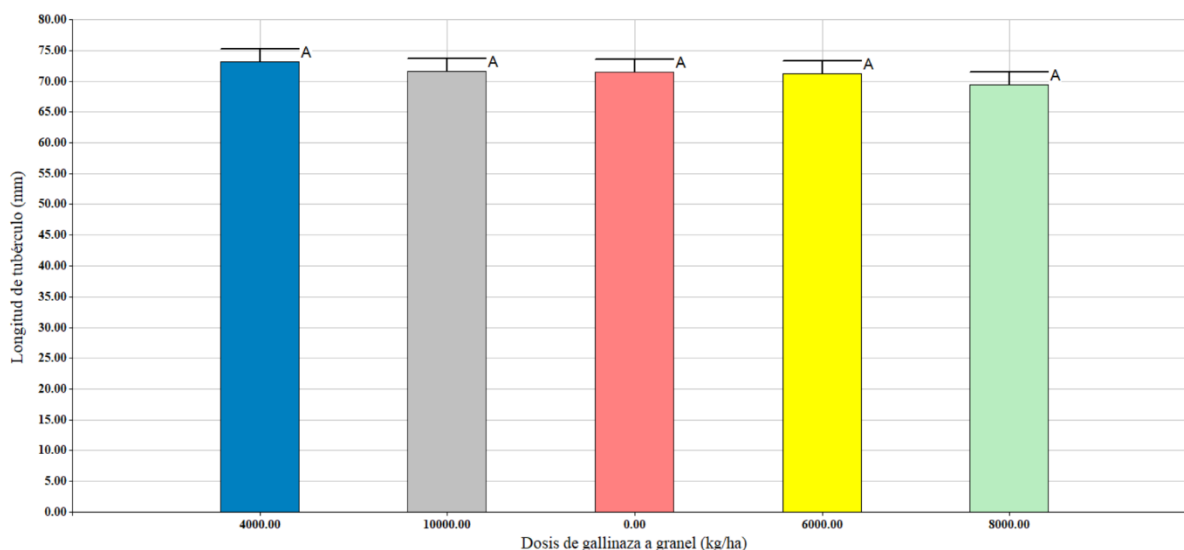


Figura 12 Efecto de gallinaza a granel en el largo de tubérculos de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

En esta clase textural la longitud de tubérculo no varió tanto entre los diferentes tratamientos como en la localidad con suelo de textura franco arenosa, donde la diferencia entre la mayor y la menor media fue de 14.14 mm.

El tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo la mayor media en comparación con la otra clase textural donde presentó la menor media, aun así no superó la mejor media de la clase textural franco arenosa, de esta manera se observa la importancia que tiene la textura del suelo en el crecimiento de los tubérculos.

Todos los tratamientos superaron los resultados obtenidos por Chávez (2,017) la cual obtuvo tubérculos con una longitud de 4 centímetros.

6.2.4 Rendimiento por calidad en peso de tubérculos

Transformados los datos por el método de la raíz cuadrada para cada una de las variables referentes a las calidades en peso de tubérculos de papa, se realizó el análisis de varianza para cada una de ellas.

El análisis de varianza para número de tubérculos de primera si mostró diferencia significativa (cuadro 19 del anexo), siendo el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG el que superó a todos los demás.

Para la variable número de tubérculos de segunda no se observó diferencia estadística significativa (cuadro 20 del anexo).

La variable número de tubérculos de tercera no mostró tener diferencia estadística significativa (cuadro 21 del anexo).

Cuadro 13 Número de tubérculos por planta de papa var. Loman de acuerdo a su calidad en relación a su peso en un suelo franco arcillo arenoso.

Tratamiento (kg.ha ⁻¹ de GAG)	No. De tubérculos de primera calidad	No. De tubérculos de segunda calidad	No. De tubérculos de tercera calidad
0	3.49	4.10	2.32
4000	5.67	4.57	1.80
6000	4.22	4.17	2.17
8000	3.79	4.29	2.64
10000	3.76	3.79	2.32

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

El cuadro 13 muestra la media para número de tubérculos por planta de acuerdo a su calidad. Referente a tubérculos de primera se observa que todos los tratamientos donde se aplicó GAG superaron al testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG), el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG superó en más de 2 tubérculos de primera calidad al testigo absoluto, incluso superó al mejor tratamiento del suelo franco arenoso.

En cuanto a tubérculos de segunda, la media más alta la obtuvo el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el único tratamiento que no superó la media de 4 tubérculos por planta de segunda calidad fue donde se aplicaron 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

El tratamiento donde se aplicaron 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG (testigo relativo) obtuvo la media más alta mientras que el tratamiento donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó la menor media en cuanto a tubérculos de tercera calidad.

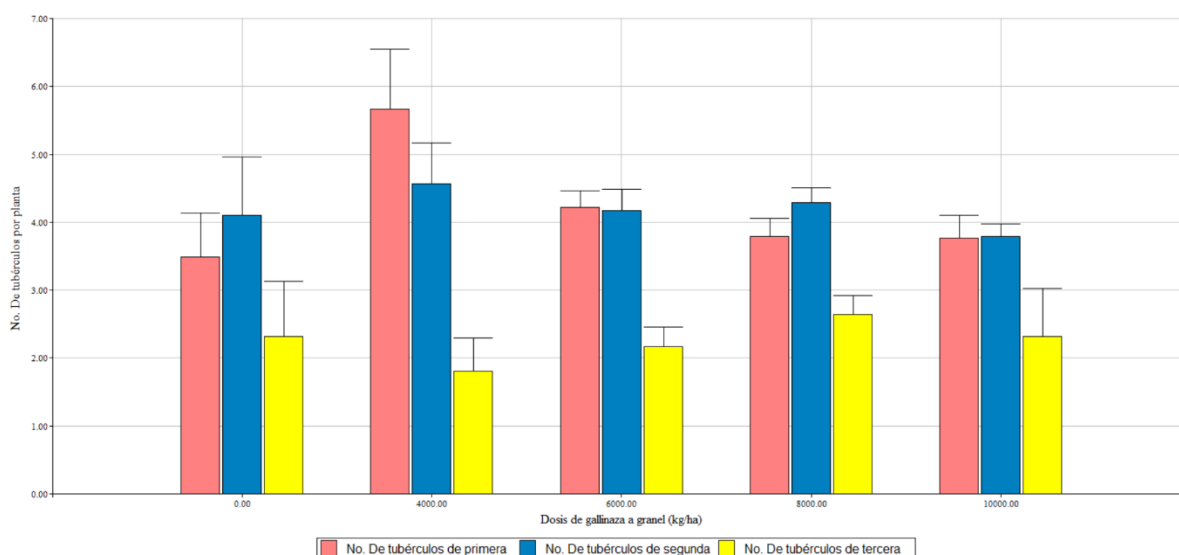


Figura 13 Efecto de gallinaza a gravel en el número de tubérculos por calidad en peso de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

En la figura 13 se observa que a medida que se incrementa la cantidad de GAG, la cantidad de tubérculos de primera y segunda calidad disminuyen y la cantidad de tubérculos de tercera aumentan.

El único tratamiento que muestra el patrón deseable en cuanto a la producción de tubérculos por es el de 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG, pues siempre se busca que la producción de tubérculos de primera sea mayor y que la producción de tubérculos de tercera sea la menor posible.

El comportamiento en ambas clases texturales de suelo referente a la calidad de tubérculos producidos fue diferente, lo cual indica que, para diferentes texturas de suelo se debe realizar un manejo diferente de tal manera que se pueda obtener los mejores rendimientos.

6.2.5 Rendimiento por hectárea

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística en cuanto a rendimiento por hectárea (cuadro 22 del anexo), sin embargo, todos los tratamientos donde se aplicó GAG superaron en rendimiento al testigo absoluto.

El tratamiento que mejor rendimiento presentó fue el testigo relativo (8,000 kg.ha⁻¹ de GAG) con 36,675.80 kg.ha⁻¹ de papa, seguido por el tratamiento donde se aplicaron 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 34,858.37 kg.ha⁻¹ de papa, en orden descendente continuaron los tratamientos con 6,000 y 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG con un rendimiento de 34,235.08 y 34,120.70 kg.ha⁻¹ respectivamente, el peor tratamiento fue donde no se aplicó GAG que llegó a tener un rendimiento de 24,909.81 kg.ha⁻¹. La diferencia entre la media mayor y menor fue de 11,766 kg (figura 14).

