

“ELABORACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE MINERALIZADO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA, VIACHA – LA PAZ”

Tesis de licenciatura. Carrera de Química Industrial UMSA

Autores:

Soledad Paco Callisaya solepacc08@gmail.com Cel.: 60564209

TUTORES:

M. Cs. Gabriela Terrazas Chavez gabycitatito@gmail.com Cel.: 73073003

Ing. Agr. Milton I. Macías Villalobos maciasmilt@gmail.com Cel.: 71973366

RESUMEN

Las condiciones adversas del altiplano paceño, son un reto para la productividad de los agricultores. Al implementar los agroquímicos se pensó haber encontrado la solución, sin embargo, los problemas que trajo a mediano y largo plazo no justifican el costo de su implementación. Por otra parte, la comercialización de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, etc.) no cuenta con la capacitación adecuada para su aplicación en los cultivos, lo que genera contaminación a las fuentes hídricas, deterioro de la salud de los agricultores y daño a la fauna de la zona productiva.

El presente estudio tuvo como objetivo principal la producción de un biofertilizante mineralizado y enriquecido con microorganismos nativos, en la Estación Experimental Choquenaira (Viacha), para incentivar técnicas agroecológicas. Este estudio fue realizado en cinco etapas: la primera de recolección y reproducción de los Microorganismos Nativos del Altiplano (MONA); en la segunda se elaboró y enriqueció el BIOL, empleando roca pulverizada (andesita, cuarcita y caliza) y los MONA recolectados; en la tercera el BIOL fue aplicado en un cultivo controlado de *Lactuca sativa L.* (lechuga); en la cuarta se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos del BIOL mineralizado con mejor resultado en el biotest, para control de calidad. Finalmente, se realizó un análisis de costo beneficio para la producción artesanal del bioinsumo. Los resultados obtenidos demostraron que es posible producir un biofertilizante usando como base el biol, con la adición de Andesita pulverizada y MONAs, los cuales pueden ser usados en la producción orgánica de lechuga con buenos resultados, además de que los costos de producción artesanal pueden ser costeados por los pequeños agricultores.

Palabras Clave: Microorganismos Nativos del Altiplano, Biofertilizante, Biol Mineralizado, Agroecología

1 INTRODUCCIÓN

Durante la década de los 80`s el Profesor Teruo Higa de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, estudio el uso de Microorganismos Eficientes (EM) en el mejoramiento del crecimiento de las plantas y su acción contra las plagas y enfermedades en ellas (EEAITAJ, 2013). El Dr. Cho Han de Corea del Sur desarrollo una agricultura natural en la década de los 70`s, asiéndola simples, practica, innovadora y replicable para el beneficio de los pequeños agricultores, en base al uso de Microorganismos Indígenas (IMO), minerales y materia orgánica (Reddy and SARRA, 2011).

El uso de microorganismos en la agricultura no es un concepto nuevo, es una práctica antigua que se vio afectada con la llegada de la “Revolución Verde”. El estudio de los microorganismos nativos en otros países, en los que el suelo está muriendo, promete una alternativa amigable y económica para la agricultura, mejorando de esta manera la calidad de los alimentos que consumimos.

Entre las acciones a realizarse para reproducir los microorganismos nativos, está el hecho de obtener la hoja rasca (hojas caídas y en descomposición) de los bosques. Sin embargo, en una zona de clima seco como lo es el Altiplano Boliviano, y que además carece de áreas boscosas, pensar en esta posibilidad conlleva un gasto en el transporte del material requerido.

Por tal motivo la Estación Experimental Choquenaira desea trabajar con esta línea de investigación, considerando que se tienen pocos estudios sobre esta temática en esta zona y además de esta manera se podrá promover las técnicas de agroecología, enfocados en el mediano y pequeño productor.

En este sentido la presente investigación permite establecer la cantidad de días aptos de incubación y las especies vegetales nativas que tengan mayor actividad microbiana.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Producir un biofertilizante mineralizado en la Estación Experimental Choquenaira (Viacha) para incentivar técnicas agroecológicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar el Biofertilizante mineralizado con microorganismos nativos y rocas pulverizadas, disponibles en la zona de estudio (Estación Experimental Choquenaira – Viacha).
- Evaluar la eficiencia del Biofertilizante mineralizado en un cultivo controlado (Biotest).
- Analizar la composición fisicoquímica, química y microbiológica del Biofertilizante mineralizado más eficiente.
- Analizar la relación Costo-Beneficio del Biofertilizante mineralizado obtenido para incentivar técnicas agroecológicas.

