



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EL EFECTO EN EL CULTIVO DE
LECHUGA DEL GUANO DE ISLAS Y
DE LA ROCA FOSFÓRICA
INCUBADOS EN
MICROORGANISMOS

Victor Chávez-Centeno

Piura, julio de 2015

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales

Chávez, V. (2015). *El efecto en el cultivo de lechuga del guano de islas y de la roca fosfórica incubados en microorganismos* (Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“El efecto en el cultivo de lechuga del guano de islas y de la roca fosfórica incubados en microorganismos”

Tesis para optar el Grado de
Máster en Gestión y Auditorías Ambientales

Victor Chávez Centeno

Asesor: Mg. Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez

Piura, Julio 2015

Prólogo

En los últimos años la producción orgánica de los cultivos se ha incrementado, porque es más rentable su producción. En la sierra centro del Perú, específicamente en el departamento de Ayacucho se ha generalizado esta práctica con los cultivos de quinua, palta y plantas aromáticas, esta nueva tendencia está exigiendo a los productores dejar la producción tradicional donde les era permitido el uso de fertilizantes sintéticos contaminando el cultivo y el suelo.

El presente trabajo, “Efecto en el cultivo de lechuga del guano de islas y de la roca fosfórica incubada en microorganismos” busca disminuir al máximo el uso de fertilizantes sintéticos que deterioran la fertilidad biológica y física del suelo. Otra causa que motivó el desarrollo del trabajo de investigación es optimizar la disponibilidad del fósforo del guano de islas y roca fosfórica, insumos agrícolas de uso generalizado entre los agricultores de la sierra centro del Perú.

Este trabajo de investigación puede servir a productores y profesionales dedicados a la producción agrícola con tendencia orgánica optimizando la disponibilidad del fósforo de insumos de uso generalizado como el guano de islas y roca fosfórica en la producción agrícola.

Este trabajo de tesis se divide en cuatro capítulos, en los que se presenta el marco teórico del estudio y la importancia del mismo, la metodología utilizada para su realización, los análisis estadísticos y resultados obtenidos. Finalmente se discuten los resultados.

Agradezco al Mg. Sc Álex L. Tineo Bermúdez, profesor de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, quien me asesoró en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad determinar los niveles de guano de islas (GI) y roca fosfórica (RF), incubadas en una solución de microorganismos, que maximicen el rendimiento de lechuga fresca. Se realizó utilizando una solución casera de microorganismos en la que se incubó el guano de islas y la roca fosfórica durante 20 días, las que se aplicaron en baldes en las que se cultivó lechuga. Una tecnología limpia para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el guano de islas y de fósforo en la roca fosfórica, es la denominada "microorganismos efectivos" (ME), desarrollada por el Doctor Higa.

Por los resultados, se concluye que: 1. El rendimiento de lechuga es influenciado positivamente por los niveles combinados de guano de islas y roca fosfórica, incubadas en una solución de microorganismos. 2. Los niveles crecientes de guano de isla influyen de manera más significativa que los niveles crecientes de roca fosfórica. 3. Los modelos obtenidos, indican que el nivel de guano de isla incubadas que maximiza el rendimiento de la lechuga es 8.03 g/balde acompañado de roca fosfórica.

Índice

	Pág
Introducción	1
Capítulo 1: Generalidades	3
1.1. Los microorganismos efectivos (ME)	3
1.1.1. Definición	3
1.1.2. Modo de acción de los microorganismos	3
1.2. Roca fosfórica o fosfatos naturales	5
1.3. El guano de islas	7
1.4. El cultivo de lechuga	9
Capítulo 2: Parte experimental	11
2.1. Ubicación	11
2.2. Determinación de la muestra	11
2.3. Tipo de estudio	12
2.4. Solución de microorganismos efectivos (ME) e incubación del guano de islas y de la roca fosfórica	12
2.4.1. Proceso de captura y obtención de la solución madre de microorganismos efectivos (ME).	12
2.4.2. Incubación del guano de islas y roca fosfórica en microorganismos efectivos	12
2.5. Factores, tratamientos y diseño experimental	13
2.5.1. Factores en estudio	13
2.5.2. Tratamientos y diseño experimental	13
2.6. Instalación y conducción del experimento	14
2.6.1. Unidades experimentales (UE)	14
2.6.2. Abonamiento	15
2.6.3. El cultivo	15
2.7. Variables e indicadores	15
2.7.1. Independientes	15
2.7.2. Dependientes	15
2.8. Criterios de evaluación	15
2.8.1. Rendimiento del cultivo	15
2.8.2. Rendimiento de materia seca de la parte aérea	16
2.9. Procesamiento de la información	16

Capítulo 3: Resultados y discusión	17
3.1. De la producción de materia seca	17
3.2. Del rendimiento de lechuga fresca	19
Conclusiones	25
Bibliografía	27
Anexos	31
Anexo A: Resultados de las evaluaciones.	33
Anexo B: Croquis del experimento	34
Anexo C: Reporte fotográfico del manejo agronómico y pesado de las unidades experimentales	35
Anexo D: Reporte fotográfico de los resultados de los tratamientos	36

Índice de tablas

Tabla 1.	Composición de la roca fosfórica	5
Tabla 2.	Solubilidad de la roca fosfórica	6
Tabla 3.	Características químicas del suelo	11
Tabla 4.	Niveles de guano de islas (GI) y roca fosfórica (RF)	13
Tabla 5.	Estructura de tratamientos en el Diseño 03 de Julio (D3J), para 2 factores. a 6 se muestran los resultados de estos cálculos.	13
Tabla 6.	Dosis de guano de islas y roca fosfórica y su equivalente en las unidades experimentales.	14
Tabla 7.	Dosis de roca fosfórica y guano de islas en los tratamientos del Diseño 03 de Julio (D3J), para 2 factores	14
Tabla 8.	Análisis de variancia de la producción de materia seca.	17
Tabla 9.	Prueba de Duncan para la producción de materia seca	18
Tabla 10.	Coeficientes para el modelo polinomial de producción de materia seca	19
Tabla 11.	Análisis de variancia para la producción de lechuga fresca	19
Tabla 12.	Prueba de Duncan para la producción de lechuga fresca	20
Tabla 13.	Coeficientes para el modelo polinomial de producción de lechuga fresca	21

Índice de figuras

Figura 1.	Preparación de solución madre de microorganismos efectivos	12
Figura 2.	Superficie de respuesta de la producción de lechuga fresca	22
Figura 3.	Producción de lechuga fresca, por efecto del guano de isla y roca fosfórica, incubadas en microorganismos efectivos	22

Introducción

El guano de islas está compuesto por diferentes elementos fertilizantes, siendo los más significativos al nitrógeno amoniacal (4 %), nitrógeno orgánico (8 - 10 %), nitrógeno nítrico (0.03 %), ácidos fosfórico asimilable (7.93 % - 9.84 %), ácido fosfórico insoluble (0.16 %), materia orgánica (44.64 %), entre otros. El guano de islas es utilizado como un fertilizante efectivo debido a sus altos niveles de nitrógeno y fósforo. El guano peruano, en la actualidad sigue teniendo gran demanda por ser un fertilizante natural y es usado para la producción de agricultura orgánica como parte de las buenas prácticas agrícolas dentro del proceso productivo de los cultivos, de esta manera, el uso tradicional de plaguicidas y fertilizantes sintéticos es reemplazado por insumos biodegradables como el guano de isla.

La roca fosfórica o fosfato de Bayóvar, es una fuente natural de fósforo con 30 % de P_2O_5 ; sin embargo siempre ha sido considerado como un fertilizante de segundo orden, debido a su lento proceso de solubilización, siendo utilizado en cultivos perennes, en suelos ácidos y raras veces en cultivos anuales. Hoy en día se está impulsando la agricultura orgánica, disminuyendo al máximo el uso de los fertilizantes sintéticos, que además de su elevado costo contribuyen en el deterioro de la fertilidad biológica y física del suelo.

Estos hechos sugieren proponer tecnologías alternativas, que se encuentran en constante desarrollo; una de estas es la utilización “microorganismos eficaces” (ME), desarrollada en Japón en la década de los ochenta, por el Doctor Teruo Higa.

Los micro organismos en la actualidad están siendo utilizados en la agricultura, ganadería, medicina y otros; tienen una alta capacidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Esta cualidad ha sido considerada para realizar el presente trabajo de investigación, buscando reducir el período de solubilización de la roca fosfórica y del guano de islas, por acción de los microorganismos eficaces presentes. Trabajos preliminares en el área de suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, dan evidencia de la influencia del incubado de guano de islas y roca fosfórica en una mejor respuesta por el cultivo.

El objetivo general del presente trabajo de investigación es determinar el efecto del guano de islas y la roca fosfórica, incubadas en una solución casera de microorganismos, en el rendimiento de lechuga. Como objetivo específico se busca evaluar el efecto de niveles crecientes de guano de islas, incubada en una solución de microorganismos, en el rendimiento de lechuga; evaluar el efecto de niveles crecientes de roca fosfórica, incubada en una solución de microorganismos, en el rendimiento de

lechuga y determinar los niveles de guano de islas y roca fosfórica, incubadas en una solución de microorganismos, que optimicen el rendimiento de lechuga.