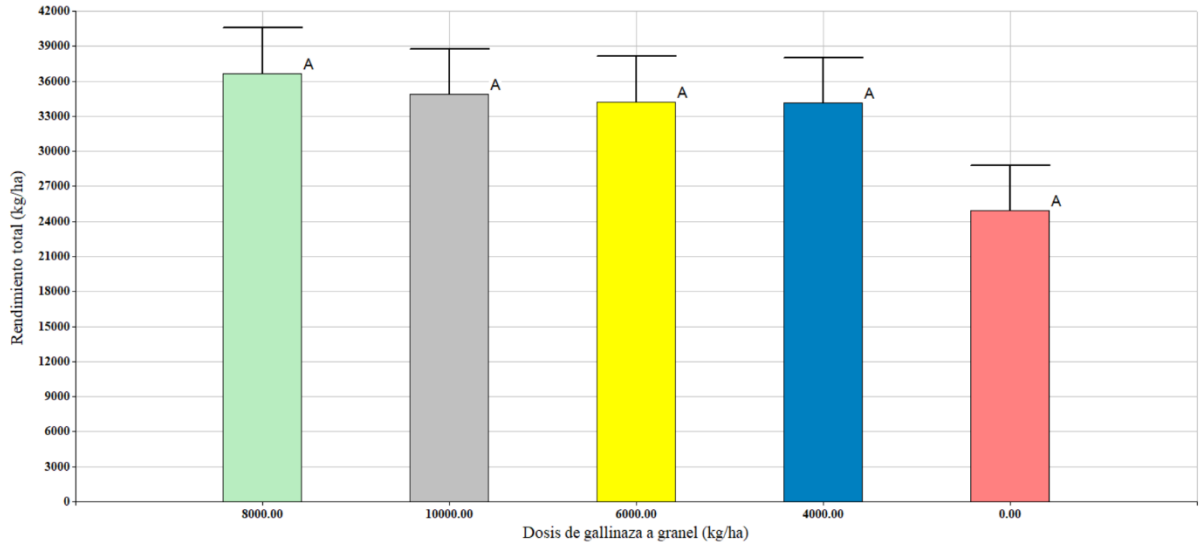


Figura 14 Efecto de gallinaza a granel en el rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Los rendimientos donde se realizaron aplicaciones de GAG fueron superiores en comparación al tratamiento donde únicamente se realizó la fertilización química, representando un valioso aporte de nutrientes por parte de la GAG, los rendimientos en los diferentes tratamientos donde se aplicó GAG fueron muy similares, esto indica que la gallinaza no fue mineralizada en su totalidad.

Cuadro 14 Rendimiento por hectárea de acuerdo a calidad por peso de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Tratamiento (kg.ha ⁻¹ de gallinaza a granel)	Rendimiento tubérculos de primera calidad (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento tubérculos de segunda calidad (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento tubérculos de tercera calidad (kg.ha ⁻¹)
0	14,552.96	9,000.24	1,356.61
4,000	23,092.77	9,737.75	1,290.17
6,000	22,071.28	10,253.23	1,910.57
8,000	22,027.37	12,024.87	2,623.55
10,000	20,985.69	10,909.98	2,962.71

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

El cuadro 14 muestra los rendimientos de acuerdo a la calidad de tubérculo por hectárea, el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo la mayor media en cuanto a rendimiento de tubérculos de primera, se observa que a medida que aumenta la dosis de GAG los rendimientos de primera disminuyen.

En cuanto a rendimiento de tubérculos de segunda el tratamiento con 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG mostró tener la mayor media seguidos por los tratamientos con 10,000 y 6000 kg.ha⁻¹ de GAG, la peor media en esta calidad fue donde no se aplicó gallinaza.

Referente al rendimiento de tubérculos de tercera, el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG tuvo la mayor media, seguida por los tratamientos con 8,000, 6,000 y 0 kg.ha⁻¹ de GAG, la menor media la obtuvo el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

Al comparar los rendimientos entre ambas texturas de suelos fueron diferentes, siendo de manera general mayores en el suelo franco arenoso que en el franco arcillo arenoso. Los rendimientos en el suelo franco arcillo arenoso fueron muy similares entre los tratamientos donde se aplicó GAG no variando demasiado entre sí.

6.2.6 Potencial de hidrógeno (pH)

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa para la variable pH antes de la siembra (pH ADS) en el suelo franco arcillo arenoso (cuadro 23 del anexo), de acuerdo a la clasificación propuesta por Stauder (2010), el suelo se considera como neutro y adecuado para la mayoría de cultivos.

Finalizada la cosecha de papa, el análisis de varianza muestra diferencia significativa entre el tratamiento de 4,000 kg.ha⁻¹ y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG (cuadro 24 del anexo), más no con los demás tratamientos.

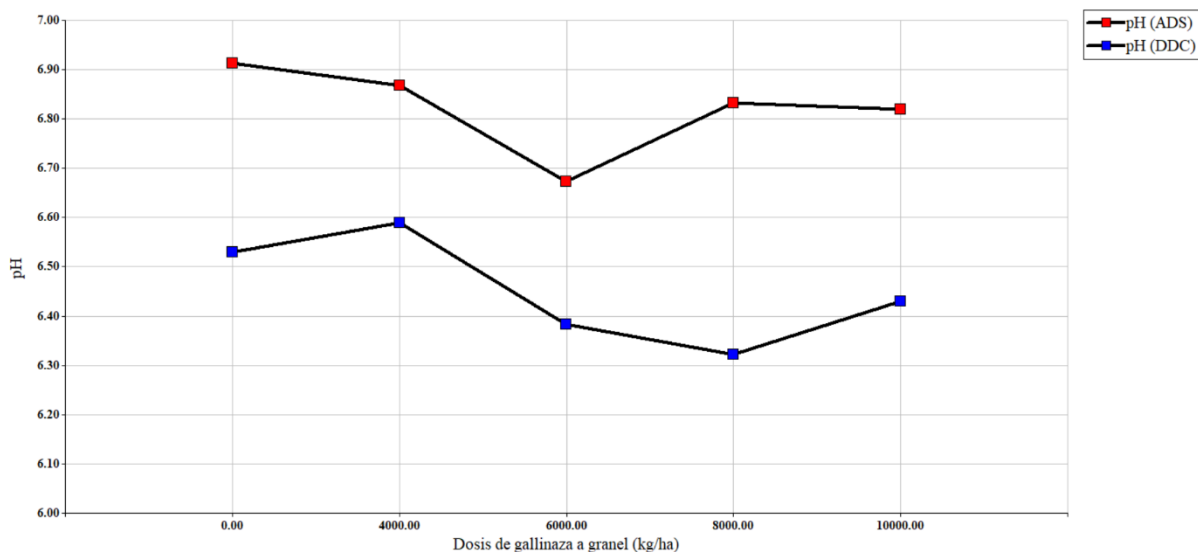


Figura 15 Efecto de gallinaza a granal en el pH antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

La figura 15 muestra que el pH después de la cosecha de papa descendió en todos los tratamientos al igual que en el suelo franco arenoso, sin embargo, de acuerdo a Stauder (2010) aún se encuentra en el rango de neutro.

El descenso de pH fue mayor en 2 de los 4 tratamientos donde se aplicó GAG respecto al testigo absoluto (0 kg.ha⁻¹ de GAG) siendo las dosis de 8,000 y 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG, los tratamientos donde se observó el menor descenso fueron con los tratamientos de 4,000 y 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG, el testigo absoluto se encontró en el punto medio.

De modo general el pH descendió más en el suelo franco arenoso, Lacasta *et al.* (2006) señala que la alta aireación en los suelos arenosos permite una mayor actividad sobre los restos orgánicos del suelo por parte de los microorganismos en comparación a un suelo donde la aireación es escasa como en los suelos arcillosos.

6.2.7 Materia orgánica (M.O.)

Respecto a la materia orgánica antes de la siembra (M.O. ADS), el análisis de varianza mostró diferencia significativa entre las unidades experimentales donde se aplicarían las dosis de 6,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG (cuadro 25 del anexo), de acuerdo a Stauder (2010) el contenido de materia orgánica para el suelo franco arcillo arenoso antes de siembra es considerado adecuado, teniendo niveles bajos únicamente en las parcelas donde se aplicarían las dosis de 10,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

Finalizada la cosecha de papa el análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa para la variable materia orgánica después de la cosecha (M.O. DDC), (cuadro 26 del anexo), todas las parcelas superaron el 2% de materia orgánica que se considera como adecuado (Stauder, 2010).

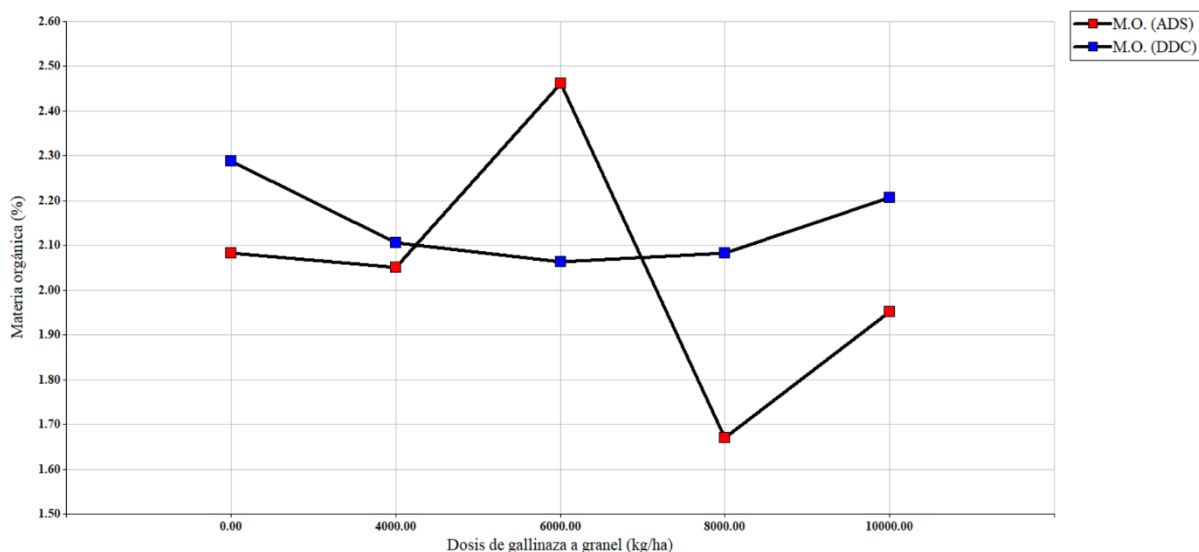


Figura 16 Efecto de gallinaza a granel en el contenido de materia orgánica antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

La figura 16 muestra incrementos M.O. en cuatro de los cinco tratamientos incluido el tratamiento donde no se aplicó GAG (testigo absoluto), solamente se observa disminución en el tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

La curva observada para la variable M.O. DDC es similar a la obtenida en el suelo franco arenoso, sin embargo, los valores alcanzados para esta propiedad en este suelo no son similares a los del suelo franco arenoso.