3 METODOLOGÍA

El área de estudio donde se obtuvieron los Microorganismos Nativos del Altiplano (MONA), está localizada en el Centro Experimental Choquenaira dependiente de la Facultad de Agronomía de la UMSA, Municipio de Viacha. Ubicada geográficamente entre las coordenadas 16°42'5'' de latitud sur y 68°15'54'' longitud oeste a una altitud de 3820 m (Tambo et al., 2016).

ETAPA 1 (RECOLECCIÓN Y REPRODUCCIÓN DE LOS MONA)

Se seleccionaron tres especies nativas presentes en la estación experimental, la *Festuca orthophylla* (Paja), *Buddleja coriacea* (Qhiswara) y *Baccharis boliviensis* (Tola), de las cuales se realizó una prueba cualitativa de la salud del suelo, a nivel de la rizosfera de cada especie seleccionada, mediante pruebas de Cromatografía de papel circular Pfeifer en suelos¹. El procedimiento que se siguió fue el propuesto por Restrepo y Pinheiro (2011). El cual se divide en dos procesos uno en el campo, con el muestreo y la preparación previa de la muestra de suelo y otra en el laboratorio que consiste en la preparación de los reactivos, el papel filtro y el análisis en sí.

Para realizar la recolección de los Microorganismos Nativos del Altiplano (MONA), se seleccionó la especie que presentó un suelo con abundante actividad microbiológica, esto puede ser verificado mediante los resultados de las pruebas de cromatografía en papel.

Posteriormente se emplearon trampas de arroz, preparadas según el procedimiento propuesto por Simón (2015). Las trampas de arroz se prepararon de la siguiente manera:

¹ La cromatografía de suelos es un método rápido que nos permite determinar la salud del suelo en un corto periodo de tiempo y con pocos materiales.

(a) se colocó arroz precocido en un recipiente limpio y desinfectado con peróxido de hidrógeno al 3%, (b) se recubrió con gaza (10 x 10 cm).



Ilustración 1

Elaboración de las trampas de arroz

Las trampas se dejaron enterradas en el suelo, a una profundidad de 5 a 10 cm a nivel de la rizosfera de una especie nativa y se evaluó el tiempo de inoculación.

Pasado el tiempo óptimo de inoculación, se procedió a su preproducción mediante el método que el Dr. Cho Han Kyu propone (Reddy & SARRA, 2011). El método consiste en mezclar el contenido de las trampas de arroz con azúcar morena en una relación de 1:1, pero en este caso se utilizó Chancaca. Posteriormente se dejó reposar por 7 días antes de la mezcla con los demás materiales.

ETAPA 2 (ELABORACIÓN DEL BIOL MINERALIZADO)

Para desarrollar el BIOL mineralizado se seleccionó tres diferentes tipos de rocas (Andesita, Cuarzita y Caliza). Se seleccionó estas rocas por la disponibilidad que estas tienen en la Estación Experimental.

Pasado el tiempo de reproducción de los MONA se procede a realizar distintas mezclas con la roca pulverizada y BIOL, como base del BIOL mineralizado. Para esta mezcla se usa BIOL recién cosechado para tener un máximo de microorganismos posibles. Se estableció un tiempo de fermentación de tres meses, que es el tiempo que recomiendan Alvarez (2010) y Mamani, Chávez, and Ortuño (2018) para climas fríos, en la elaboración de biol.

Se formuló tres mezclas de BIOL mineralizado, con tres diferentes tipos de rocas para cada una y se aplicaron tres repeticiones. Las cantidades de cada uno de los ingredientes se calcularon en base a estudios anteriores sobre la elaboración de bioles y la dimensión de los tanques de fermentación.

Tabla 1*Dosis para la elaboración de los BIOL mineralizado*

Código	Descripción	Biol [ml]	Chancaca [g]	Andesita [g]	M.N. [g]
M0 x R1	Biol + Andesita	1500	300	500	-
M1x R1	Biol + Andesita + MONA	1500	300	500	300
		Biol [ml]	Chancaca [g]	Caliza [g]	M.N. [g]
M0 x R2	Biol + Caliza	1500	300	500	-
M1x R2	Biol+ Caliza + MONA	1500	300	500	300
		Biol [ml]	Chancaca [g]	Cuarcita [g]	M.N. [g]
M0 x R3	Biol + Cuarcita	1500	300	500	-
M1x R3	Biol+ Cuarcita +MONA	1500	300	500	300

ETAPA 3 (APLICACIÓN DE LAS MEZCLAS DE BIOL MINERALIZADO A LOS BIOTEST)

La planta seleccionada para la realización de los biotest fue: Lechuga (*Lactuca sativa L.*) crespa por su resistencia a las bajas temperaturas.