El trabajo está estructurado de manera que en el primer capítulo se presenta las generalidades, se aborda el aspecto teórico de los micro organismos efectivos (ME), la roca fosfórica, el guano de islas y el cultivo de la lechuga.

En el segundo capítulo se presenta la parte experimental, se describe la ubicación donde se desarrolló el trabajo experimental, la determinación de la muestra, el tipo de estudio, los factores, tratamientos y diseño experimental, la instalación y conducción del experimento, variables e indicadores, criterios de evaluación y se describe el procesamiento de la información.

En el tercer capítulo se ofrece la discusión e interpretación de los resultados de esta tesis.

Finalmente se incluyen las conclusiones y recomendaciones que inciden en el efecto positivo del tratamiento planteado en el cultivo de lechuga verificando así la hipótesis planteada.

Capítulo 1

Generalidades

1.1. Los microorganismos efectivos (ME)

1.1.1. Definición

Chujo (2004) afirma que los microorganismos eficaces (ME) es una combinación de varios microorganismos beneficiosos, de origen natural que se usan principalmente para los alimentos o que se encuentran en los mismos. Contiene organismos beneficiosos de 3 géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias de ácido láctico y levadura. Estos microorganismos efectivos, cuando entran en contacto con materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales, quelatos y antioxidantes. Cambia la micro y macro flora de la tierra y mejora el equilibrio natural de manera que la tierra que causa enfermedades se convierte en tierra que suprime enfermedades, y ésta a su vez tiene la capacidad de transformarse en tierra azimogénica. Los efectos antioxidantes promueven la descomposición de materia orgánica y aumenta el contenido de humus.

La FAO (2007) indica que los microorganismos eficaces (ME) son una mezcla de todos los tipos de microbios que ocurren de manera natural, como los fijadores de nitrógeno (N), solubilizadores de fósforo (P), productores de hormonas/vitaminas, descomponedores de la celulosa, organismos controladores de enfermedades, etc. y que se emplean para elevar la productividad del cultivo.

Kuprat (2004) basándose en los estudios del Dr. Higa, menciona que los microorganismos efectivos (ME) se emplean para nuestra salud, para suelos sanos, plantas sanas y animales sanos, para el compostaje, para la limpieza y purificación de aguas residuales y para el cuidado natural de plantas. También para la prevención de parásitos, así como para producto de limpieza en casa.

1.1.2. Modo de acción de los microorganismos

Alexander (1981) los microorganismos no solo asimilan el fósforo, sino que también hacen solubles una gran proporción de ellos, liberando en cantidades superiores, actúan solubilizando sales de hierro (Fe), aluminio (Al), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y otros fosfatos. El principal mecanismo de solubilización se debe a la producción microbiana de ácidos orgánicos, que disuelven los fosfatos inorgánicos

haciendo los asimilables para las plantas. Muchos microorganismos del suelo producen ácido láctico, glicólico, acético, cítrico, fórmico, etc.; que pueden solubilizar fosfatos tricálcicos y apatitos naturales. La degradación no es inhibida por el fósforo inorgánico, por lo que la mineralización se lleva a cabo rápidamente aun con sitios con suficiente fósforo, siendo las enzimas encontradas con más frecuencia las llamadas fosfatasas. El proceso predominante de mineralización e inmovilización está determinada por el porcentaje (%) de fósforo (P) y su relación carbono fósforo (C:P) en los residuos vegetales en descomposición y los requerimientos nutricionales de la población de microorganismos. La relación carbono fósforo que produce la inmovilización es 300:1 y se producirá una mineralización neta cuando la relación carbono fósforo sea 200:1. Si su concentración excede al requerimiento de los microorganismos el exceso aparece como fosfato inorgánico, si es inadecuado, el efecto neto será la inmovilización.

Catedra IX (1982) menciona que otros ácidos orgánicos como oxálico y tartrático son agentes quelantes capaces de acomplejar cationes Ca^{+2} , Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , y Cu^{+2} , que estuviera en forma de fosfatos, liberando por lo tanto el fósforo. Esta acción podría ser neutralizada por la presencia de CaCO_3 , siendo este proceso más activo en la zona de las raíces.

Según Estrada (1986) la mineralización de la fitina es lenta en los suelos ácidos y es significativa en los suelos de reacción alcalina.

La FAO (2007) afirma que las bacterias, hongos y actinomicetos pueden solubilizar formas insolubles de fósforo. Las bacterias solubilizadoras de P (BSP) incluyen *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas striata*, *Agrobacterium* sp; *Acetobacter diazotrophicus*, etc. Los hongos solubilizadores del fósforo (HSP) incluyen: *Aspergillus awamori*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium belaji*, levadura (*Saccharomyces* sp.), etc. Los actinomicetos solubilizadores de fósforo (ASP) incluyen a *Streptomyces* sp, *Nocardia* sp. Generalmente los microorganismos solubilizantes del fósforo secretan ácidos orgánicos que disuelven el fosfato insoluble. Estos microbios ayudan en la solubilización del fósforo de la roca fosfórica y otras formas escasamente solubles del fósforo del suelo, mediante la disminución del tamaño de sus partículas, reduciéndolas a formas casi amorfas.

Alexander (1981) indica que la mineralización de la fitina, es un proceso que se lleva a cabo a través de la enzima Fitasa. También indica que la mineralización de compuestos polimerizados (nucleoproteínas), se lleva a cabo a través de la enzima Ribonucleasa y Dexoxirribonucleasa y enzimas despolimerizantes, y dan lugar a la formación de compuestos más simples como las proteínas y ácidos nucleicos; así liberan ácido fosfórico. Los microorganismos que participan en este proceso son la *Serratia carollera*, *Bacillus megatherium*, *B. mesentéricus*, *B. vulgatus*, *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp., *Mycobacterium* sp., *Micrococcus* sp., *Flavobacterium* sp. Levaduras como *Rodentrelaria micilaginosa*. Hongos como *Sacharomyces ellipsoideus*, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Sclerotium* sp., *Fusarium* sp. Estos microorganismos pululan en la rizósfera y producen la liberación de iones fosfato que son directamente aprovechables por las plantas.

Fassbender y Bornemisza (1987) manifiestan que el proceso mencionado

anteriormente es favorecido por un pH óptimo que va de 5.5 a 7 y una temperatura entre 25 °C a 45 °C y a condiciones medias de humedad.

Higa y Parr (1991) indican que los microorganismos eficaces (ME) tienen efectos en las condiciones químicas del suelo: Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radical.

Paúl y Clark (1989) y Alexander (1981) afirman que los microorganismos llevan a cabo ciertas transformaciones del fósforo, los cuales incluyen: alteración de la solubilidad de compuestos inorgánicos de fósforo; mineralización de compuestos orgánicos con liberación de fosfato inorgánico; conservación del anión inorgánico aprovechable en compuestos celulares; y lleva a cabo una oxidación y reducción de compuestos inorgánicos de fósforo.

1.2. Roca fosfórica o fosfatos naturales

Alarcón (1993) basado en fuentes del Laboratorio Químico de la Universidad de Piura, menciona que en el desierto de Sechura (Piura), se encuentra ubicada uno de los yacimientos más ricos del mundo. Posee una reserva de unos 4500 millones de toneladas, con una ley de 8 a 12 % de P_2O_5 ; dentro de esta, cuenta unos 2000 millones de toneladas, con una concentración de 25 % a 28 % de P_2O_5 . Esta reserva geológica es de origen marino, se halla mezclada con capas de arena, diatomita y otras sales minerales marinas. En la unidad de producción de Bayóbar, se obtiene mediante procesos físicos naturales, el fosfato concentrado denominado "FOSBAYOBAR". La unidad de producción tiene una capacidad de trabajo de 2000 Tn/año de roca fosfatada con una pureza de 30 % de P_2O_5 , por el proceso de flotación y lavado se concentra a 30.5 % de P_2O_5 , ver Tabla 1 y Tabla 2. La molienda de la roca fosfórica es a malla de 200 Mesh. El "FOSBAYOBAR" es el más reactivo del mundo.

Tabla 1. Composición de la roca fosfórica

Composición	Porcentaje (%)
P_2O_5	30.50 en malla de 100 - 60
CaO	46.90
Azufre	1.70
Magnesio	0.60
K_2O	0.10
SiO_2	6.08
Al_2O_3	0.79
F	2.98

Fuente: Alarcón, V. (1993)

Tabla 2. Solubilidad de la roca fosfórica

Solubilidad	Porcentaje (%)
P ₂ O ₅ Sin pulverizar, soluble en ácido cítrico al 2 %	12.1
P ₂ O ₅ Pulverizado, soluble en ácido cítrico al 2 %	15.3

Fuente: Alarcón, V. (1993)

Black (1975) Domínguez (1989), Tisdale y Nelson (1987) mencionan cuanto más finamente pulverizado se halle la roca fosfórica mayor será la superficie expuesta a la acción disolvente del agua que se encuentra en el suelo y de los ácidos de la materia orgánica que se hallan asociados con ellas, así mismo dará mejores resultados cuando el fosfato finamente pulverizado se mezcla bien con el suelo.