Lacasta *et al.* (2006) señalan que la mayor aireación en los suelos como en el franco arenoso permitirá una mayor mineralización de la materia orgánica y por lo tanto mejorará el reciclado de nutrientes. También indica que los suelos arcillosos poseen una mayor cantidad de biomasa microbiana que hace que consuman buena parte de los minerales para su metabolismo y los suelos franco-arenosos, al tener una mayor aireación ponen a disposición de los cultivos mayor cantidad de nitrógeno mineral, por la mineralización de la materia orgánica.

6.2.8 Conductividad eléctrica (C.E.)

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica antes de la siembra (C.E. ADS) en el suelo franco arenoso no reporta diferencia significativa estadística (cuadro 27 del anexo), de acuerdo a Stauder (2010) la conductividad eléctrica en todas las parcelas se considera adecuada.

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa para la conductividad eléctrica después de la cosecha (C.E. DDC) (cuadro 28 del anexo); en todos los tratamientos se observó incremento en la C.E., el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG reporta el mayor incremento con 0.56 dS.m⁻¹, considerado como un valor alto (Stauder, 2010), el tratamiento que reporta el menor incremento en esta propiedad es donde se aplicaron 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG con 0.27 dS.m⁻¹(figura 17), los valores de C.E. de los tratamientos 0, 4,000, 6,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG se consideran como moderados (Stauder 2010).

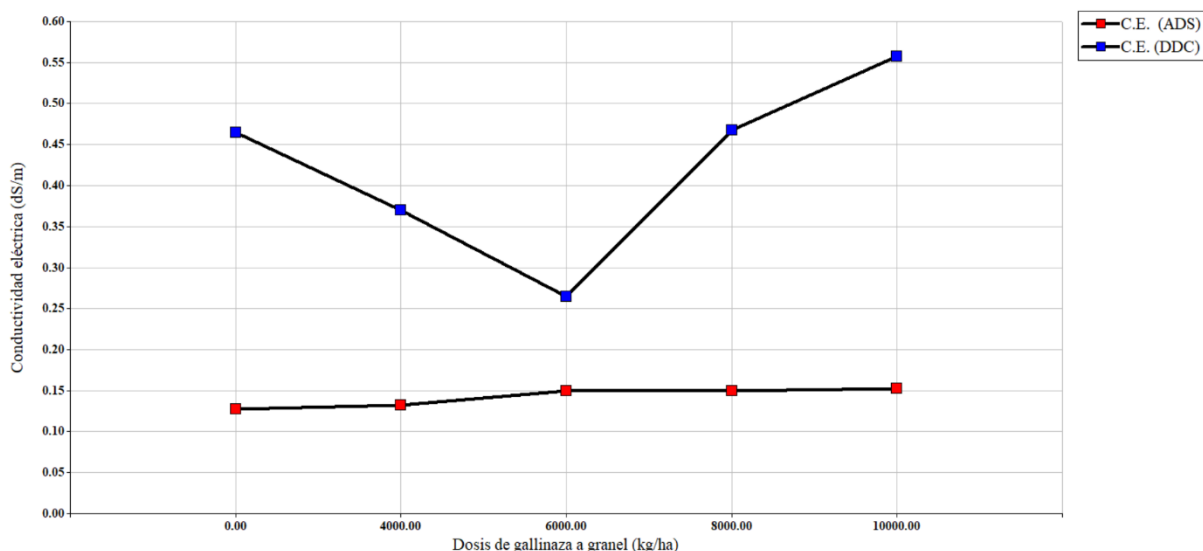


Figura 17 Efecto de gallinaza a granel en la conductividad eléctrica antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Todos los tratamientos tuvieron un incremento en la C.E. después de la cosecha. Lacasta *et al.* (2006) señalan que la mayor aireación en los suelos como en el franco arenoso permiten una mayor mineralización de la materia orgánica, sin embargo, este suelo al tener una mayor cantidad de arcilla y menor cantidad de espacios porosos impide que el oxígeno continúe llegando a los microorganismos y por ello se detiene su metabolismo, haciendo que la concentración de sales empiece a aumentar a partir de la dosis de 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

Al comparar la C.E. en ambas texturas de suelo se observa un comportamiento opuesto en cuanto a la actividad microbiana. Lo que sugiera que la textura juega un papel importante en cómo se comportará la descomposición de la M.O.

Navarro y Navarro (2003) señalan que la presencia de sales en los suelos, tanto si proceden de los fertilizantes aplicados, como de los componentes naturales, es un factor a tener en cuenta en la captación del agua para las raíces. INTAGRI (2017) recomienda que la conductividad eléctrica para la papa debe ser menor a 4 dS.m⁻¹, ninguno de los tratamientos se acercó a este valor.

6.2.9 Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe)

De acuerdo al cuadro 29 del anexo, el análisis de varianza no reportó diferencia estadística significativa para la capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra (CICe ADS), todos los tratamientos reportan CICe mayores a 15 meq/100 ml, considerada como una CICe alta y característico de un suelo con alta cantidad de arcilla (Stauder 2010).

El análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa (cuadro 30 del anexo) para la capacidad de intercambio catiónico efectiva después de la cosecha (CICe DDC), el mayor aumento se observó en el testigo relativo, luego continuaron en orden descendente los tratamientos 10,000, 4,000, 8,000 y 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG (figura 18).

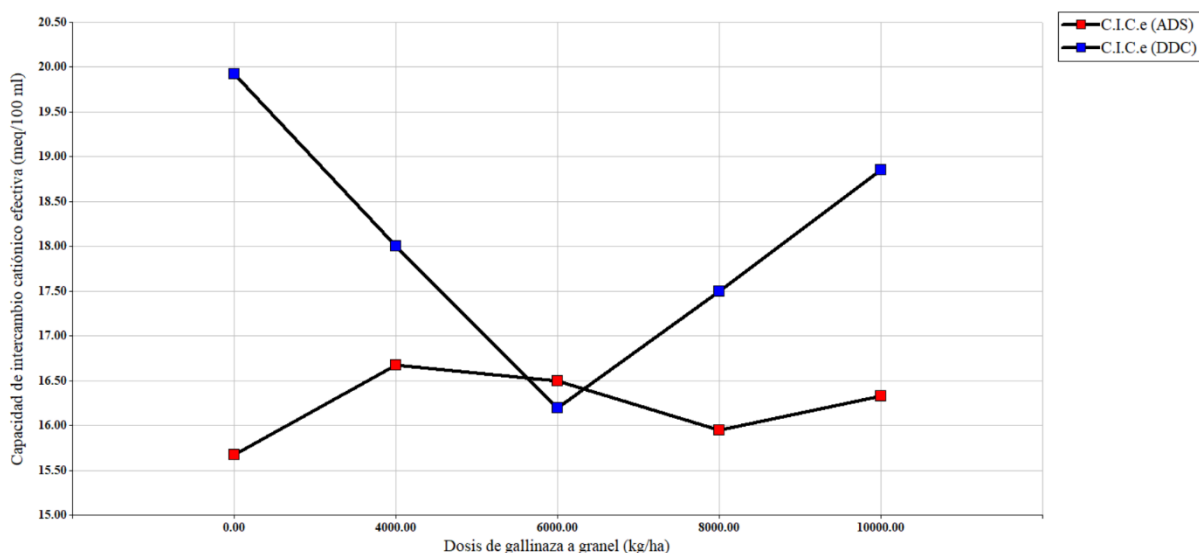


Figura 18 Efecto de gallinaza a granel en la capacidad de intercambio catiónico efectiva antes de la siembra y después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Las partículas responsables del intercambio iónico, fundamentalmente son las arcillas y el humus, y en menor proporción los óxidos hidratados de hierro, aluminio y manganeso (Navarro y Navarro 2003). Lo que significa que a mayor cantidad de arcilla y humus mayor capacidad de retención de iones.

Al comparar las figuras 16 y 18 se observa una correlación entre la cantidad de materia orgánica acumulada al final de la cosecha con la CICE al final de la cosecha, siendo la materia orgánica la principal responsable del aumento de la CICE.

La aplicación única de fertilizantes químicos (testigo absoluto) presentó la mayor acumulación de materia orgánica (figura 16), incrementando la CICE y reteniendo una mayor cantidad de cationes y por lo consiguiente una disminución del rendimiento (figura 14).

De acuerdo a Navarro y Navarro (2003) la actividad microbiana se incrementa con la adición de materiales orgánicos fácilmente descomponibles, con lo cual parte de los nutrientes se incorporan a dichos microorganismos y parte es aprovechable por la planta y parte es retenido en el suelo.

El tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ es la única donde se observa un descenso en la CICE DDC en comparación a la CICE ADS, lo que concuerda también con el descenso de materia orgánica (figura 16), esto indica que la dosis de 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG es donde mayor actividad y mayor uso de nutrientes hubo por parte de los microorganismos.