Diseño experimental: Para probar la efectividad de las mezclas de BIOL mineralizado en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*), se realizó un análisis de varianza ANOVA (Analysis Of Variance, en inglés), con el paquete informático *IBM SPSS Statistic versión 22* para observar si existen diferencias estadísticamente significativas, con respecto a la aplicación de MONA en dichas mezclas. Se empleó el Diseño completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones y dos testigos con tres repeticiones.

Hipótesis estadística.

H₀. La aplicación de MONA en el BIOL mineralizado no influye en el desarrollo de las plantas de lechugas con un nivel de significancia del 5%. (Hipótesis nula)

H₁. La aplicación de MONA en el BIOL mineralizado influye en el desarrollo de las plantas de lechugas con un nivel de significancia del 5%. (Hipótesis alterna)

Si el grado de significancia de los datos arroja un valor por debajo de 5% ($P < 0.05$), nos indica que H₁ es verdadera, denotándose que existen diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas, afectando el crecimiento de las lechugas.

Variable independiente: BIOL con adición de roca pulverizada y MONA

Variable dependiente: Número de hojas, Altura de la planta, Diámetro del cogollo (cuello de la planta), Diámetro de la cobertura foliar, Peso de la producción.

Número de unidades experimentales: 6 unidades experimentales más 2 testigos. Se realiza el tratamiento por triplicado

Variables de respuesta: Se realizó la medición de las siguientes variables: Numero de hojas, Altura de la planta, Diámetro del Cogollo, Diámetro de Cobertura foliar, Peso.

Aplicación de las mezclas de BIOL mineralizado: La primera aplicación fue posterior al trasplante, esto para reducir el riesgo de mortalidad de los plantines, la aplicación fue al 30% en el suelo. Si bien la aplicación posterior puede ir de un 3 a 7% de concentración (Jairo Restrepo, 2007), la dosificación elegida fue del 6% de manera foliar cada 15 días hasta la cosecha, tal como lo indica la investigación de Pomboza et al. (2016).

ETAPA 4 (ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO)

Análisis fisicoquímico

Se realizó un análisis químico de la roca pulverizada y de la mezcla que tuvo la mejor respuesta, según las variables agronómicas, y los análisis físicos: pH, C.E., densidad.

Análisis microbiológico

Se realizarán los siguientes análisis: Recuento de Coliformes totales, Bacterias Mesófilas y Mohos y levaduras. Además de realizarse estos análisis de rutina se realizó un recuento de microorganismos específicos, Fijadores de nitrógeno, solubilizadores de Fosforo, solubilizadores de Potasio y solubilizadores de Calcio.

Se realizó una siembra en superficie, se esparció 0.1 ml de muestra sobre placas preparadas, haciendo la expansión con un asa de Digalsqui previamente desinfectada.

ETAPA 5 (ANÁLISIS COSTO BENEFICIO)

Para la determinación de esta variable se consideró el valor de la materia prima, herramientas, transporte de materiales y mano de obra. El propósito de este análisis fue para ver si el trabajo de investigación presenta rentabilidad. La relación Beneficio/Costo se calculó dividiendo el valor bruto de la producción y el costo de producción.

Dónde:

$$B/C = \frac{VBP}{CP}$$

B/C = Beneficio Costo [Bs]

VBP = Valor bruto de la producción [Bs]

CP = Costos de Producción [Bs]

4 RESULTADOS

FASE SE CAMPO

Resultado de la cromatografía de suelos

El análisis de cromatografía de suelos se realizó en las instalaciones de la Estación Experimental Choquenaira – Viacha. La valoración de los Cromas que se realizaron, tras el análisis cualitativo de Cromatografía de suelos, presentaron los siguientes resultados:

Tabla 2

Resultados del Análisis Cromatografico de suelos

Qhiswara	Tola	Paja
Presenta un centro de color crema que indica una buena cantidad de Oxígeno. La forma de plumas que integran las zonas del croma indica buena integración de los minerales, los microorganismos y la materia orgánica. Las formaciones de dientes con manchas en los bordes indican reservas Húmicas	A pesar de que existe integración entre los minerales, la materia orgánica y los microorganismos el centro definido nos indica que es un suelo compacto. Los bordes indican no presentan gran cantidad de reservas Húmicas	A pesar de que existe integración entre los minerales, la materia orgánica y los microorganismos el centro definido nos indica que es un suelo compacto. Los bordes indican ausencia de reservas Húmicas.
Conclusión: Presenta una buena cantidad de materia orgánica y una armonía entre la cantidad de minerales y microorganismos	Conclusión: Presenta buena cantidad de materia orgánica y minerales pero los microorganismos presentes en su mayoría son anaerobios.	Conclusión: Presenta buena cantidad de materia orgánica y minerales pero los microorganismos presentes en su mayoría son anaerobios.