FAO (2007) menciona que es un mineral que sirve como materia prima para la producción de fertilizantes de fósforo. Consiste en varios tipos de apatitas (fosfato tricálcico) y contiene entre 15 % y 35 % P₂O₅. La calidad de roca fosfórica depende de su edad, tamaño de partícula, grado de sustitución en la estructura del cristal y solubilidad en los ácidos. Las rocas reactivas también pueden emplearse directamente como fertilizantes de fósforo en los suelos ácidos. El fosfato rocoso también contiene varios micronutrientes, con un promedio de 42 ppm de cobre (Cu), 90 ppm de manganeso (Mn), 7 ppm de molibdeno (Mo), 32 ppm de níquel (Ni) y 300 ppm de zinc (Zn). El contenido de cadmio de la roca fosfórica varía desde 1 mg/kg hasta 87 mg/kg (con un contenido de P₂O₅ de 30 %, el cadmio también puede expresarse como 8 - 665 mg/kg de fósforo o 3 - 290 mg/kg de P₂O₅). En los fosfatos rocosos para la aplicación directa, el contenido de cadmio (un metal pesado potencialmente tóxico) no deberá exceder preferiblemente los 90 mg de cadmio por kilogramo de P₂O₅ (o alrededor de 27 miligramos por kilogramo de roca fosfórica).

Fassbender y Bornemisza (1987) indica que en América del Sur los depósitos de roca fosfórica, se hallan concentrados en Brasil, Venezuela, Chile y Perú (Sechura – Piura); siendo la riqueza de P₂O₅ del fosfato de Sechura de 25 % a 28 %.

FAO (2007) señala que la apatita es el nombre común del principal compuesto suministrador de fósforo en las rocas fosfóricas o fosfatos rocosos (usado como materia prima en la elaboración de fertilizantes de fosfato). Fórmula general: Ca₁₀(PO₄, CO₃)₆(F, OH, Cl)₂. Según la dominancia del F, Cl u OH en la estructura del cristal de apatita, se conoce como fluorapatita, cloroapatita o hidroxiapatita.

Rodríguez (1982) indica que la roca fosfórica es una materia prima indispensable, para la industria del ácido fosfórico. La forma usual de producir fertilizantes fosfatados es tratando la roca fosfatada con ácido sulfúrico o fosfórico; este hecho hace que se incremente el costo de este fertilizante.

Tume (2005) sobre las ventajas de la roca fosfórica, menciona que son fosfatos solubles que se aplican directamente a los suelos ácidos de la Amazonía. El fosfato fomenta el enriquecimiento del suelo, facilita la formación de las raíces, estimula la floración y la formación de la semilla. Tendríamos que señalar que es el fosfato natural más reactivo y de alto contenido de micronutrientes (calcio, azufre y magnesio). Tiene un alto poder residual,

óptimo para suelos ácidos, mejora el pH del suelo. Por su solubilidad es atractivo en el mercado de abonos naturales. Esta es una ventaja comparativa que tiene que convertirse en ventaja competitiva.

1.3. El guano de islas

PROABONOS (2007) menciona que el guano de las islas es un recurso natural renovable, que se encuentra en las superficies de las islas y puntas del litoral peruano, lugares en donde se aposentan y se reproducen las aves guaneras. Es un poderoso fertilizante orgánico utilizado con gran éxito por los agricultores y ligado desde muchos años a nuestra historia; tiene un alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, además de muchos otros elementos nutritivos, que los convierten en el fertilizante orgánico más completo del mundo. Estos yacimientos son tan antiguos que ya los Incas los conocían y los empleaban en sus cultivos que de generación en generación han pasado hasta nuestros días.

Suquilanda (2001) indica que la adición de enmiendas orgánicas al suelo (composta, residuos de cosechas, estiércol, abonos verdes, etc.) contribuye al crecimiento de las plantas a través de los efectos que estos causan en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, esto debido a que la materia orgánica provoca un aumento en las poblaciones de microorganismos los cuales llevan a cabo procesos biológicos importantes como la degradación de la materia orgánica o la mineralización de nutrientes. Además, el aumento de las poblaciones de microorganismos causa una competencia natural con otros microorganismos patógenos para los cultivos impidiendo su desarrollo en el suelo. Las enmiendas orgánicas también mejoran las propiedades físicas de los suelos, ya que mejora la aireación, la retención de la humedad y promueven una mejor estructura del suelo. En general, todos los aportes dados por la acción de las enmiendas orgánicas al suelo causan un efecto positivo sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de la planta.

Tineo (2007) afirma que el guano de isla es un abono orgánico producido por las aves guaneras (guayanay, piquero, alcatraz o pelícano) en algunas islas de la costa peruana. El guano de isla es una mezcla de excrementos de aves, plumas, restos de aves muertas, huevos, etc. Los cuales experimentan un proceso de fermentación sumamente lento lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales, a si mismo, es uno de los abonos naturales de buena calidad en el mundo, por su alto contenido de nutrientes.

Sánchez citado por Casas (2007) acerca del guano de isla manifiesta que es una mezcla de excremento de aves marinas, plumas, restos de aves muertas, huevos, etc. los cuales experimentan un proceso de fermentación lenta. Se trata de uno de los abonos de mejor calidad en el mundo, por su alto contenido de nutrientes, y puede tener 12 % de nitrógeno, 11 % de fósforo y 2 % potasio; debe aplicarse pulverizando a una profundidad aceptable o taparlo inmediatamente para evitar pérdida de amoníaco. También se puede mezclar con otros abonos orgánicos para aumentar su mineralización y lograr su eficiencia; además menciona, que al ser incorporado se inicia la fermentación; las materias orgánicas nitrogenadas y especialmente la urea, dan origen al carbonato amónico y a una sustancia denominada guanina; la materia orgánica no nitrogenada produce ácido carbónico, oxálico y ciertos ácidos grasos que confieren al guano un olor fuerte, el fermento nítrico que se produce a expensas de la materia orgánica nitrogenada, ácido nítrico que se encuentra principalmente en forma de nitrato de cal.

Camasca (1984) afirma que el guano de isla conserva un lugar de importancia entre los abonos orgánicos comerciales, debido a su producción y sus cualidades fertilizantes excepcionales, pero en la actualidad su uso ha decaído notablemente por no satisfacer la demanda. Perú es el principal productor mundial del guano de las aves marinas, esta constituido por una mezcla heterogénea de excrementos de aves marinas, plumas, aves muertas y cáscara de huevos, que se acumulan a través del tiempo en las islas que bordean el litoral de la parte central y en algunas partes del norte y sur del país. El guano de isla es un compuesto orgánico heterogéneo, cuya utilización nos da ventajas en la enmiendas, además del hecho de funcionar igual que los fertilizantes sintéticos comerciales como fuentes de N, P y K elevando por tanto el rendimiento y debiendo su utilización a seguir lineamiento de uso de dichos fertilizantes.

PROABONOS (2007) indica que el guano de isla es la columna vertebral de nuestra agricultura, es el mejor fertilizante natural y el más barato del mundo. Su calidad es reconocida en el país y en el extranjero donde a raíz del cese de su exportación se le recuerda todavía como el “guano del Perú”. Sin embargo, no está lejos el día en que el guano de isla vuelva a ocupar el lugar que le corresponde en la agricultura nacional debido a que aporta todos los nutrientes para los cultivos y mejora los suelos del Perú.

Gros citado por Casas (2007) manifiesta que el guano de isla conserva un lugar de importancia entre los abonos comerciales, debido a su producción y sus cualidades fertilizantes excepcionales. Se presenta como un material amarillento grisáceo y cuando es molido presenta una coloración amarilla pálido o marrón claro. El guano rico se caracteriza por sus olores de vapores amoniacales, se forma mediante el proceso de fermentación sumamente lenta lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales, especialmente los nitrogenados tales como los uratos, carbonatos, sulfatos y otras combinaciones menos abundantes. Este abono es el tipo compuesto por que aporta nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y aún elementos menores. Entre sus propiedades mencionamos: contiene todos los nutrientes que las plantas requieren para su normal crecimiento y desarrollo, es un producto ecológico, no contamina el medio ambiente, es biodegradable, incrementa la actividad microbiana del suelo, es un mejorador ideal de los suelos, es soluble en agua y de fácil asimilación por las plantas, no requiere agregados, no deteriora los suelos ni los convierte en tierras salitrosas.

ENCI citado por Casas (2007) menciona que el guano de isla para su descomposición en el suelo debe poseer cierta flora microbiana, esta flora varía considerablemente según el tratamiento que este ha sufrido, así el guano secado al horno contiene pocos microorganismos, siendo el fresco rico en nitro bacterias. El abono rico debe aplicarse pulverizado a una profundidad de 10 cm por lo menos para evitar la pérdida de amoníaco presente bajo la forma de carbonato.