6.2.10 Microbiología

El cuadro 15 muestra los resultados de los análisis microbiológicos realizados al suelo franco arcillo arenoso.

Cuadro 15. Resultados de análisis microbiológicos antes de la siembra (ADS) y después de la cosecha (DDC) de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Tratamientos (kg.ha ⁻¹ de gallinaza a granel)	Parámetros							
	Coliformes totales (UFC/g)		<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)		<i>Shigella</i> sp (ausente/presente)		<i>Salmonella</i> sp (ausente/presente)	
	ADS	DDC	ADS	DDC	ADS	DDC	ADS	DDC
0	430	50	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
4000	100	< 10	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
6000	140	10	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
8000	10	90	< 10	10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
10000	20	40	< 10	< 10	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

Los resultados indican presencia de coliformes antes de la siembra, después de la cosecha se observa descensos en tres de los tratamientos y aumentos en dos de ellos, al igual que en el suelo franco arenoso no es posible determinar si los coliformes aumentan o disminuyen por las aplicaciones de GAG pues muchos coliformes habitan en el medioambiente (División de Salud Pública de Carolina del Norte 2009).

Los resultados para *E. coli* antes de la siembra son < 10 UFC/g en todos los tratamientos, finalizada la cosecha solo se observó un aumento en la unidad experimental donde se aplicaron $8,000 \text{ kg.ha}^{-1}$ de GAG, indicando un alto riesgo de la presencia de organismos que pueden causar enfermedades (División de Salud Pública de Carolina del Norte 2009), aunque no se puede determinar si el aumento se deba a la GAG o algún factor externo como el acarreo por medio de botas o indumentaria de los agricultores, o por medio del agua de riego, además el análisis microbiológico no tiene el alcance para determinar si era una cepa causante de enfermedades por lo que se deberán hacer más análisis para determinar su patogenicidad en humanos.

Shigella sp y *Salmonella* sp no fueron hallados ni antes de la siembra, ni después de la cosecha, el reglamento técnico Centroamericano exige ausencia de estos microorganismos para frutas y hortalizas frescas (Reglamento técnico Centroamericano s.f.).

6.2.11 Rentabilidad

El cuadro 16 presenta los costos de producción e ingresos totales de la producción de papa bajo los diferentes tratamientos utilizados en la presente investigación en un suelo franco arcillo arenoso.

Cuadro 16. Costos de producción y tasa de retorno sobre la inversión inicial de producción de papa var Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

COSTOS POR Ha		0 kg.ha ⁻¹	4000 kg.ha ⁻¹	6,000 kg.ha ⁻¹	8,000 kg.ha ⁻¹	10,000 kg.ha ⁻¹
INSUMOS	Semilla	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44	Q38,194.44
	Agroquímicos	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96	Q54,787.96
	Fertilizantes	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56	Q18,055.56
MANO DE OBRA	Preparación del suelo	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35
	Siembra	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59	Q1,717.59
	Fertilización	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44
	pique y aporcado	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35	Q2,289.35
	Defoliación	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44	Q1,144.44
	Cosecha	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70	Q4,578.70
Tratamiento	Gallinaza a Granel	Q0.00	Q2,469.14	Q3,703.70	Q4,938.27	Q6,172.84
	COSTO TOTAL	Q124,201.85	Q126,670.99	Q127,905.55	Q129,140.12	Q130,374.69
	costo por 436.81 m ² (1 cuerda)	Q5,425.26	Q5,533.12	Q5,587.04	Q5,640.97	Q5,694.90
INGRESOS POR Ha		0 kg.ha ⁻¹	4000 kg.ha ⁻¹	6,000 kg.ha ⁻¹	8,000 kg.ha ⁻¹	10,000 kg.ha ⁻¹
Rendimiento kg.ha ⁻¹						
	primera	14,552.96	23,092.77	22,071.28	22,027.37	20,985.69
	segunda	9,000.24	9,737.75	10,253.23	12,024.87	10,909.98
	tercera	1,356.61	1,290.17	1,910.57	2,623.55	2,962.71
Precio por 45.36 kg						
	primera	Q210.00	Q210.00	Q210.00	Q210.00	Q210.00
	segunda	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00
	tercera	Q50.00	Q50.00	Q50.00	Q50.00	Q50.00
ingreso por calidad						
	primera	Q67,374.81	Q106,910.97	Q102,181.85	Q101,978.56	Q97,155.97
	segunda	Q29,762.70	Q32,201.55	Q33,906.18	Q39,764.78	Q36,077.98
	tercera	Q1,495.38	Q1,422.15	Q2,106.01	Q2,891.92	Q3,265.77
Ingreso total		Q98,632.89	Q140,534.67	Q138,194.04	Q144,635.27	Q136,499.72
Ganancia neta		(Q25,568.96)	Q13,863.68	Q10,288.49	Q15,495.14	Q6,125.03
Ganancia neta por 436.81 m ² (1 cuerda)		-Q1,116.88	Q605.58	Q449.41	Q676.84	Q267.55
Análisis económico						
Relación Beneficio / costo		0.79	1.11	1.08	1.12	1.05
Tasa de retorno sobre la inversión inicial		79.41	110.94	108.04	112.00	104.70

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

Cuatro tratamientos obtuvieron una tasa de retorno sobre la inversión inicial mayor a cien, siendo los cuatro donde se realizó la enmienda con GAG. Las tasas fueron muy semejantes con una diferencia de 7.3, el tratamiento con la mayor tasa fue el testigo relativo (8,000 kg.ha⁻¹ de GAG) con 112.00, el tratamiento que mostró la segunda mejor tasa fue donde se aplicaron 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG siendo la diferencia entre la mejor y esta de 1.06.

El testigo absoluto obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión inicial menor a cien, indicando pérdidas en lugar de ganancias.

El análisis de rentabilidad indica que la aplicación de GAG en grandes cantidades como enmienda en el suelo franco arcillo arenoso no representa un gran beneficio económicamente.

7 Conclusiones

1. La aplicación de gallinaza a granel (GAG) tuvo un efecto en el rendimiento de papa y en la fertilidad de ambas clases texturales bajo investigación.
2. No existió diferencia estadística entre tratamientos para la variable número de tubérculos por planta en ambos suelos.
3. Concerniente al diámetro de tubérculo, hubo diferencia estadística entre tratamientos en el suelo franco arenoso, siendo los tratamientos con 10,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG los que presentaron los tubérculos con mayor diámetro; en el suelo franco arcillo arenoso no hubo diferencia significativa entre tratamientos.
4. Referente al largo de tubérculos existió diferencia significativa entre tratamientos en el suelo franco arenoso, el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó los tubérculos con mayor longitud; en el suelo franco arcillo arenoso no se observó diferencia significativa entre tratamientos.
5. Estadísticamente no existió diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto al rendimiento de papa en ambas clases texturales de suelo, sin embargo, en el suelo franco arenoso el tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG y en el suelo franco arcillo arenoso el tratamiento con 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG produjeron los mayores rendimientos.
6. Referente a la calidad del rendimiento de tubérculos de papa no existió diferencia significativa estadística entre tratamientos para número de tubérculos de primera, segunda y tercera calidad en el suelo franco arenoso. El tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG obtuvo la mejor producción de tubérculos de primera.
7. En cuanto a la calidad del rendimiento de tubérculos de papa en el suelo franco arcillo arenoso, si existió diferencia estadística para número de tubérculos de primera calidad, el tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG produjo la mayor cantidad de tubérculos de primera. Para número de tubérculos de segunda y tercera calidad no existió diferencia estadística entre tratamientos.
8. El potencial de hidrógeno (pH) después de haber realizado la cosecha descendió en todos los tratamientos, además no mostró diferencia significativa entre tratamientos en el suelo franco arenoso; en el suelo franco arcillo arenoso si hubo diferencia significativa entre los tratamientos con 4,000 y 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG (testigo relativo), siendo este último el que presentó el mayor descenso.
9. El contenido de materia orgánica después de la cosecha en el suelo franco arenoso mostró diferencia significativa entre los tratamientos, el testigo absoluto y la aplicación de 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentaron los mayores aumentos; en el suelo franco arcillo arenosos no se observó diferencia significativa entre los diferentes tratamientos para esta variable, en ambos suelos se obtuvo un descenso del contenido de materia orgánica con el tratamiento de 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG.

10. La conductividad eléctrica en ambos suelos aumento después de la cosecha en comparación a los resultados obtenidos antes de la siembra, aunque no hubo diferencia significativa entre tratamientos finalizada la cosecha.
11. Respecto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva no se observó diferencia significativa entre los tratamientos en ambos suelos. En el suelo franco arenoso los resultados al finalizar la cosecha fueron similares a los obtenidos antes de la siembra, a excepción del tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ que mostró un descenso considerable. En el suelo franco arcillo arenoso la CICE aumento en todos los tratamientos a excepción del tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ donde descendió en comparación a los resultados obtenidos antes de la siembra.
12. En ambos suelos no se observó presencia de *Shigella* sp y *Salmonella* sp antes de la siembra ni después de la cosecha; *Escherichia coli* solamente incrementó ligeramente en donde se aplicaron 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG en el suelo franco arcillo arenoso, los demás tratamientos no reportaron incrementos; los coliformes totales tuvieron incrementos y descensos en ambos suelos después de la cosecha.
13. En el suelo franco arenoso, la aplicación de 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG presentó la mejor tasa de retorno sobre la inversión inicial la cual fue de 125.76, equivalente a obtener un ingreso de Q125.76 por cada Q100.00 invertidos.
14. Referente al suelo franco arcillo arenoso, la aplicación de 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG obtuvo la mejor tasa de retorno sobre la inversión inicial, la cual fue de 112.00, significa que por cada Q100.00 invertidos se obtuvo un ingreso de Q112.00.