Viendo los resultados revelados por los cromatogramas se opta por realizar la recolección de los MONA a nivel de la rizosfera de la **Qhiswara**, ya que sus características nos permitirán tener una mayor diversidad de microorganismos.

Recolección y reproducción de los MONA

Considerando que la temperatura del altiplano suele ser menor a los 20 °C, se prepararon varias trampas, las cuales se desenterraron a los 10, 15 y 20 días, para realizar un

seguimiento visual del desarrollo de los MONA y poder establecer un tiempo óptimo de inoculación.

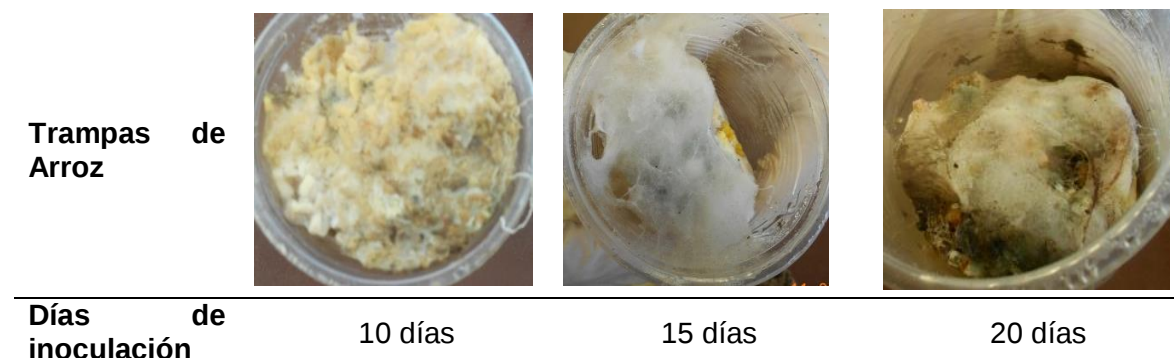


Ilustración 2

Tiempo de inoculación óptima de las Trampas de Arroz

Nota: Fotografías tomadas por la autora.

En la ilustración 2 se puede observar la diferencia que existe entre los tiempos de inoculación, a los 20 días las trampas empiezan a secarse, mostrando una coloración más oscura. Simón (2015) establece que las colonias de microorganismos de colores verde y blanco son los que requerimos para la posterior reproducción. Considerando esta referencia y las bajas temperaturas del altiplano se estableció un periodo de **10-15 días** de espera para que los MONA se inoculen las trampas de arroz enterradas.

Se realiza la mezcla del arroz inoculado y Chancaca, después de 7 días de reposo, los MONA adquieren un aroma dulce parecido al del batido de bicervecina.

Elaboración de las mezclas de BIOL mineralizado

La elaboración del BIOL mineralizado tuvo un proceso de fermentación de tres meses, tiempo en el cual alcanzaron la madurez adecuada y estuvieron listos para su posterior dosificación en los biotest y el análisis en el laboratorio.

Como bien indica Jairo Restrepo (2007) la formación de la nata y/o espuma blanca es un indicador de calidad del BIOL, si este fuera de color verde azulado o violeta indican un mal proceso de fermentación y el producto debe ser descartado.

De esta manera podemos realizar un examen visual de calidad al observar en la ilustración 3 la presencia de la nata blanca en las diferentes mezclas. Estando en mayor presencia en las mezclas M1xR3, M1xR2 y M1xR1, siendo estas las que contienen los MONA, indicando así que los agregados de estos mejoran la calidad del BIOL.