Camasca (1984) señala que la utilización del guano de isla como abono en la producción de hortalizas debe ser aplicada pulverizado a una profundidad de 10 cm. por lo menos, a fin de evitar la pérdida de amoníaco bajo la forma de carbonato. A pesar de que la materia orgánica del guano se nitrifica rápidamente en el suelo, es deseable para iniciar la nutrición nitrogenada en las plantas, aplicar conjuntamente con el guano, un tercio de nitrógeno, bajo la forma de nitrato de preferencia salitre potásico a fin de compensar parcialmente la pobreza del guano en potasio. La asociación del guano de isla y abonos verdes es excelente para llevar rápidamente el contenido de un suelo en materia orgánica. Igualmente el guano de islas proporciona una mayor eficiencia de acción a los abonos

compuestos, si son aplicados conjuntamente. El guano de isla puede ser aplicado antes o en mezcla con las clases de abono compuesto.

1.4. El cultivo de lechuga

INFOAGRO (2007) afirma que la importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido a la diversificación de tipos varietales. El cultivo de lechuga se ha mejorado genéticamente con el objetivo de obtener nuevos tipos de lechuga y la reducción del tamaño. Además de la mejora en calidad: basada fundamentalmente en la formación de los cogollos, haciéndolos más compactos. También menciona que la lechuga es un alimento que posee una baja cantidad de calorías por su alto contenido en agua, es muy reducido su contenido de hidratos de carbono, proteínas y grasas. Si nos referimos a su contenido vitamínico, es de remarcar la presencia de folatos, provitamina A o beta-caroteno, y vitaminas C y E. Los folatos participan en la síntesis de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y la producción de anticuerpos del sistema inmune. La vitamina A es fundamental para el sentido de la visión, el pelo, las mucosas, la buena salud de la piel, los huesos y para el correcto funcionamiento del sistema inmune, además de ser un importante antioxidante. El beta-caroteno es lo que le da el color amarillo-anaranjado-rojizo a los vegetales y que el organismo transforma en vitamina A según la necesidad. En la lechuga no es evidente el betacaroteno ya que el pigmento más abundante es la clorofila. La vitamina E confiere estabilidad a las células de la sangre, intervienen en la fertilidad y tiene importante función antioxidante al igual que la vitamina C que se encarga de sintetizar colágeno, glóbulos rojos, dientes y huesos. Favorece la absorción del hierro de los alimentos por su contenido de vitamina C y ayuda a defender al organismo contra las infecciones. También es importante la presencia de potasio y hierro. Otros minerales presentes son magnesio y calcio, aunque en menor cantidad. Aunque posee hierro y calcio no se la puede considerar como un alimento fuente de estos minerales.

INFOAGRO (2007) indica que las hojas más externas de la lechuga poseen una mayor riqueza vitamínica y mineral. Por su alto contenido en agua y su bajo contenido de azúcares, proteínas y grasa, hacen a la lechuga un alimento muy conveniente en los casos de sobrepeso u obesidad. Por su alto contenido en fibra produce una importante sensación de saciedad después de haberla consumido. Esto la hace un alimento muy recomendable en dietas de control de peso. Es un alimento que mejora el tránsito intestinal por su contenido de fibras (útil en casos de estreñimiento). Favorece la eliminación de líquidos (por su contenido de potasio, bajo sodio y una alta cantidad de agua), muy beneficiosa en casos de retención de líquidos e hipertensión.

Capítulo 2

Parte experimental

2.1. Ubicación

El trabajo se realizó en el invernadero del Área de Suelos, en los ambientes del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Pampa del Arco, Ayacucho a 2760 msnm. La zona de vida según la clasificación de Holdridge es una estepa espinosa montano bajo subtropical (eeMBS); que presenta un clima semiárido con una precipitación media de 560 mm por año y una temperatura media anual de 16 °C.

2.2. Determinación de la muestra

La muestra corresponde a un terreno pobre de uso agrícola y representativo de la zona, ubicado en la localidad Orcasitas del distrito de Pacaycasa, Ayacucho. Luego de separar con cuidado la cobertura vegetal se recogió una muestra de suelo superficial (0 cm a 20 cm), en la que se determinó sus características químicas; la muestra se recolectó el 01 de octubre del 2014.

El análisis del suelo realizado en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, reporta el resultado en la tabla N° 3.

Tabla 3. Características químicas del suelo

Característica	Contenido
Materia orgánica (%)	0.39
P disponible (ppm)	6.20
K disponible (ppm)	48.30
pH-H ₂ O	8.49

Fuente: Elaboración propia

Según Ibáñez y Aguirre (1983) se trata de un suelo alcalino, con contenido bajo en materia orgánica, bajo en fósforo disponible, y medio en potasio disponible.

2.3. Tipo de estudio

El estudio corresponde al uso de microorganismos, que se obtiene artesanalmente, con la finalidad de utilizarlos para la solubilización del nutrientes del guano de islas y del fósforo de la roca fosfórica, y evaluar sus beneficios en la producción de la lechuga. De esta forma, se puede determinar las bondades del uso del guano de islas y de la roca fosfórica, incubados en una solución de microorganismos efectivos y ponerlo al alcance de los agricultores.

2.4. Solución de microorganismos efectivos (ME) e incubación del guano de islas y de la roca fosfórica

2.4.1. Proceso de captura y obtención de la solución madre de microorganismos efectivos (ME).

Para contar con la solución madre de microorganismos efectivos (ME), se procedió con su captura, bajo una técnica que consiste en colocar un frasco con arroz cocido, cubierto con nylon, en una compostera, durante 2 semanas. Luego de este período se extrae el arroz (impregnado de microorganismos), se licúa y mezcla con melaza y agua (proporción 1:3); obteniendo así la solución madre de microorganismos efectivos (ME) que se muestran en la Figura 1.

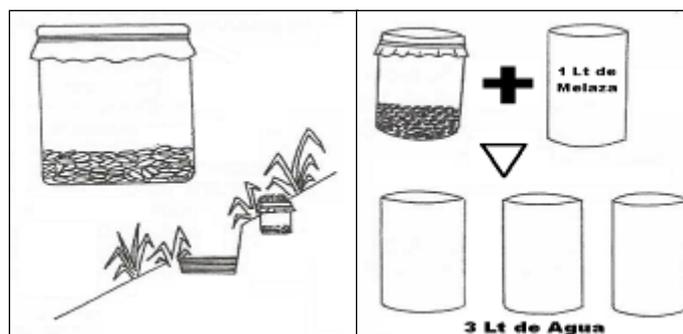


Figura 1. Preparación de solución madre de microorganismos efectivos
Fuente: Suquilanda, 2001

2.4.2. Incubación del guano de islas y roca fosfórica en microorganismos efectivos.

Una vez obtenida la solución madre de microorganismos efectivos (ME), se procedió a incubar el guano de islas y la roca fosfórica en envases separados cada uno, durante 20 días (en base a experiencias, se considera este como un tiempo adecuado). Luego de someter el guano de islas y de la roca fosfórica a la acción solubilizadora de la solución madre de microorganismos efectivos (ME) durante 20 días, se procedió a su respectivo secado al medio ambiente y bajo sombra, para su posterior aplicación a las baldes.

2.5. Factores, tratamientos y diseño experimental

2.5.1. Factores en estudio

Los factores de estudio son el guano de islas (GI) y la roca fosfórica (RF) incubadas en una solución de ME aplicado a diferentes niveles. Se evalúa la influencia de ambos factores en el rendimiento del cultivo de lechuga, los factores considerados fueron:

- Guano de islas (GI)
- Roca fosfórica (RF)

Los espacios de exploración (niveles) a ensayar se plantearon tomando como referencia trabajos de investigación anteriores como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Niveles de guano de islas (GI) y roca fosfórica (RF)

Nº	Xi Codificado	GI (kg . ha ⁻¹)	RF (kg . ha ⁻¹)
1	-2	0	0
2	-1	250	250
3	0	500	500
4	1	750	750
5	2	1000	1000

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Tratamientos y diseño experimental

Con los niveles de GI y RF que se indican en la tabla 4, se plantearon los tratamientos, cuya estructura, es tal como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Estructura de tratamientos en el Diseño 03 de Julio (D3J), para 2 factores.

Tratamiento	X ₁	X ₂	GI (kg . ha ⁻¹)	RF (kg . ha ⁻¹)
1	-2	-2	0	0
2	2	-2	1000	0
3	-2	2	0	1000
4	2	2	1000	1000
5	-2	0	0	500
6	-1	0	250	500
7	1	0	750	500
8	2	0	1000	500
9	0	-2	500	0
10	0	-1	500	250
11	0	1	500	750
12	0	2	500	1000
13	0	0	500	500

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos así diseñados según el diseño 3 de julio (D3J) se distribuyeron en el DCA (Diseño Completamente al Azar).

Para hallar la dosis para cada unidad experimental (balde), se relacionó los niveles que se requieren de roca fosfórica y guano de islas por una hectárea cuyo peso es de 2×10^6 kg con el peso de cada unidad experimental (balde) que es de 16 kg. A continuación en la Tabla 6 se muestran los resultados de estos cálculos.

Tabla 6. Dosis de guano de islas y roca fosfórica y su equivalente en las unidades experimentales.