8 Recomendaciones

1. Se recomienda el uso de gallinaza a granel como enmienda orgánica en el cultivo de papa para incrementar su rendimiento en los suelos franco arenosos y franco arcillo arenosos.
2. Realizar investigaciones con gallinaza a granel en dosis mayores a $10,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para conocer sus efectos en la producción de papa y en las propiedades químicas de los suelos.
3. Realizar evaluaciones con otras enmiendas orgánicas.
4. Utilizar gallinaza a granel en dosis de $10,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en suelos franco arenosos y dosis de $8,000$ a $10,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en suelos franco arcillo arenosos para mejorar el contenido de materia orgánica.
5. Investigar el efecto de enmiendas con una mayor estabilización en los suelos arcillosos.
6. Realizar investigaciones donde se utilicen gallinazas con una mayor estabilización para determinar si tienen un mayor efecto en las propiedades químicas de los suelos.
7. Realizar estudios a nivel microbiológico y bioquímico para comprender el metabolismo del suelo con el uso de gallinaza a granel a lo largo del ciclo de cultivo.
8. Realizar análisis para determinar coliformes fecales y análisis con una mayor sensibilidad para determinar la ausencia de *E. coli* en la gallinaza a granel y determinar si las cepas encontradas son patogénicas para el ser humano.
9. Realizar estudios microbiológicos dirigidos a los tubérculos de papa para determinar presencia de contaminantes biológicos en ellos.
10. Ante la presencia de coliformes totales y *E. coli* se recomienda realizar una adecuada cocción de los tubérculos de papa.
11. Utilizar gallinaza a granel a dosis de $10,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en un suelo franco arenoso y $8,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en un suelo franco arcillo arenoso para obtener las mejores ganancias en el cultivo de papa.
12. Realizar estudios a largo plazo para conocer los efectos de la gallinaza a granel en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos.
13. Realizar la evaluación del tratamiento con $4,000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza a granel en un suelo franco arenoso que posea un pH mayor a 5.5 debido a que esto influyó en los resultados de esta investigación.

9 Referencias bibliográficas

- Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, 2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Guatemala. 5 may.
- Andrades, M; Martínez, M. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen (en línea). 3 ed. Logroño, España, Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones. 29 p. Consultado 21 nov. 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Arévalo, G; Castellano, M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agrícola. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p.
- Barahona, LA; Villarreal, JE. 2015. Efecto de la gallinaza en las propiedades físicas y químicas del suelo (en línea). IDIAP, Panamá. Consultado 14 feb. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/318015081_EFECTO_DE_LA_GALLINAZA_EN_LAS_PROPIEDADES_FISICAS_Y_QUIMICAS_DEL_SUELO Proyecto investigación e Innovación Tecnológica en Agricultura Orgánica en el Arco Seco de Azuero.
- Bongcam, E. 2003. Guía para el compostaje y manejo de suelos (en línea). Bogotá, Colombia, UPAR. Consultado 20feb. 2017. Disponible en: <http://books.google.com/books?id=BUDmjTQxKhQC&printsec=frontcover&dp=composteje&hl=es&rview=1>
- Cabaleiro, F. 2013 Valorización agronómica del estiércol deshidratado y granulado de pollo en cultivos hortícolas. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Producción Vegetal, La Coruña, España. 217p. Disponible en: http://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/10347/9240/1/rep_480.pdf
- Camacho, A; Guiles, M; Ortegon, A; Palao, M; Serrano, B; Vazquez, O. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos (en línea). Facultad de Química, UNAM. México. Consultado 20 dic 2018. Disponible en http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tecnic-Basicas-Coliformes-en-placa_6528.pdf
- Chávez Arroyo, GA. 2010. Manual para la producción de papa. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Centro Regional de Investigación del Altiplano Occidental, Quetzaltenango, Guatemala. 18 p.
- Crónica. 2016. Producción avícola, moderna industria alimenticia (en línea). Consultado 25 ago 2017. Disponible en <http://cronica.gt/produccion-avicola-moderna-industria-alimenticia/>
- CIMMYT 1988. Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: re-enseñando el uso de este enfoque. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT, p86
- Cortez, MR. 2009. El Cultivo de la papa en El Salvador. El Salvador, San Andrés, La Libertad, CENTA División de Investigación Agrícola Bol divulgativo N° 72, 19 p. 1999.
- De Jesús Hernández, GD. 2016. Determinación de mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales en el cultivo de cilantro (*coriandrum sativum* L.), producido en tres

- municipios del estado de México (en línea). Tesis Ing Agr. Toluca, México, UAEM. 51 p. Consultado 20 dic 2018. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65576/Gerardo%20Daniel%20de%20Jes%C3%BAAs%20Hernandez.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- División de Salud Pública de Carolina del Norte. 2009. Hoja informativa sobre las bacterias coliformes en los pozos de agua privada (en línea). Carolina del Norte, Estados Unidos. Consultado 15 mar 2019. Disponible en https://epi.publichealth.nc.gov/oe/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf
- Duque, C. s.f. Industria avícola: impacto ambiental y aprovechamiento de los residuos (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 25 feb 2017. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxviii.pdf>
- Estrada, B. 2009. Manual del Manejo, Producción Y Comercialización de la Gallinaza Para Uso Agrícola, Guatemala, Tesis Ing. Agr. Guatemala. USAC. p.126
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1998. Rentabilidad (en línea). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s09.htm#TopOfPage>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. Levantamiento de suelos “Propiedades Químicas”. Portal de Suelos FAO. Consultado el 09 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>
- Farfán Reyes, SE. 2007. Estudio de la fertilidad de los suelos de la finca El Chapín cultivada con palma africana (*Elaeis guineensis* jacq) en el municipio de El Estor, departamento de Izabal. Tesis Ing.Agr. Ciudad de Guatemala, Guatemala, USAC. 80 p.
- González, E. 2016. Identificación de puntos críticos y temas para la formulación de proyectos de investigación en la agrocadena de la papa, Red Nacional de Grupos Gestores, Quetzaltenango, Guatemala. 68 p.
- INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 2007. Informe anual sobre los trabajos de fertilización. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador.
- INTAGRI. 2017. Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Serie Hortalizas. Núm. 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. Consultado 6 feb. 2017. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>.
- Lacasta, C; Benítez, M; Maire, N; Meco, R. 2006. Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos (en línea). Consultado 27 ene. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/237704079_EFECTO_DE_LA_TEXTURA_D_EL_SUELO_SOBRE_DIFERENTES_PARAMETROS_BIOQUIMICOS