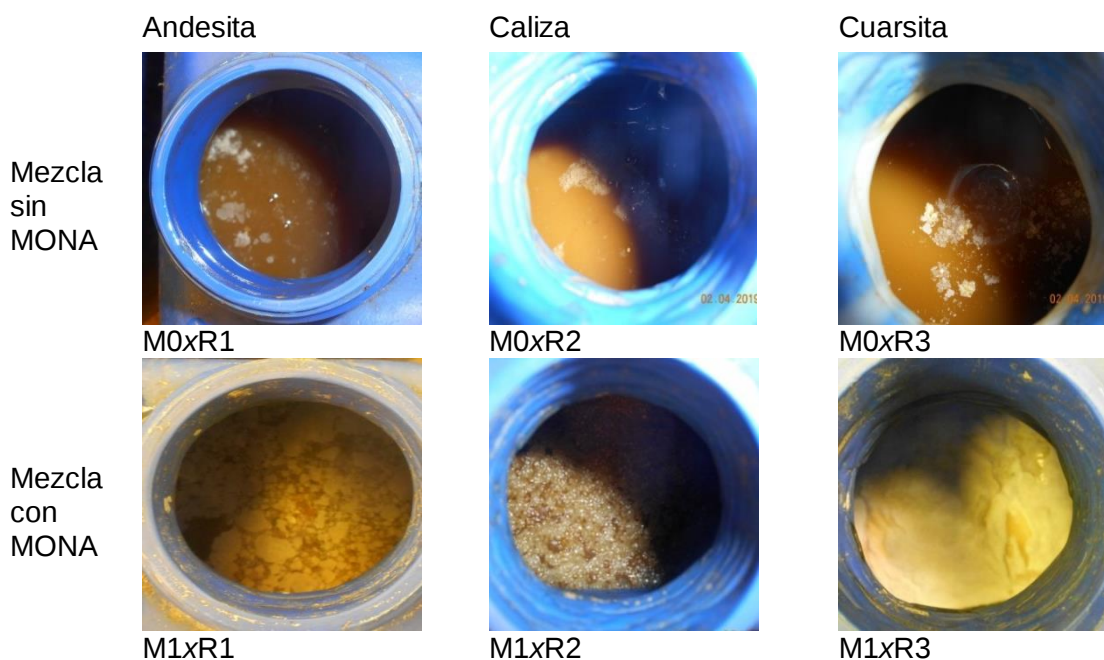


Ilustración 3

Control visual de la madurez de las mezclas de BIOL mineralizado, tras tres meses de fermentación.

Nota: Se puede confirmar la madurez del BIOL si es de color ámbar, olor a fermento y la formación de una nata blanca

Variables de respuesta de los biotest

Para realizar el análisis de la varianza se considera dos grupos; M0 que no contienen MONA y M1 que contiene MONA, además de dos testigos. Con los datos obtenidos se realizó los siguientes análisis de varianza (al 95 % de confianza) para el Número de hojas, Altura de la planta, Diámetro del cogollo (cuello de la planta), Diámetro de la cobertura foliar, Peso de la planta.

Al evidenciar que la hipótesis alterna se acepta en tres de las cinco variables de respuesta establecemos que la aplicación de MONA en las mezclas de BIOL mineralizado influye de manera positiva en el desarrollo de la planta de lechuga.

Se observa que, quien obtuvo un mejor rendimiento en el número de Hojas, en la Altura y en el Peso de la planta es la mezcla M1 x R1. Esto puede indicarnos que la mezcla M1 x R1, (BIOL + Andesita + Microorganismos Nativos del Altiplano) es la que mejor resultados obtuvo por lo que se procedió a realizar el análisis químico de esta mezcla.

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Análisis químico las rocas

Según los resultados presentados en la tabla 3 la andesita presenta una mayor diversidad de elementos en cantidad superiores con respecto a la Caliza, que es superior solo en calcio con un 36,4%, y a la Cuarcita, que es superior solo en el silicio con un 86,0 %, el hierro con 2,24% y el cobre con 403,0 ppm.

Tabla 3

Análisis químico de las rocas: Andesita, Caliza y Cuarcita

	Ca[%]	Cu [ppm]	Fe[%]	K[%]	Mg[%]	Mo [ppm]	Na[%]	P [ppm]	S[%]	Si[%]
Andesita	1,84	64,50	1,80	2,53	0,36	1,10	3,10	540,00	0,07	64,90
Caliza	36,40	27,50	0,31	0,54	0,42	0,47	0,07	160,00	0,05	9,40
Cuarcita	0,46	403,00	2,24	0,55	0,11	0,66	0,31	180,00	0,01	86,00

Nota: Extraído del reporte del análisis de laboratorio “spectrolab”, según requerimientos solicitados.

Análisis de fisicoquímico de las mezclas de BIOL mineralizado elaborados

Entre los parámetros de calidad que se consideran para la elaboración del BIOL mineralizado, están el pH y la Conductividad eléctrica, como se muestra en la tabla 4. El pH y la conductividad eléctrica se comparan con la NMX-FF-109-SCFI-2008² Norma Mexicana “Humus de Lombriz”, a falta de una norma específica para biofertilizantes en el país. Se puede observar que la conductividad eléctrica está por debajo de la norma lo que facilita el intercambio iónico.