Dosis de GI (kg . ha⁻¹)	Gramos de GI por balde de 16 kg	Gramos de RF por balde de 16 kg
0	0	0
250	2	2
500	4	4
750	6	6
1000	8	8
TOTAL	20	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Dosis de roca fosfórica y guano de islas en los tratamientos del Diseño 03 de Julio (D3J), para 2 factores

Tratamiento	X₁	X₂	GI (g/balde)	RF (g/balde)
1	-2	-2	0	0
2	2	-2	8	0
3	-2	2	0	8
4	2	2	8	8
5	-2	0	0	4
6	-1	0	2	4
7	1	0	6	4
8	2	0	8	4
9	0	-2	4	0
10	0	-1	4	2
11	0	1	4	6
12	0	2	4	8
13	0	0	4	4
Total			52	52

Fuente: Elaboración propia

2.6. Instalación y conducción del experimento

2.6.1. Unidades experimentales (UE)

Las unidades experimentales (UE) consistieron en baldes de 16 kg de capacidad, a los que se les abrió 5 agujeros en la base para drenar excesos de agua. Al fondo de cada balde se colocó una capa de 2 cm de grava; sobre esta se depositó 16 kg de suelo seco al aire tamizado con una malla de 4 mm de diámetro.

2.6.2. Abonamiento

Todas las unidades experimentales recibieron un abonamiento de guano de islas y roca fosfórica, incubadas durante 20 días en microorganismos efectivos, los cuales se aplicaron en dosis crecientes, según los tratamientos establecidos con el Diseño 03 de Julio como se indica en la tabla 7.

2.6.3. El cultivo.

El cultivo de lechuga obedece a varias etapas, que se resumen en los siguientes:

Preparación del almácigo.- Esta labor se realizó el 10 de octubre del 2014, y consistió en la siembra de semillas de lechuga en surco corrido, en una caja almaciguera de 40 cm * 50 cm, en cantidad suficiente como para cubrir la totalidad de las unidades experimentales. Esta etapa tuvo una duración de 4 semanas; después de este tiempo, estuvieron listas para ser transplantadas a las unidades experimentales.

Abonamiento y transplante.- Previo al transplante, se realizó la aplicación de los abonos, según tratamientos; consistió en mezclar los abonos con suelo de los 10 cm superficiales. Luego de aplicar agua para humedecer adecuadamente el medio, se procedió a realizar el transplante a partir del almácigo, dejando tres plantas de lechuga por unidad experimental. El transplante se realizó el 10 de noviembre del 2014.

Conducción del cultivo.- Consistió en labores de deshierbo, y riego de acuerdo a los requerimientos del cultivo, hasta la madurez de cosecha de la lechuga. La lechuga se cosechó el 15 de diciembre del 2014. Luego se procedió a determinar el rendimiento de materia seca.

2.7. Variables e indicadores

2.7.1. Independientes:

- Niveles de guano de islas (GI)
- Niveles de roca fosfórica (RF)

2.7.2. Dependientes:

- Rendimiento de lechuga fresca (g/balde).
- Producción de materia seca de la parte aérea de las plantas (g/balde).

2.8. Criterios de evaluación

2.8.1. Rendimiento del cultivo.

Consistió en cosechar la lechuga en cada unidad experimental (UE) para el registro de sus pesos se ha utilizado una balanza de precisión.

2.8.2. Rendimiento de materia seca de la parte aérea.

Una vez que se realizó el corte de la parte aérea desde el cuello de la planta, en cada balde, se llevó a la estufa durante 48 horas a una temperatura constante de 70 °C. Luego se pesó la cantidad de materia seca utilizando una balanza analítica. Esta labor se realizó en cada una de las plantas de la unidad experimental.

2.9. Procesamiento de la información.

Con los resultados de las variables evaluadas, se realizarán los análisis de varianza y análisis de regresión correspondientes, utilizando la metodología descrita por Tineo (2014)

Capítulo 3

Resultados y discusión

3.1. De la producción de materia seca

El análisis de variancia de la tabla 8 indica diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que los tratamientos tuvieron influencia sobre la producción. El coeficiente de variabilidad es de 20.40 % el cual se encuentra dentro del límite aceptable para este tipo de trabajos.

Tabla 8. Análisis de variancia de la producción de materia seca.

Fuentes de variación (F . V)	Grados libres (G . L)	Suma de cuadrados (S . C)	Cuadrado de la media (C . M)	Efe Calculada (F . c)	Probabilidad mayor a F (Pr > F)
Tratamiento	12	1673.092308	139.424359	7.94	<0.0001**
Error	26	456.272067	17.548926		
Total	38	2129.364374			

** Indica diferencia altamente significativa entre tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

C.V. = 20.40 %

Para determinar la importancia de cada uno de estos tratamientos se realizó la prueba de Duncan tabla N° 9. Esta prueba señala que el rendimientos más alto corresponde el tratamiento T08 (1000 kg . ha⁻¹ de GI y 500 kg . ha⁻¹ de RF) cuya producción de materia seca fue 28.357 g/balde, sin diferencia significativa con los tratamientos T12 (500 kg . ha⁻¹ de GI y 1000 kg . ha⁻¹ de RF) con una producción de materia seca de 28.053 g/balde, el tratamiento T11 (500 kg . ha⁻¹ de GI y 750 kg . ha⁻¹ de RF) tiene una producción de materia seca de 26.617 g/balde, el tratamiento T07 (750 kg . ha⁻¹ de GI y 500 kg . ha⁻¹ de RF) presenta una producción de materia seca de 25.973 g/balde, el tratamiento T13 (500 kg . ha⁻¹ GI y 500 kg . ha⁻¹ de RF) reporta una producción de materia seca de 25.500 g/balde, el tratamiento T04 (1000 kg . ha⁻¹ de GI y 1000 kg . ha⁻¹ de RF) y el T10 (500 kg . ha⁻¹ de GI y 250 kg . ha⁻¹ de RF) con una producción de materia seca de 25.103 g/balde y 22.677 g/balde respectivamente. Los rendimientos intermedios pertenecen al tratamiento T09 (500 kg . ha⁻¹ de GI y 0 kg . ha⁻¹ de RF) y T06 (250 kg . ha⁻¹ de GI y 500 kg . ha⁻¹ de RF) con 19.993 g y 16.883 g respectivamente. Los rendimientos más bajos corresponden a los tratamientos T01 –testigo– (0 kg . ha⁻¹ de GI y 0 kg . ha⁻¹ de RF), y T03 (0 kg . ha⁻¹ de

GI y 1000 kg . ha⁻¹ de RF) con 9.817 g/balde y 10.590 g/balde, respectivamente.

Así se desprende que los tratamientos que recibieron la combinación de los niveles medios y altos de guano de islas acompañados por algún nivel de roca fosfórica alcanzaron los mayores rendimientos, mientras que los rendimientos más bajos corresponden a los tratamientos que no recibieron una combinación de guano de isla y roca fosfórica en cada unidad experimental; esto se observa en el T02, T05, T03, donde, se ha aplicado a cada maseta de manera independiente el guano de isla y roca fosfórica.

Tabla N° 9. Prueba de Duncan para la producción de materia seca

Tratamiento	Código		Niveles reales		Rdto. de M.S. (g/balde)	Significación
	X ₁	X ₂	GI (kg . ha ⁻¹)	RF (kg . ha ⁻¹)		
T(08)	2	0	1000	500	28.357	a
T(12)	0	2	500	1000	28.053	a
T(11)	0	1	500	750	26.617	ab
T(07)	1	0	750	500	25.973	ab
T(13)	0	0	500	500	25.500	ab
T(04)	2	2	1000	1000	25.103	ab
T(10)	0	-1	500	250	22.677	abc
T(09)	0	-2	500	0	19.993	bcd
T(06)	-1	0	250	500	16.883	cde
T(02)	2	-2	1000	0	14.410	de
T(05)	-2	0	0	500	12.893	de
T(03)	-2	2	0	1000	10.590	e
T(01)	-2	-2	0	0	9.817	e

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados sugieren que los microorganismos efectivos tuvieron un efecto positivo en la solubilidad del guano de isla, asimismo una mayor cantidad de guano de isla incubada aplicada en el cultivo de lechuga, se traduce en mayores rendimientos. Esta respuesta probablemente se deba a que una mayor nivel de guano de isla incubada en una solución de micro organismos efectivos contiene una mayor cantidad de nutrientes disponible para la planta, lo que permite que el cultivo los aproveche en todas las etapas de su desarrollo. Esta es una de las mejores evidencias que permite afirmar que los micro organismos efectivos tiene un efecto solubilizante en el guano de isla. Higa y Parr (1991) mencionan que los microorganismos tienen efectos en las condiciones químicas del suelo: Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radicular. En el 2007 la FAO mencionó que la materia orgánica se descompone a través de la actividad de los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) que se van alimentando de ella, y al entrar en contacto, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelados y antioxidantes; estos antioxidantes promueven la descomposición de la materia orgánica y aumenta la cantidad de humus, esto ayuda a mejorar el crecimiento de las plantas y sirve como una excelente herramienta para la producción sostenible de la agricultura orgánica . De igual forma en el 2004 Kuprat afirma que los microorganismos promueven la transformación aeróbica de los compuestos orgánicos, evitando que se liberen gases generadores de malos olores (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos); además incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante ya que durante el proceso de fermentación, se liberan y sintetizan sustancias y

compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser incorporados al suelo mejoran sus características físicas, químicas y microbiológicas.