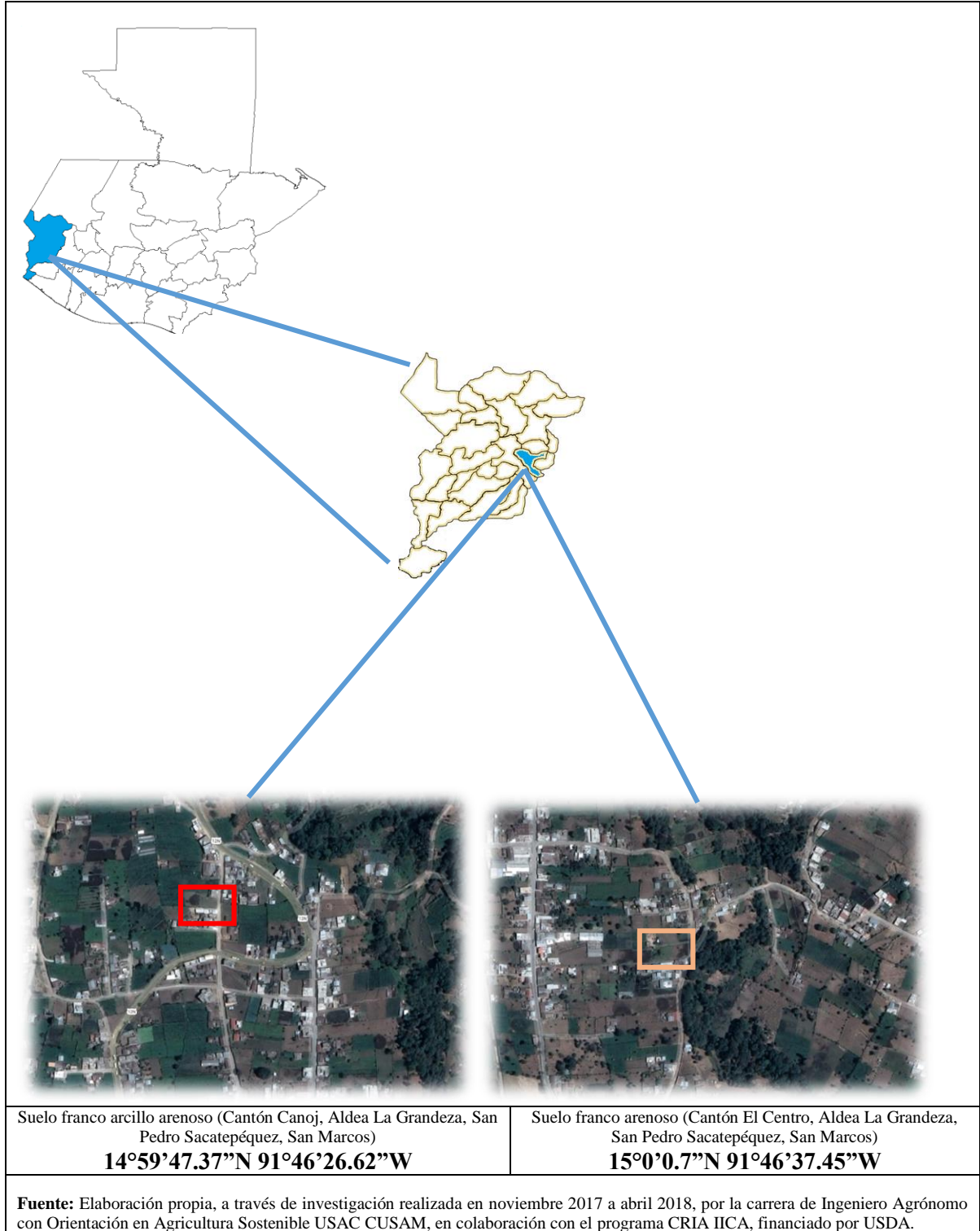
- López, E. 2008. Diseño Y Análisis De Experimentos Fundamentos Y Aplicaciones En Agronomía. 1era edición Guatemala. 170 p.
- Martínez, R. 2009. Diseño geotécnico y estructural de unacimentación en arcilla expansiva, UNAM, México D.F., México p.190
- Matute. C.2012. Evaluación de tres diferentes fuentes orgánicas como fertilizantes en el crecimiento vegetativo del xate (*Chamaedorea ernestiaugustii*; arecaceas) en San Antonio Huista. Tesis Ing. Agr. Huehuetenango, Guatemala, USAC. 79 p.
- Merchán V, ME; Pumisacho, M; Novoa, V; Cáceres, P. 2008. Elaboración de herramientas de aprendizaje para el manejo integrado de suelos en el cultivo de papa bajo el enfoque de gestión de conocimientos (en línea). Consultado 6 feb. 2017. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.%20Ing.%20Mayra%20Merchan.pdf>.
- Muchuch, A. 2005. Determinación de la presencia de nematodos de quiste asociados al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en los municipios de Tecpán Guatemala, San José Poaquil y Santa Apolonia. Tesis Ing. Agr. Chimaltenango, Guatemala, USAC. 71 p.
- Véliz Pinto, HR. 2014. Efecto de tres abonos orgánicos sobre el rendimiento y precocidad de la cosecha en el cultivo de sábila; Guastatoya, El Progreso. Tesis Ing. Agr. Zacapa, Guatemala, URL. 78 p.
- Gallinaza México, 2004. Que es la Gallinaza (en línea), México. Consultado el 07 Sep 2017. Disponible en: www.gallinaza.com/que_es_la_gallinaza.php
- Red de especialistas en agricultura. 2017. Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas (en línea). Consultado 01 may. 2019. Disponible en <http://agriculturers.com/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas/>
- Reglamento técnico Centroamericano. Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos (en línea). 2009. Consultado 25 nov. 2018. Disponible en <https://www.mspas.gob.gt/images/files/drca/normativasvigentes/RTCACriteriosMicrobiologicos.PDF>
- Rivera, J. 2002. El Cultivo de la Papa en Guatemala (*Solanumtuberosum* L.) Guatemala, Guatemala. 52p.
- Sánchez-Bernal, E; Ortega-Escobar, M; González-Hernández, V; Ruelas-Angeles, G; KohashiShibata, J; García-Calderón, N. 2003. Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad (en línea). Terra Latinoamericana, vol. 21, núm. 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, pp. 481-491. Consultado 6 feb. 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57321404.pdf>.
- Santamaría (2009). Evaluación de tres fertilizantes orgánicos para determinar el efecto sobre la concentración de polisacáridos en el cultivo de la sábila (*Aloe vera*), Tesis Ing. Agr, Guastatoya, El Progreso, Guatemala. URL. 54 p.
- Seoanez, M. 2000. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos (en línea). Madrid, España, Mundi-Prensa. Consultado 25 ago. 2017. Disponible en

<http://books.google.com/books?id=lvq2Wn4HNroC&pg=PA1928&dq=manejo+de+gallinaza&hl=es&rview=1#PPA7, M1>

- Sifuentes Ibarra, E; Ojeda Bustamante, W; Mendoza Pérez, C; Macías Cervantes, J; Rúelas Islas, JR; Inzunza Ibarra, MA. 2013. Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "Valle del Fuerte", Sinaloa, México (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.4 Núm.4. Consultado 15 nov 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n4/v4n4a8.pdf>
- Solórzano, H. 2016. Manejo, producción y comercialización de gallinaza en Guatemala (entrevista). San Antonio Sacatepéquez, San Marcos, Guatemala.
- Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización. Guatemala, Soluciones analíticas. 126 p.
- TECNAMED (Tecnificación Agraria y Medioambiental, S.L.). 2011. Gallinaza seca. Consultado 02 feb. 2017. Disponible en: https://www.agromaquinaria.es/pdf/empresas/Gallinaza_Seca_6111453022072011.pdf
- Torres, D; Mendoza, B; Meru Marco, L; Gómez, C. 2016. Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela (en línea). Universidad del Zulia. Maracaibo Venezuela. Consultado 11 mar. 2019. Disponible en <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/22726/22585>

Anexos

1 Mapa de la ubicación donde se establecieron los experimentos en Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos



2 Análisis de varianza

Cuadro 1 Análisis de varianza para número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raíz cuadrada de No. De tu..	20	0.56	0.30	2.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.32	7	0.05	2.19	0.1113
Tratamiento	0.02	4	4.4E-03	0.21	0.9269
Repeticion	0.30	3	0.10	4.83	0.0198
Error	0.25	12	0.02		
Total	0.57	19			

Cuadro 2 Análisis de varianza para diámetro de tubérculo de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de tubérculo (mm)..	20	0.72	0.55	9.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	430.37	7	61.48	4.34	0.0129
Tratamiento	401.31	4	100.33	7.08	0.0036
Repeticion	29.06	3	9.69	0.68	0.5790
Error	170.05	12	14.17		
Total	600.41	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=6.1002

Error: 14.1705 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
10000.00	47.31	4	1.88 A
8000.00	42.45	4	1.88 A
6000.00	38.68	4	1.88 B
0.00	37.31	4	1.88 B
4000.00	34.35	4	1.88 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 3 Análisis de varianza para longitud de tubérculo de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de tubérculo (mm)..	20	0.67	0.48	7.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	590.90	7	84.41	3.54	0.0265
Tratamiento	435.18	4	108.79	4.57	0.0179
Repeticion	155.72	3	51.91	2.18	0.1434
Error	285.76	12	23.81		
Total	876.66	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=7.9079

Error: 23.8133 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10000.00	76.31	4	2.44	A
8000.00	69.02	4	2.44	B
6000.00	67.07	4	2.44	B
0.00	66.01	4	2.44	B
4000.00	62.17	4	2.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 4 Análisis de varianza para número de tubérculos de primera por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raíz cuadrada de primera	20	0.41	0.07	2.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.19	7	0.03	1.21	0.3657
Tratamiento	0.16	4	0.04	1.82	0.1899
Repetición	0.03	3	0.01	0.41	0.7504
Error	0.26	12	0.02		
Total	0.45	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.2392

Error: 0.0218 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10000.00	5.13	4	0.07	A
8000.00	5.03	4	0.07	A
6000.00	4.95	4	0.07	A
4000.00	4.91	4	0.07	A
0.00	4.89	4	0.07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 5 Análisis de varianza para número de tubérculos de segunda por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raíz cuadrada de segunda	20	0.42	0.08	3.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.27	7	0.04	1.25	0.3497
Tratamiento	0.10	4	0.03	0.83	0.5315
Repetición	0.16	3	0.05	1.81	0.1987
Error	0.36	12	0.03		
Total	0.63	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.2821

Error: 0.0303 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
0.00	5.28	4	0.09 A
6000.00	5.15	4	0.09 A
8000.00	5.14	4	0.09 A
10000.00	5.12	4	0.09 A
4000.00	5.06	4	0.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 6 Análisis de varianza para número de tubérculos de tercera por planta de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raiz cuadrada de tercera	20	0.53	0.25	2.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.28	7	0.04	1.92	0.1529
Tratamiento	0.18	4	0.05	2.21	0.1298
Repeticion	0.10	3	0.03	1.54	0.2542
Error	0.25	12	0.02		
Total	0.53	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.2338

Error: 0.0208 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4000.00	5.09	4	0.07 A
0.00	4.91	4	0.07 A
6000.00	4.89	4	0.07 A
8000.00	4.87	4	0.07 A
10000.00	4.80	4	0.07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 7 Análisis de varianza para rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento total (kg/ha)	20	0.46	0.14	21.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	599126464.17	7	85589494.88	1.46	0.2696
Tratamiento	308330888.64	4	77082722.16	1.31	0.3197
Repeticion	290795575.53	3	96931858.51	1.65	0.2297
Error	703886215.16	12	58657184.60		
Total	1303012679.33	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=12411.0819

Error: 58657184.5967 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
10000.00	41789.89	4	3829.40 A
6000.00	38929.55	4	3829.40 A
8000.00	37094.18	4	3829.40 A
0.00	34035.11	4	3829.40 A
4000.00	30435.54	4	3829.40 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 8 Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (ADS)	20	0.51	0.22	3.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.37	7	0.05	1.75	0.1873
Tratamiento	0.30	4	0.07	2.48	0.0996
Repeticion	0.07	3	0.02	0.78	0.5278
Error	0.36	12	0.03		
Total	0.73	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.26680