Tabla 4

Resultados de densidad pH y C.E. de las mezclas de BIOL mineralizado

	pH	pH ^(a)	C.E. [ds]	C.E. [ds] ^(a)	Densidad [g/ml]
BIOL + Andesita	5	5,5 a 8,5	0,0650	≤ 4	1,0252
BIOL + Caliza	7	5,5 a 8,5	0,0885	≤ 4	1,0254
BIOL + Cuarcita	5	5,5 a 8,5	0,0625	≤ 4	1,0253
BIOL + Andesita + MONA	5	5,5 a 8,5	0,0647	≤ 4	1,0287
BIOL + Caliza + MONA	6	5,5 a 8,5	0,0846	≤ 4	1,0275
BIOL + Cuarcita + MONA	5	5,5 a 8,5	0,0640	≤ 4	1,0282

^a Según la norma NMX-FF-109-SCFI-2008

² NMX-FF-109-SCFI-2008 Norma Mexicana “Humus de Lombriz”. TABLA 2. Especificaciones Fisicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta), p.9.

Si bien el pH de las mezclas M0xR1, M0xR3, M0xR1 y M1xR3 están fuera del rango establecido por la norma la NMX-FF-109-SCFI-2008, estos han actuado adecuadamente durante la aplicación a los biotest, asimismo al diluir los estas mezclas de BIOL mineralizado, se observó que el pH llega a establecerse entre 6 y 7. Durante el proceso de fermentación el comportamiento del pH nos muestra una tendencia hacia la acides. Estos fertilizantes pueden ser recomendados para tierras alcalinas.

Tabla 5

Análisis químico de las mezclas de BIOL mineralizado M0xR1 y M1xR1

	Ca [mg/L]	Cu [mg/L]	Fe [mg/L]	K [mg/L]	Mg [mg/L]	Mo [mg/L]	Na [mg/L]	P [mg/L]	S [mg/L]	Si [mg/L]
M0xR1 ^(a)	308,00	0,116	23,60	1572,00	166,00	0,004	254,40	ND	ND	372,00
M1xR1 ^(b)	328,00	0,104	29,20	1764,00	176,40	0,004	257,60	ND	ND	368,00

Nota: Extraído del reporte del análisis de laboratorio “spectrolab”, según requerimientos solicitados.

^a M0xR1; BIOL + Andesita

^b M1xR1; BIOL + Andesita + Microorganismos Nativos del Altiplano

Los resultados presentados en la anterior tabla nos indican que la mezcla M1xR1 tiene una mayor concentración de Calcio, Hierro, Potasio, Magnesio, Sodio, y Silicio, en comparación a la mezcla M0xR1. Además de los análisis de los resultados de la tabla 5, se analizó la cantidad de nitrógeno y carbono.

Tabla 6

Relación de Carbono-Nitrógeno de las mezclas de BIOL mineralizado M0xR1 y M1xR1

	C [mg/L]	N [mg/L]	C/N	C/N ^a
M0xR1	6214	574,60	10,81	≤20
M1xR1	7876	538,20	14,63	≤20

^a Según la norma NM X-FF-109-SCFI-2008

Al comparar la relación C/N con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 se puede observar que esta es menor a 20, lo que indica un nivel alto de Nitrógeno en las mezclas de BIOL mineralizado, probando una vez más su calidad.

Análisis microbiológico

En el caso de la elaboración de las mezclas de BIOL mineralizado se tomó como referencia dos de los preparados, uno que contiene MONA y el otro que no la contiene, se toma la mezcla con andesita ya que es la que contiene mayor cantidad de minerales.

Tabla 7

Recuento de Coliformes Totales para las mezclas de BIOL mineralizado M0xR1 y M1xR1 al inicio del estudio, a las tres semanas y a los tres meses.

	Código	Parámetro	Resultados	Límite Aceptable	Norma de Referencia
Al inicio	M0 x R1 ^(c)	<i>Escherichia coli</i>	460 NMP/ml	≤1000 NMP/g	NMX-FF-109-SCFI-2008 ^(a)
	M1 x R1 ^(d)	<i>Escherichia coli</i>	20 NMP/ml	≤1000 NMP/g	NMX-FF-109-SCFI-2008
Tres semanas	M0 x R1	Coliformes Fecales	93 NMP/ml	≤1000 NMP/ml	NADF-020-AMBT-2011 ^(b)
	M1 x R1	Coliformes Fecales	240 NMP/ml	≤1000 NMP/ml	NADF-020-AMBT-2011
Tres meses	M0 x R1	Coliformes Totales	93 NMP/ml	-	-
	M1 x R1	Coliformes Totales	43 NMP/ml	-	-

Nota: Comparación con la una norma mexicana a falta de una específica en nuestro país.