En la Tabla 10, se realiza el análisis de regresión para la estimación de parámetros, se muestran respuestas significativas para los términos lineales de ambos factores guano de isla (X_1) y roca fosfórica (X_2), al igual que para el componente cuadrático del guano de isla (X_1^2) de igual manera es significativo en la interacción del guano de isla y roca fosfórica ($X_1 * X_2$), no encontrándose significación estadística para el componente cuadrático de la roca fosfórica (X_2^2).

Tabla 10. Coeficientes para el modelo polinomial de producción de materia seca

Parámetro	Valor estimado.	Error estándar del valor estimado	T para Ho: Parámetro=0	Pr > T
Intercepto	25.31337	1.12986	22.40	<0.0001**
X_1	3.00884	0.47804	6.29	<0.0001**
X_2	1.65358	0.47804	3.46	0.0015**
X_1^2	-1.69075	0.37228	-4.54	<0.0001**
X_2^2	-0.70183	0.37228	-1.89	0.0682NS
$X_1 X_2$	0.62000	0.30469	2.03	0.0500**

** Indica respuesta significativa para los términos lineales de ambos factores

NS Muestra que no hay significación estadística

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 10, el modelo polinomial codificado, sería:

$$Y = 25.3133 + 3.008 (GI) + 1.6535 (RF) - 1.6907 (GI)^2 - 0.7018 (RF)^2 + 0.62 (GI) (RF)$$

3.2. Del rendimiento de lechuga fresca

El análisis de variancia que se muestra en la tabla 11 indica diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que los tratamientos tuvieron influencia sobre el rendimiento de la lechuga fresca. El coeficiente de variabilidad es de 18.61 % el cual se encuentra dentro del límite aceptable para este tipo de trabajos.

Tabla 11. Análisis de variancia para la producción de lechuga fresca

Fuentes de variación (F. V)	Grados libres (G. L)	Suma de cuadrados (S. C)	Cuadrado de la media (C. M)	Efe Calculada (F. c)	Probabilidad mayor a F (Pr > F)
Tratamiento	12	175851.2763	14654.2730	7.51	<0.0001**
Error	26	50718.2532	1950.7020		
Total	38	226569.5295			

** Indica diferencia altamente significativa entre tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

$$C.V. = 18.61 \%$$

Para determinar la importancia de cada uno de los tratamientos se realizó la prueba de Duncan que se muestra en la Tabla 12. Esta prueba señala que el tratamiento T08 (1000 kg.

ha⁻¹ de GI y 500 kg. ha⁻¹ de RF) alcanzó el mayor rendimiento de lechuga fresca reportando 327.31 g/balde, sin diferencia significativa con los tratamientos T04, T12, T07, T11, T13, T10. Los rendimientos intermedios pertenecen al tratamiento T09 (500 kg. ha⁻¹ de GI y 0 kg. ha⁻¹ de RF) y T06 (250 kg. ha⁻¹ de GI y 500 kg. ha⁻¹ de RF) con 216.17 g y 201.36 g respectivamente. Los rendimientos más bajos se obtuvieron con el tratamiento testigo T01 (0 kg. ha⁻¹ de GI y 0 kg. ha⁻¹ de RF) que reportó 103.56 g / balde, el T05 (0 kg. ha⁻¹ de GI y 5000 kg. ha⁻¹ de RF) se obtuvo 165.04 g / balde, el T02 (1000 kg. ha⁻¹ de GI y 0 kg. ha⁻¹ de RF) reportó un rendimiento de 192.08 g/balde.

Estos resultados nos muestran que los tratamientos que recibieron una dosis combinada de niveles altos y medios de guano de isla acompañados por algún nivel de roca fosfórica alcanzaron los mayores rendimientos, mientras que los rendimientos más bajos corresponden a los tratamientos que no recibieron una combinación de guano de isla y roca fosfórica en cada unidad experimental. Esto se observa en el T02, T03, T05 donde se ha aplicado a cada maseta de manera independiente el guano de isla o roca fosfórica.

Todos los tratamientos superan al testigo T01 (0 kg . ha⁻¹ de GI y 0 kg . ha⁻¹ de RF) en producción de lechuga fresca, debido a que no se aplicó guano de islas y roca fosfórica incubadas en micro organismos efectivos en las unidades experimentales de este tratamiento, el rendimiento obtenido del T01 es de 103.56 g / balde. Según PROABONOS (2007) menciona que biológicamente el guano de isla juega un rol esencial en el metabolismo básico del desarrollo de raíces, tallos y hojas asegurando la nutrición de las plantas, además de tener una acción benéfica sobre la vida de los suelos. En 1985 Buckman afirmó que exceptuando al nitrógeno, ningún elemento es tan decisivo para el crecimiento de las plantas, como el fósforo. Por su parte, la FAO (2007), menciona que los micro organismos efectivo son una mezcla de todos los tipos de microbios que ocurren de manera natural, como los fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, productores de hormonas y vitaminas, descomponedores de la celulosa, organismos controladores de enfermedades, etc. y que se emplean para elevar la productividad del cultivo.

Tabla 12. Prueba de Duncan para la producción de lechuga fresca

Tratamiento	Código		Niveles reales		Rdto. de lechuga fresca (g / balde)	Significación
	X ₁	X ₂	GI (kg . ha ⁻¹)	RF (kg . ha ⁻¹)		
T(08)	2	0	1000	500	327.310	a
T(04)	2	2	1000	1000	325.970	a
T(12)	0	2	500	1000	322.410	a
T(07)	1	0	750	500	284.580	ab
T(11)	0	1	500	750	269.340	abc
T(13)	0	0	500	500	263.320	abc
T(10)	0	-1	500	250	243.290	abcd
T(09)	0	-2	500	0	216.170	bcd
T(06)	-1	0	250	500	201.360	bcd
T(02)	2	-2	1000	0	192.080	cd
T(03)	-2	2	0	1000	169.900	de
T(05)	-2	0	0	500	165.040	de
T(01)	-2	-2	0	0	103.560	e

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13, se realiza el análisis de regresión para la estimación de parámetros, se muestran respuestas altamente significativa para los términos lineal (X_1) y cuadrático (X_1^2) de guano de isla, y no es significativo para el término lineal (X_2) ni cuadrático (X_2^2) de la roca fosfórica, de igual manera, no es significativo en la interacción del guano de isla y roca fosfórica ($X_1 * X_2$).

Tabla 13. Coeficientes para el modelo polinomial de producción de lechuga fresca

Parámetro	Valor estimado.	Error estándar del valor estimado	T para Ho: Parámetro=0	Pr > T
Intercepto	105.55065	21.829740	4.84	<0.0001**
X_1	27.57960	6.841021	4.03	0.0003**
X_2	13.65158	6.841021	2.00	0.0543NS
X_1^2	-1.71585	0.606920	-2.83	0.0079**
X_2^2	-0.71988	0.606920	-1.19	0.2440NS
X_1X_2	-0.67560	0.496720	1.36	0.1830NS

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla N° 13, el modelo polinomial, sería:

$$Y = 105.55 + 27.5796(GI) + 13.6515(RF) - 1.71585(GI)^2 - 0.71988(RF)^2 - 0.67560(GI)(RF)$$

A partir de este modelo, se elaboró la superficie de respuesta para el efecto del guano de islas y de la roca fosfórica incubadas en microorganismos efectivos (ME) que se muestra en la Figura 2.

El modelo permite hacer un análisis para el efecto de cada factor de manera independiente, por lo tanto, se tendrían los modelos siguientes:

$$y = 105.55 + 27.58(GI) - 1.7159(GI)^2$$

$$y = 105.55 + 13.652(RF)$$

En el modelo se destaca la pendiente que corresponde al factor X_1 : niveles de Guano de islas, comparado con la pendiente del factor X_2 : niveles de roca fosfórica; esto indica que la aplicación de guano de islas incubada con solución de microorganismos es el factor que más influencia tiene sobre la producción de lechuga fresca. Un análisis visual de la Figura 3, permite llegar a la misma conclusión, debido a que la pendiente de la superficie hacia el eje del factor X_1 (niveles de guano de isla) está más inclinada