Error: 0.0300 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
10000.00	5.83	4	0.09 A
6000.00	5.80	4	0.09 A
0.00	5.75	4	0.09 A
8000.00	5.71	4	0.09 A B
4000.00	5.48	4	0.09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 9 Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (DDC)	20	0.39	0.04	5.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.59	7	0.08	1.11	0.4143
Tratamiento	0.18	4	0.05	0.60	0.6670
Repeticion	0.41	3	0.14	1.79	0.2020
Error	0.91	12	0.08		
Total	1.50	19			

Cuadro 10 Análisis de varianza para contenido de materia orgánica (M.O.) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O. (ADS)	20	0.50	0.21	11.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.85	7	0.26	1.71	0.1985
Tratamiento	0.54	4	0.14	0.88	0.5041
Repetición	1.30	3	0.43	2.81	0.0848
Error	1.85	12	0.15		
Total	3.70	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.60557

Error: 0.1545 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6000.00	3.60	4	0.20 A
8000.00	3.48	4	0.20 A
4000.00	3.24	4	0.20 A
0.00	3.23	4	0.20 A
10000.00	3.18	4	0.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 11 Análisis de varianza para contenido de materia orgánica (M.O.) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O. (DDC)	20	0.70	0.52	5.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.27	7	0.18	3.98	0.0176
Tratamiento	0.82	4	0.21	4.50	0.0189
Repetición	0.45	3	0.15	3.30	0.0578
Error	0.55	12	0.05		
Total	1.82	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.32935

Error: 0.0457 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
0.00	4.01	4	0.11 A
10000.00	3.80	4	0.11 A B
8000.00	3.60	4	0.11 B C
4000.00	3.58	4	0.11 B C
6000.00	3.42	4	0.11 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 12 Análisis de varianza para conductividad eléctrica (C.E.) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.E. (ADS)	20	0.28	0.00	20.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.0E-03	7	2.9E-04	0.66	0.7006
Tratamiento	6.7E-04	4	1.7E-04	0.39	0.8147
Repetición	1.3E-03	3	4.5E-04	1.03	0.4145
Error	0.01	12	4.3E-04		
Total	0.01	19			

Cuadro 13 Análisis de varianza para conductividad eléctrica (C.E.) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.E. (DDC)	20	0.36	0.00	75.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.33	7	0.05	0.97	0.4957
Tratamiento	0.25	4	0.06	1.29	0.3265
Repetición	0.08	3	0.03	0.53	0.6703
Error	0.59	12	0.05		
Total	0.92	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.34115

Error: 0.0490 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6000.00	0.48	4	0.11 A
8000.00	0.33	4	0.11 A
0.00	0.30	4	0.11 A
10000.00	0.22	4	0.11 A
4000.00	0.14	4	0.11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 14 Análisis de varianza para capacidad de intercambio catiónico efectiva (C.I.C.e) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.I.C.e (ADS)	20	0.48	0.18	17.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18.58	7	2.65	1.58	0.2315
Tratamiento	13.69	4	3.42	2.04	0.1526
Repetición	4.89	3	1.63	0.97	0.4382
Error	20.13	12	1.68		
Total	38.71	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.99558

Error: 1.6778 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10000.00	8.28	4	0.65	A
6000.00	8.18	4	0.65	A
8000.00	7.78	4	0.65	A B
0.00	7.30	4	0.65	A B
4000.00	6.00	4	0.65	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 15 Análisis de varianza para capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.I.C.e (DDC)	20	0.29	0.00	29.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21.75	7	3.11	0.70	0.6758
Tratamiento	10.40	4	2.60	0.58	0.6816
Repeticion	11.35	3	3.78	0.85	0.4942
Error	53.60	12	4.47		
Total	75.35	19			

Cuadro 16 Análisis de varianza para número de tubérculos por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raíz cuadrada de No. De tu..	20	0.43	0.09	2.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.25	7	0.04	1.28	0.3371
Tratamiento	0.09	4	0.02	0.82	0.5349
Repeticion	0.16	3	0.05	1.89	0.1853
Error	0.33	12	0.03		
Total	0.58	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.2703

Error: 0.0278 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4000.00	5.74	4	0.08	A
8000.00	5.63	4	0.08	A
6000.00	5.62	4	0.08	A
0.00	5.56	4	0.08	A
10000.00	5.56	4	0.08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 17 Análisis de varianza para diámetro de tubérculo de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Diámetro de tubérculo (mm)..	20	0.26	0.00		7.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34.10	7	4.87	0.60	0.7464
Tratamiento	8.76	4	2.19	0.27	0.8922
Repeticion	25.34	3	8.45	1.04	0.4109
Error	97.66	12	8.14		
Total	131.77	19			

Cuadro 18 Análisis de varianza para longitud de tubérculo de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Longitud de tubérculo (mm)..	20	0.14	0.00		5.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34.96	7	4.99	0.29	0.9476
Tratamiento	28.06	4	7.01	0.40	0.8047
Repeticion	6.90	3	2.30	0.13	0.9396
Error	210.20	12	17.52		
Total	245.15	19			

Cuadro 19 Análisis de varianza para número de tubérculos de primera por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Raíz cuadrada de primera	20	0.58	0.33		1.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.16	7	0.02	2.35	0.0928
Tratamiento	0.12	4	0.03	2.95	0.0652
Repeticion	0.05	3	0.02	1.54	0.2544
Error	0.12	12	0.01		
Total	0.28	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1611

Error: 0.0099 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4000.00	5.16	4	0.05 A
6000.00	5.02	4	0.05 B
8000.00	4.98	4	0.05 B
10000.00	4.98	4	0.05 B
0.00	4.95	4	0.05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 20 Análisis de varianza para número de tubérculos de segunda por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raiz cuadrada de segunda	20	0.33	0.00	1.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.05	7	0.01	0.83	0.5847
Tratamiento	0.01	4	3.1E-03	0.33	0.8521
Repeticion	0.04	3	0.01	1.49	0.2678
Error	0.11	12	0.01		
Total	0.17	19			

Cuadro 21 Análisis de varianza para número de tubérculos de tercera por planta de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raiz cuadrada de tercera	20	0.27	0.00	2.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.06	7	0.01	0.63	0.7227
Tratamiento	0.02	4	4.0E-03	0.30	0.8709
Repeticion	0.04	3	0.01	1.07	0.3986
Error	0.16	12	0.01		
Total	0.22	19			

Cuadro 22 Análisis de varianza para rendimiento por hectárea de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento total (kg/ha)	20	0.36	0.00	23.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	408886474.15	7	58412353.45	0.96	0.5023
Tratamiento	340758192.08	4	85189548.02	1.39	0.2942
Repeticion	68128282.07	3	22709427.36	0.37	0.7751
Error	733578938.32	12	61131578.19		
Total	1142465412.47	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=12670.1524

Error: 61131578.1933 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
8000.00	36675.80	4	3909.33 A
10000.00	34858.37	4	3909.33 A
6000.00	34235.08	4	3909.33 A
4000.00	34120.70	4	3909.33 A
0.00	24909.81	4	3909.33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 23 Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (ADS)	20	0.71	0.54	2.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.72	7	0.10	4.12	0.0156
Tratamiento	0.13	4	0.03	1.32	0.3189
Repetición	0.59	3	0.20	7.86	0.0036
Error	0.30	12	0.02		
Total	1.02	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.24287

Error: 0.0248 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
0.00	6.91	4	0.08 A
4000.00	6.87	4	0.08 A
8000.00	6.83	4	0.08 A
10000.00	6.82	4	0.08 A
6000.00	6.67	4	0.08 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 24 Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (DDC)	20	0.87	0.80	2.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.84	7	0.26	11.64	0.0002
Tratamiento	0.19	4	0.05	2.10	0.1443
Repetición	1.65	3	0.55	24.37	<0.0001
Error	0.27	12	0.02		
Total	2.11	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.23120

Error: 0.0225 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4000.00	6.59	4	0.08 A
0.00	6.53	4	0.08 A B
10000.00	6.43	4	0.08 A B
6000.00	6.38	4	0.08 A B
8000.00	6.32	4	0.08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 25 Análisis de varianza para contenido de materia orgánica (M.O.) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O. (ADS)	20	0.39	0.03	21.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.44	7	0.21	1.10	0.4228
Tratamiento	1.30	4	0.32	1.73	0.2074
Repetición	0.14	3	0.05	0.25	0.8596
Error	2.25	12	0.19		
Total	3.69	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.66715

Error: 0.1875 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6000.00	2.46	4	0.22 A
0.00	2.08	4	0.22 A B
4000.00	2.05	4	0.22 A B
10000.00	1.95	4	0.22 A B
8000.00	1.67	4	0.22 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 26 Análisis de varianza para contenido de materia orgánica (M.O.) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.O. (DDC)	20	0.31	0.00	22.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.24	7	0.18	0.77	0.6253
Tratamiento	0.15	4	0.04	0.16	0.9558
Repetición	1.10	3	0.37	1.58	0.2457
Error	2.78	12	0.23		
Total	4.02	19			

Cuadro 27 Análisis de varianza para conductividad eléctrica (C.E.) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.E. (ADS)	20	0.31	0.00	19.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4.0E-03	7	5.7E-04	0.75	0.6340
Tratamiento	2.2E-03	4	5.4E-04	0.72	0.5970
Repetición	1.8E-03	3	6.1E-04	0.81	0.5145
Error	0.01	12	7.5E-04		
Total	0.01	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.04222