^a Según la norma NM X-FF-109-SCFI-2008

^b Según la norma NADF-020-AMBT-2011

^c M0xR1; Biol +Andesita

^d M1xR1; Biol +Andesita + Microorganismos Nativos del Altiplano

Como se puede observar en los resultados de la tabla 7, el NMP/ml de cada mezcla es menor al límite establecido según la normas mexicanas NMX-FF-109-SCFI-2008 y NADF-020-AMBT-2011³. Además de ello podemos destacar que la concentración de *Escherichia coli* que se encuentra en la mezcla M-1 x R-1, está muy por debajo de la concentración de mezcla M-0 x R-1. Quizá esto se deba al exceso de microorganismos en la mezcla M-1 x R-1 a la cual se le añadieron los MONA, lo que provoca una competencia entre especies y denota la superioridad de los microorganismos nativos.

Posteriormente podemos observar que a las tres semanas de fermentación la concentración de los Coliformes Fecales es muy inferior respecto a los límites aceptados por la Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011.

Después de los tres meses de fermentación requerida, la cantidad de Coliformes Totales es escasa, descartando de esta manera la contaminación con microorganismos patógenos.

³ NMX-FF-109-SCFI-2008 Norma Mexicana “Humus de Lombriz”. TABLA 2. Especificaciones Físicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta), p.9. NADF-020-AMBT-2011 Norma Mexicana “Producción de composta a partir de la Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y Forestales”. Tabla 5. Valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas, p. 78

Tres semanas después del inicio del proceso de fermentación se realiza el recuento de microorganismos estableciendo una dilución de 10^{-5} para las Bacteria Mesofilas, Mohos y levaduras, que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8

Recuento de microorganismos (UFC/ml) presentes en las mezclas de BIOL mineralizado a las tres semanas de fermentación.

	Bacterias Aerobias [UFC/ml]	Levaduras [UFC/ml]	Mohos [UFC/ml]
BIOL + Andesita	$1,1 \times 10^6$	$5,6 \times 10^5$	$8,0 \times 10^4$
BIOL + Caliza	$1,2 \times 10^7$	$5,8 \times 10^7$	1×10^7
BIOL + Cuarcita	$1,2 \times 10^6$	$9,4 \times 10^5$	1×10^6
BIOL + Andesita + MONA ^(a)	$8,2 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$6,1 \times 10^4$
BIOL + Caliza + MONA ^(a)	$1,3 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	$6,0 \times 10^4$
BIOL + Cuarcita + MONA ^(a)	$1,1 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	1×10^6

Nota: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

^a MONA; *Microorganismos Nativos del Altiplano*

Posteriormente se realiza otro recuento de microorganismos a los tres meses de fermentación, que es cuando se procede con la prueba en los Biotest, estableciendo una dilución de 10^{-5} para el recuento de Bacteria Mesofilas, Mohos y levaduras, además de ellos se realizó un recuento de microorganismos específicos, Fijadores de nitrógeno, solubilizadores de Fosforo, solubilizadores de Potasio y solubilizadores de Calcio. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9

Recuento de microorganismos (UFC/ml) presentes en las mezclas de BIOL mineralizado a los tres meses de fermentación

	Bacterias Aerobias [UFC/ml]	Levaduras [UFC/ml]	Mohos [UFC/ml]	Sol. K [UFC/ml]	Sol. Ca [UFC/ml]	Sol. P [UFC/ml]	Fijadores de N [UFC/ml]
BIOL + Andesita	$6,0 \times 10^5$	< 3	$2,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	< 3	$3,0 \times 10^5$
BIOL + Caliza	$2,0 \times 10^5$	< 3	$3,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	< 3	$1,0 \times 10^5$
BIOL + Cuarcita	$3,0 \times 10^5$	< 3	$1,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$
BIOL+Andesita+ MONA	$3,0 \times 10^5$	< 3	$1,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$1,4 \times 10^6$	$7,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$
BIOL+ Caliza + MONA	$5,0 \times 10^5$	< 3	$1,0 \times 10^5$	< 3	$2,0 \times 10^5$	< 3	$2,0 \times 10^5$
BIOL+Cuarcita+ MONA	$9,0 \times 10^5$	< 3	$4,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	$6,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$