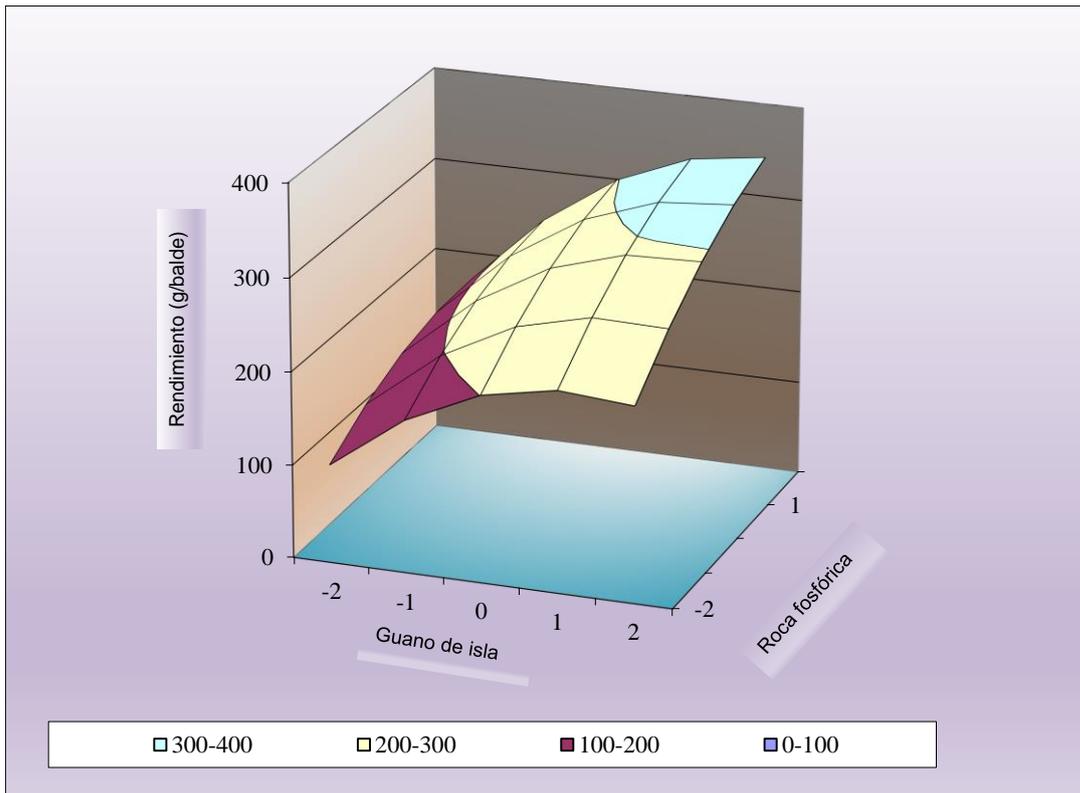


Figura 2. Superficie de respuesta de la producción de lechuga fresca
Fuente: Elaboración propia

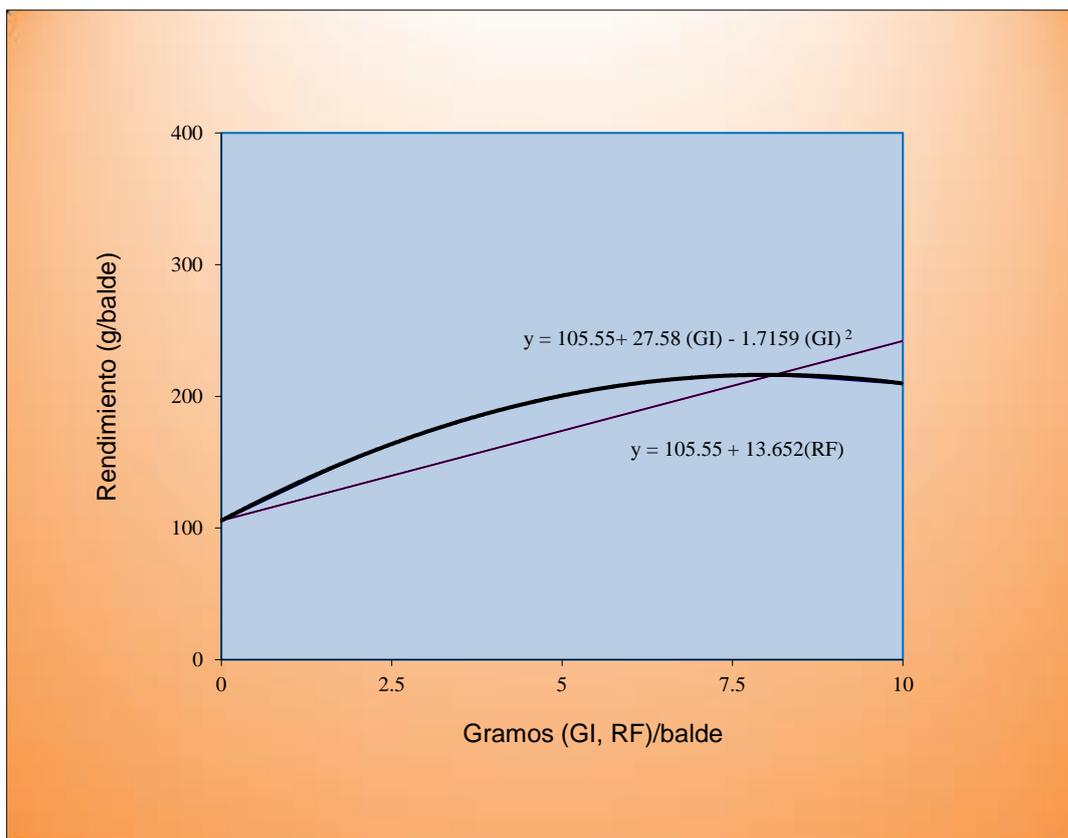


Figura 3. Producción de lechuga fresca, por efecto del guano de isla y roca fosfórica, incubadas en microorganismos efectivos
Fuente: Elaboración propia

El incremento de la producción de materia seca en la parte aérea de la lechuga así como el rendimiento total de lechuga fresca, es influenciado por la aplicación de guano de isla y roca fosfórica, incubadas en una solución de microorganismos efectivos durante 20 días. A pesar de que el suelo tiene un pH alcalino y comúnmente en estas condiciones no se recomienda aplicar la roca fosfórica (recomendable sólo en suelos ácidos), la respuesta del cultivo de lechuga a la aplicación de niveles crecientes de roca fosfórica se debe, más que a la cantidad de roca fosfórica aplicada, a la cantidad de fósforo disponible en la roca fosfórica tratada. Trabajos realizados por Gálvez (2009) en tomate, Tineo (2010) en tomate, pusieron en evidencia la influencia de la roca fosfórica tratada en microorganismos efectivos, en el rendimiento del cultivo; igualmente hay referencias de importancia, como algunos ensayos de campo en India y en la ex-Unión Soviética que han demostrado que el uso de los microorganismos solubilizadores de fosfato puede aumentar los rendimientos de los cultivos hasta un 70 % (Verma, 1993; Wani y Lee, 1992; Subba Rao, 1982; citados por FAO, 2007). Los cultivos incluían la avena, mostaza, remolacha azucarera, col, lechuga, cebada, trébol de Alejandría, maíz, papa, arroz, garbanzo, soya y maní. Con respecto al guano de islas, el presente trabajo confirma la importancia de este abono natural en el rendimiento del cultivo. Al respecto, Bellido (2010), evaluó el efecto de niveles y tiempo de incubado del guano de islas en una solución de microorganismos efectivos, en el cultivo de tomate, encontrando respuesta a ambos factores; es decir, el uso de niveles crecientes de guano de islas se traduce en mejores rendimientos del cultivo. Del mismo modo la incubación del guano de islas en una solución de microorganismos efectivos permite mejorar el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el guano, que se traducen en el incremento del rendimiento de materia seca y producción de lechuga fresca.

La mayor respuesta del cultivo de lechuga a niveles crecientes de guano de islas, se debe a la mayor disponibilidad de nutrientes en este abono, así como a su composición, puesto que además de fósforo lleva nitrógeno y potasio.

Conclusiones

Los resultados encontrados en el presente estudio permiten arribar a las conclusiones siguientes:

1. El rendimiento de lechuga es influenciado positivamente por los niveles crecientes de guano de islas y roca fosfórica, incubadas en una solución de microorganismos.
2. Con la aplicación combinada del guano de isla y roca fosfórica a cada unidad experimental se obtuvo un mayor rendimiento de lechuga fresca como se puede observar en el T (08) que produjo 327.310 g/balde a comparación del tratamiento testigo T(01) que produjo 103.560 g/balde esto se debe a que este tratamiento no recibió ninguna dosis de fertilizantes de guano de islas y roca.
3. Los niveles crecientes de guano de isla influyen de manera más significativa que los niveles crecientes de roca fosfórica.
4. El rendimiento de lechuga, por influencia del guano de isla (X1) y roca fosfórica (X2), incubados en una solución de microorganismos efectivos, obedece al modelo $Y = 105.55 + 27.5796 (GI) + 13.6515 (RF) - 1.71585 (GI)^2 - 0.71988 (RF)^2 - 0.67560 (GI) (RF)$
5. Los modelos obtenidos, indican que el nivel de guano de isla incubadas que maximiza el rendimiento de la lechuga es 8.03 g/balde acompañado de roca fosfórica.