Error: 0.0008 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
10000.00	0.15	4	0.01 A
6000.00	0.15	4	0.01 A
8000.00	0.15	4	0.01 A
4000.00	0.13	4	0.01 A
0.00	0.13	4	0.01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 28 Análisis de varianza para conductividad eléctrica (C.E.) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.E. (DDC)	20	0.56	0.30	65.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.19	7	0.17	2.19	0.1116
Tratamiento	0.20	4	0.05	0.64	0.6442
Repeticion	0.99	3	0.33	4.25	0.0291
Error	0.93	12	0.08		
Total	2.12	19			

Cuadro 29 Análisis de varianza para capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) antes de la siembra de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.I.C.e (ADS)	20	0.33	0.00	10.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16.15	7	2.31	0.83	0.5793
Tratamiento	2.67	4	0.67	0.24	0.9097
Repeticion	13.49	3	4.50	1.63	0.2355
Error	33.19	12	2.77		
Total	49.34	19			

Cuadro 30 Análisis de varianza para capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe) después de la cosecha de papa var. Loman en un suelo franco arcillo arenoso.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.I.C.e (DDC)	20	0.37	0.01	16.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	62.28	7	8.90	1.02	0.4657
Tratamiento	31.49	4	7.87	0.90	0.4935
Repeticion	30.79	3	10.26	1.17	0.3602
Error	104.85	12	8.74		
Total	167.13	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.55401

Error: 8.7373 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
0.00	19.93	4	1.48 A
10000.00	18.85	4	1.48 A
4000.00	18.00	4	1.48 A
8000.00	17.50	4	1.48 A
6000.00	16.20	4	1.48 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3 Análisis químico de la gallinaza a granel

Parámetro	Valor	Dimensionales
pH	7.4	
Concentración de sales (C.S.)	19.41	dS.m ⁻¹
Materia Orgánica (M.O.)	73.6	%
Relación C/N	23.4	
Elemento		
Nitrógeno	3.14	%
Fósforo	3.81	%
Potasio	4.33	%
Calcio	3.68	%
Magnesio	1.46	%
Boro	170.68	Ppm
Cobre	623.85	Ppm
Hierro	1934.00	Ppm
Manganeso	752.70	Ppm
Zinc	567.70	Ppm

Fuente: Informe de análisis químico. Soluciones analíticas S.A. Número de orden: 104495.

4 Análisis microbiológico de la gallinaza a granel

Parámetros	Dimensionales	Valor
Coliformes totales	UFC/g	< 10
Escherichia coli	UFC/g	< 10
Shigella sp	Ausente/Presente	Ausente
Salmonella sp	Ausente/Presente	Ausente

Fuente: Informe de análisis de microbiología. Soluciones Analíticas S.A. Número de orden: 105102.

5 Matrices para colecta de datos

- **Número de tubérculos por planta**

Repetición	Tratamiento dosis de gallinaza (kg.ha ⁻¹)	Localidad:															
		Planta															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0																
	4,000																
	6,000																
	8,000																
	10,000																

- **Diámetro de tubérculos (mm)**

Repetición	Tratamiento dosis de gallinaza (kg.ha ⁻¹)	Localidad:															
		Planta															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0																
	4,000																
	6,000																
	8,000																
	10,000																

- **Largo de tubérculos (mm)**

Repetición	Tratamiento dosis de gallinaza (kg.ha ⁻¹)	Localidad:															
		Planta															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0																
	4,000																
	6,000																
	8,000																
	10,000																

- **Peso de tubérculos**

Repetición	Tratamiento dosis de gallinaza (kg.ha ⁻¹)	No. de planta	Localidad:															
			Tubérculo															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	1																
		2																
		3																
		4																
		5																
		6																
		7																
		8																
		9																
		10																
		11																
		12																
		13																
		14																
		15																
		16																

6 Resultados de los análisis de suelos de las dos localidades donde se llevó a cabo la investigación

Localidad 1: Cantón el Centro, Aldea la Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, S.M.

Categoría Medía		6.1 a 10.9	Moderadamente ácida	5 a 6.5	Textura			
			Neutro	6.6 a 7.3				
No. Laboratorio	Identificación de la muestra		Moderadamente alcalino	7.4 a 8.5	Porcentaje			Clase textura
		%M.O	pH	CIC	Arcilla	Limo	Areña	
12917	1 El Centro	5.5	5.3	30.3	8	19	73	Franco arenoso

Fuente: Informe de laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

Localidad 2: Cantón Canoj, Aldea La Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, S.M.

Categoría Medía		6.1 a 10.9	Moderadamente ácida	5 a 6.5	Textura			
			Neutro	6.6 a 7.3				
No. Laboratorio	Identificación de la muestra	%M.O	Moderadamente alcalino	7.4 a 8.5	Porcentaje			Clase textura
			pH	CIC	Arcilla	Limo	Areña	
12817	1 Canoj	3.3	5.28	47.9	25	19	56	Franco arcillo arenoso

Fuente: Informe de laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

7 Nutrientes aportados según cada tratamiento

7.1 Aporte de nutrientes del testigo absoluto

Aplicación	Momento de aplicación	Producto	N kg.ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O kg.ha ⁻¹	CaO kg.ha ⁻¹
1 siembra						
		GAG	0	0	0	0
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		cal agrícola				736.5
2 5 semanas DDS						
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
3 7 semanas DDS						
		Urea	241.5			
		12-11-18	37.8	34.65	56.7	
Total			594.3	349.65	371.7	736.5

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

7.2 Aporte de nutrientes del tratamiento con 4,000 kg.ha⁻¹ de GAG

Aplicación	Momento de aplicación	Producto	N kg.ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O kg.ha ⁻¹	CaO kg.ha ⁻¹
	1 siembra	GAG	125.6	152.4	173.2	147.2
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		cal agrícola				736.5
Total						
	2 5 semanas DDS					
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
	3 7 semanas DDS					
		Urea	241.5			
		12-11-18	37.8	34.65	56.7	
Total						
			719.9	502.05	544.9	883.7

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

7.3 Aporte de nutrientes del tratamiento con 6,000 kg.ha⁻¹ de GAG

Aplicación	Momento de aplicación	Producto	N kg.ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O kg.ha ⁻¹	CaO kg.ha ⁻¹
	1 siembra	GAG	188.4	228.6	259.8	220.8
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		cal agrícola				736.5
Total						
	2 5 semanas DDS					
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
	3 7 semanas DDS					
		Urea	241.5			
		12-11-18	37.8	34.65	56.7	
Total						
			782.7	578.25	631.5	957.3

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

7.4 Aporte de nutrientes del tratamiento con 8,000 kg.ha⁻¹ de GAG

Aplicación	Momento de aplicación	Producto	N kg.ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O kg.ha ⁻¹	CaO kg.ha ⁻¹
1	siembra	GAG	251.2	304.8	346.4	294.4
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		cal agrícola				736.5
2	5 semanas DDS	15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		3	7 semanas DDS	Urea	241.5	
	12_11_18	37.8		34.65	56.7	
Total			845.5	654.45	718.1	1030.9

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

7.5 Aporte de nutrientes del tratamiento con 10,000 kg.ha⁻¹ de GAG

Aplicación	Momento de aplicación	Producto	N kg.ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K ₂ O kg.ha ⁻¹	CaO kg.ha ⁻¹
1	siembra	GAG	314	381	433	368
		15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		cal agrícola				736.5
2	5 semanas DDS	15-15-15	157.5	157.5	157.5	
		3	7 semanas DDS	Urea	241.5	
	12_11_18	37.8		34.65	56.7	
Total			908.3	730.65	804.7	1104.5

Fuente: Elaboración propia, a través de investigación realizada en noviembre 2017 a abril 2018, por la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible USAC CUSAM, en colaboración con el programa CRIA IICA, financiado por USDA.

8 Clasificación del tubérculo por peso

Clasificación	Dimensiones
Primera calidad	Peso mayor a 100 gramos
Segunda calidad	Peso entre 40 y 99 gramos
Tercera calidad	Peso menor a 40 gramos

Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

9 Fotografías

Fotografía 1 Toma de muestras de suelo para análisis.



Fotografía 2 y 3 Trazo y apertura de surcos



Fotografía 4 Aplicación de cal agrícola



Fotografía 5 y 6 Aplicación de gallinaza a granel



Fotografía 7 y 8 siembra de tubérculos de papa



Fotografía 9 Aplicación de fertilizante químico al momento de la siembra



Fotografía 10 Aplicación de pesticidas para protección de tubérculos



Fotografía 11 Tapado de surcos



Fotografía 12 y 13 Aplicación de herbicida



Fotografía 14 y 15 Colocación de identificación del proyecto de investigación



Fotografía 16 Colocación de identificación de tratamientos



Fotografía 17 y 18 Realización de pique y segunda fertilización



Fotografía 19 y 20 Realización de aporque y tercera fertilización



Fotografía 21 y 22 Colocación de trampas amarillas



Fotografía 23 y 24 Supervisión de las áreas experimentales



Fotografía 25 y 26 Estado de las áreas experimentales



Fotografía 27 y 28 Control de plagas y enfermedades



Fotografía 29 Defoliación



Fotografía 30 y 31 Cosecha de tubérculos



Fotografía 32, 33 y 34 Colecta de muestras de suelo para análisis





CRIA

*Programa Consorcios
Regionales de
Investigación Agropecuaria*