Nota: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

Poniendo en consideración la Tabla 9, podemos destacar que las mezclas *BIOL+Andesita+MONA* y *BIOL+Cuarcita+MONA* que son las que mayor cantidad de microorganismos contienen.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El costo de producción para 15 litros de BIOL mineralizado fue de 92,30 bolivianos, también se consideró 10% por costo administrativos y 5 % por imprevistos asiendo un total de 106,10 bolivianos. Además de ello se considera la adición de un 20% para el valor bruto de producción.

$$\frac{B}{C} = \frac{VBP}{CP} \qquad \frac{B}{C} = \frac{127,3 \text{ [Bs]}}{106,1 \text{ [Bs]}} \qquad B/C = 1,2$$

La relación $B/C > 1$: lo que indica la viabilidad del proyecto, en caso de una posible comercialización.

Tabla 10

Precios de biofertilizantes comercializados en el mercado Nacional

PRODUCTO	PRECIO	DISTRIBUIDO
EM (Microorganismos Eficaces)	119 [Bs/l]	BIOTEM
BioBull	76 [Bs/l]	Biotop s.r.l.
Humus de lombriz	45 [Bs/kg]	

Nota: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Considerando los precios de los biofertilizantes comercializados en el mercado, podemos destacar que el producto elaborado en este trabajo de investigación tiene un costo mucho menor, siendo el valor bruto de producción 8,50 bolivianos por litro. Esto debido a que no se consideraron los costos fijos de producción y el costo de la adquisición de las rocas como materia prima, ya que estas fueron recolectadas en cercanías de la Estación Experimental Choquenaira. Sin embargo, cabe destacar que la producción local de los bioinsumos, en este caso del BIOL mineralizado, es una opción viable ya que para tal procedimiento se emplean materiales propios del lugar reduciendo ciertos costos.

5 CONCLUSIONES

El resultado de la investigación concluye que es posible producir un biofertilizante usando como base el BIOL y la adición de roca pulverizada (harina de rocas) y microorganismos nativos del altiplano (MONA) en la Estación Experimental Choquenaira (Viacha).

La preparación de las mezclas de BIOL mineralizado tomó un tiempo de tres meses, empleando en ello el BIOL, que producen en el lugar, los Microorganismos Nativos del Altiplano (MONA) y las rocas Andesita, Caliza y Cuarcita. Todos estos materiales se encuentran en proximidades de la Estación Experimental Choquenaira – Viacha, facilitando de esta manera su traslado y elaboración.

Para evaluar la eficiencia de las mezclas de BIOL mineralizado se empleó el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) crespa, seleccionada por su resistencia a las bajas temperaturas. En esta prueba tres de las cinco variables de respuestas fueron favorables para la mezcla M1xR1, que es la que contiene MONA y roca pulverizada de andesita. Además de las variables de respuesta se pudo observar que los biotest que fueron tratadas con las mezclas de BIOL mineralizado que contenían los MONA tenían cierta resistencia a las bajas temperaturas.

Se analiza la composición fisicoquímica, química y microbiológica de la mezcla M1xR1 (MONA + Andesita) destacando en ello la calidad del producto obtenido, al compararlo con los parámetros Fisicoquímicos de la Norma Mexicana “Humus de Lombriz” NMX-FF-109-SCFI-2008. En este sentido se puede destacar la relación C/N, la cual indica un alto contenido de nitrógeno. En el caso del análisis microbiológico se destaca el recuento de microorganismos específicos, como ser: Fijadores de nitrógeno, solubilizadores de Fosforo, solubilizadores de Potasio y solubilizadores de Calcio, siendo este último el que se encuentra con mayor abundancia.

Mediante el análisis Costo-Beneficio se logra demostrar que la producción de este tipo de Biofertilizantes puede llegar a ser rentable, considerando que el costo de producción por litro alcanzó un monto de 8,50 Bs. Considerando su bajo costo y su elaboración sencilla es posible implementar estas técnicas en la agricultura familiar y comunitaria.

6 RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones con el BIOL mineralizado elaborado en otros tipos de cultivo además de la *Lactuca sativa* L.

Realizar la captura de los MONA en época de humedad (diciembre – marzo), ya que esto beneficia la inoculación de los microorganismos en el arroz.

Realizar estudios de biorremediación empleando los MONA, ya que distintos autores sugieren su uso para el tratamiento de aguas estancadas o en la restauración de suelos de cultivo.