Bibliografía

- Alarcón, V. (1993). *Efecto de la urea en la solubilidad de la roca fosfatada de Sechura en condiciones de laboratorio e invernadero*. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Formación Profesional de Agronomía. UNSCH, Ayacucho. 74 p.
- Alexander, M. (1981). *Introducción a la microbiología del suelo*. A.G.T. Editor S.A. México D.F. 371 p.
- Bellido, C. (2010). *Efecto del guano de islas incubado con solución de microorganismos en el crecimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en Ayacucho a 2750 msnm*. Tesis Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. UNSCH, Ayacucho
- Black, C. (1975). *Relaciones Suelo-Planta*. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 420 p.
- Buckman, H.; Brady, N. (1985). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Editorial UTEHA. México. 590 p.
- Camasca, A. (1984). “*Horticultura Práctica*” Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – COCYTEC. Ayacucho – Perú.
- Casas, D. (2007). *Respuesta del Jengibre al nivel de NPK y guano de isla*. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. UNSCH. Ayacucho – Perú 88 p.
- Catedra IX. (1982). *Química del Suelo y los Fertilizantes*. 3 era. Edición. Universidad Politécnica. Madrid. 127 p.
- Chujo, L. (2004). *¿Qué es EM?*. Disponible en <http://www.chujosl.com/>. Accesado el 26 de noviembre de 2014.
- Dominguez, A. (1989). *Tratado de Fertilizantes*. Edit. Mundi Prensa. Madrid. 601 p.
- Estrada, J. (1986). *Curso de nutrición mineral de las plantas*. UNA La Molina. Lima. 196 p.

- FAO, (2007). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Microorganismos efectivos*. Disponible en: http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index_es.jsp?term=e045&letter=M. Accesado el 28 de octubre de 2014.
- Fassbender, H. (1984). La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación. *Fitotécnia Latinoamericana*. Vol.3, N° 1. 398 p.
- Fassbender, H.; Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. Editorial IICA. San José. 420 p.
- Galvez, J. (2009). *Efecto del Fosfato de Sechura, incubado en solución de microorganismos, en el rendimiento de tomate*. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho. 115 p.
- Hayward, H. (1953). *Estructura de las plantas útiles*. Editorial Acme S.A. Buenos Aires. 667 p.
- Higa, T.; Parr, J. (1991). *Microorganismos Efectivos (ME o EM)*, Fundación de Asesorías para el Sector Rural (FUNDASES). Disponible en <http://www.fundases.com/p/em01.html>. Accesado 10 de octubre de 2014.
- Ibañez, R.; Aguirre, G. (1983). *Fertilidad de suelos: Manual de Prácticas*. Programa académico de Agronomía, UNSCH. Ayacucho. 81 p.
- INFOAGRO, (2007). *El cultivo de lechuga (3^{era} Parte)*. Disponible en <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga3.htm>. Accesado 03 octubre de 2014.
- Kuprat, (2004). *Microorganismos efectivos*. Disponible en <http://www.agua-viva.info/es/microorg.htm>. Accesado el 16 de noviembre de 2009.
- Paúl, E. A.; Clark, F. E. (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academia Press San Diego California. 231 p.
- PROABONOS. (2007). *Proyecto Especial de Promoción del Aprovechamiento de Abonos Provenientes de Aves Marinas*. Disponible en <http://www.Preabonos.gob.pe>. Accesado el 34 de octubre de 2014.
- Rodriguez, F. (1982). *Fertilizantes, Nutrición Vegetal*. A.G.T. Editor S.A. México 75 p.
- Suquilanda, M. (2001). *Curso internacional sobre elaboración de abonos orgánicos*. Corporación PROEXANT. Quito. Disponible en http://www.pidecafe.com.pe/textos/txt_6.doc <http://www.humano.ya.com/holbeja/abonos.htm> Accesado 28 de setiembre del 2009.
- Tineo, A. (2009). *Aplicación de roca fosfórica y diatomita incubadas en una solución de microorganismos, en el rendimiento de tomate (Lycopersicon esculentum l.)*. IIFCA, UNSCH.
- Tineo, A. (2014). *Superficie de respuesta: el diseño 03 de julio*. Editado. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho.

Tisdale, S.; Nelson, W. (1987). *Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes*. Edit. UTEHA. México. 498 p.

Tume, H. 2005. ¿Qué sabe usted de los fosfatos?. Disponible en http://www.elregionalpiura.com.pe/archivosnoticias/2005_03/marzo_13/fosfatos_teor%C3%ADa.htm. Accesado el 20 de octubre de 2014.

Anexos

ANEXO A
Resultados de las evaluaciones

Tabla A1. Rendimiento de materia seca (g/balde)

N	X1	X2	I	II	III	Promedio
1	-2	-2	9.54	12.79	7.12	9.81
2	2	-2	13.95	16.81	12.47	14.40
3	-2	2	10.18	10.66	10.93	10.58
4	2	2	24.69	25.83	24.79	25.10
5	-2	0	12.60	12.50	13.58	12.89
6	-1	0	15.16	19.43	16.06	16.88
7	1	0	26.99	24.11	26.82	25.97
8	2	0	34.55	25.35	25.17	28.36
9	0	-2	17.06	17.44	25.48	19.99
10	0	-1	32.94	24.10	10.99	22.67
11	0	1	24.16	30.23	25.46	26.61
12	0	2	28.00	26.52	29.64	28.05
13	0	0	21.88	30.59	24.03	25.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla A2. Rendimiento de lechuga fresca (g / balde)

N	X1	X2	I	II	III	Promedio
1	-2	-2	100.60	135.00	75.10	103.50
2	2	-2	185.90	224.10	166.30	192.00
3	-2	2	166.30	166.40	177.10	169.90
4	2	2	320.50	335.40	322.00	325.90
5	-2	0	154.40	153.90	186.80	165.00
6	-1	0	175.10	220.40	208.60	201.30
7	1	0	304.60	272.20	277.00	284.50
8	2	0	380.10	278.90	322.90	327.30
9	0	-2	184.40	188.60	275.50	216.10
10	0	-1	353.40	258.50	118.00	243.20
11	0	1	244.40	306.00	257.70	269.30
12	0	2	321.80	304.80	340.70	322.40
13	0	0	232.30	309.20	248.40	263.30

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B
Croquis del experimento

Tabla B1. Croquis del experimento

TRATAMIENTO		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
NIVEL G.I		0	1000	0	1000	0	250	750	1000	500	500	500	500	500
NIVEL R.F		0	0	1000	1000	500	500	500	500	0	250	750	1000	500
REPETICIONES	r1	T1 r1	T2 r1	T3 r1	T4 r1	T5 r1	T6 r1	T7 r1	T8 r1	T9 r1	T10 r1	T11 r1	T12 r1	T13 r1
	r2	T1 r2	T2 r2	T3 r2	T4 r2	T5 r2	T6 r2	T7 r2	T8 r2	T9 r2	T10 r2	T11 r2	T12 r2	T13 r2
	r3	T1 r3	T2 r3	T3 r3	T4 r3	T5 r3	T6 r3	T7 r3	T8 r3	T9 r3	T10 r3	T11 r3	T12 r3	T13 r3
TOTAL: 39 Unidades experimentales														

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C

Reporte fotográfico del manejo agronómico y pesado de las unidades experimentales

C.1. Reporte fotográfico del manejo agronómico de las unidades experimentales



Figura C1. Preparación y siembra de las unidades experimentales
Fuente: Elaboración propia



Figura C2. Identificación de los tratamientos y repeticiones de las unidades experimentales (vista frontal)
Fuente: Elaboración propia



Figura C3. Identificación de los tratamientos y repeticiones de las unidades experimentales (vista en planta)
Fuente: Elaboración propia



Figura C4. Crecimiento de las plantas de lechuga en cada unidad experimental.
Fuente: Elaboración propia



Figura C5. Pesado de las unidades experimentales
Fuente: Elaboración propia

ANEXO D

Reporte fotográfico de los resultados de los tratamientos

D.1. Resultado de los tratamientos T01, T02 y T03.



Figura D1. Tratamiento 1
0 kg.ha⁻¹ de GI y 0 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D2. Tratamiento 2
1000 kg.ha⁻¹ de GI y 0 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D3. Tratamiento 3
0 kg.ha⁻¹ de GI y 1000 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia

D.2. Resultado de los tratamientos T04, T05 y T06.



Figura D4. Tratamiento 4
1000 kg.ha⁻¹ de GI y 1000 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D5. Tratamiento 5
0 kg.ha⁻¹ de GI y 500 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D6. Tratamiento 6
250 kg.ha⁻¹ de GI y 500 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia

D.3. Resultado de los tratamientos T07, T08 y T09



Figura D7. Tratamiento 7
750 kg.ha⁻¹ de GI y 500 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D8. Tratamiento 8
1000 kg.ha⁻¹ de GI y 500 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D9. Tratamiento 9
500 kg.ha⁻¹ de GI y 0 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia

D.4. Resultado de los tratamientos T10, T11 y T12



Figura D10. Tratamiento 10
500 kg.ha⁻¹ de GI y 250 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D11. Tratamiento 11
500 kg.ha⁻¹ de GI y 750 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia



Figura D12. Tratamiento 12
500 kg.ha⁻¹ de GI y 1000 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia

D.5. Resultado del tratamiento T13



Figura D13. Tratamiento 13
500 kg.ha⁻¹ de GI y 1000 kg.ha⁻¹ de RF
Fuente: Elaboración propia