

Evaluación de orina humana en fertilidad del suelo y cultivo de quinua en Puna, Potosí

Evaluation of human urine in soil fertility and quinoa cultivation in Puna, Potosí

Oscar Ranulfo Ayala Aragón ¹ ✉ • Milenka Vanessa Almanza Lopez ²

Recibido: 21 Agosto 2024 / Revisado: 10 Octubre 2024 / Aceptado: 15 Noviembre 2024 / Publicado: 20 Diciembre 2024

Resumen

El estudio investiga el uso de orina humana como fertilizante en el cultivo de quinua bajo condiciones agroecológicas en la localidad de Puna, Potosí, Bolivia. Se analizó el impacto del fertilizante en tres diferentes escenarios: orina almacenada por 30 días, 15 días y sin almacenamiento. La investigación se llevó a cabo en un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres niveles de compactación del suelo: poco compacto, medianamente compacto y muy compacto. Se observó que la orina almacenada por 30 días produjo los mejores resultados en términos de rendimiento de semillas, altura de plantas y longitud de panojas, superando significativamente a los otros tratamientos. Además, el análisis físico-químico del suelo reveló mejoras notables en la fertilidad del suelo, con incrementos en pH, materia orgánica, y capacidad de intercambio catiónico tras la aplicación del fertilizante. Sin embargo, la compactación del suelo también jugó un papel importante, mostrando que los suelos poco compactos permitieron un mayor crecimiento en altura y longitud de panojas, aunque con una mayor variabilidad. En términos bioquímicos, la orina almacenada por 30 días presentó los niveles más altos de nitrógeno ureico y un menor recuento de colonias bacterianas, sugiriendo que el almacenamiento mejora la calidad del fertilizante. Este estudio concluye que el uso de orina humana, especialmente cuando se almacena adecuadamente, puede ser una estrategia eficaz y sostenible para mejorar la producción de quinua en condiciones de agricultura de secano.

Palabras claves: Fertilizante orgánico, Labranza mínima, Seguridad alimentaria, Agricultura sostenible.

Milenka Vanessa Almanza Lopez
<https://orcid.org/0009-0000-6251-4451>

✉ Oscar Ranulfo Ayala Aragón / ayalaoscarr@gmail.com /
ayalaoscar@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0003-4573-107X>

1 Universidad Autónoma Tomás Frías - Potosí, Bolivia
2 Universidad Pública de El Alto

Abstract

The study investigates the use of human urine as a fertilizer in quinoa cultivation under agroecological conditions in the locality of Puna, Potosí, Bolivia. The impact of the fertilizer was analyzed in three scenarios: urine stored for 30

days, 15 days, and without storage. The research was conducted using a completely randomized block design with three levels of soil compaction: slightly compacted, moderately compacted, and highly compacted. It was observed that urine stored for 30 days produced the best seed yield, plant height, and panicle length results, significantly outperforming the other treatments. Additionally, the physicochemical analysis of the soil revealed notable improvements in soil fertility, with increases in pH, organic matter, and cation exchange capacity after the fertilizer application. However, soil compaction also played an important role, showing that slightly compacted soils allowed for greater height and panicle length growth, although with more significant variability. In biochemical terms, urine stored for 30 days had the highest levels of urea nitrogen and a lower bacterial colony count, suggesting that storage improves fertilizer quality. This study concludes that using human urine, especially when properly stored, can be an effective and sustainable strategy for improving quinoa production in dryland farming conditions.

Keywords: Organic fertilizer, Minimum tillage, Food security, Sustainable agriculture .

Introducción

Las políticas gubernamentales en seguridad alimentaria buscan fomentar cultivos altamente nutritivos y adaptables a diversos entornos. En este contexto, este estudio investiga el impacto de la orina humana como fertilizante en el cultivo de quinua y su influencia en el suelo. La localidad de Puna, caracterizada por condiciones climáticas propicias, sirve como escenario para este análisis. El uso de orina como abono se plantea como una estrategia que puede tener implicaciones significativas en la mitigación de la pobreza, la lucha contra la desnutrición y la mejora de la balanza comercial de fertilizantes químicos en

países importadores, como es el caso en regiones tropicales (Alaba, et al., 2024).

El empleo de orina humana como fertilizante se presenta como una alternativa innovadora en el ámbito de la seguridad alimentaria. Esta práctica puede contribuir a abordar problemas multifacéticos. En primer lugar, la disponibilidad de un fertilizante gratuito y ampliamente accesible puede extender las oportunidades de cultivo y mejorar la seguridad alimentaria en comunidades que carecen de recursos para adquirir fertilizantes químicos costosos (Moussa et al., 2021).

Uno de los aspectos fundamentales a considerar es que los nutrientes vegetales ingeridos en la dieta humana son posteriormente eliminados en las excretas. Este proceso mantiene un equilibrio en el balance de nutrientes entre lo consumido y lo excretado. Esto permite calcular con precisión los nutrientes vegetales excretados a partir de la ingesta de alimentos, lo que resulta más práctico y preciso que evaluar directamente las excretas (Rueda-Morales, 2019).

La higienización de la orina antes de su uso es crucial para garantizar la seguridad tanto en términos sanitarios como en la producción agrícola. La investigación en este campo debe enfocarse en prácticas seguras y eficaces para manejar la orina como fertilizante, minimizando riesgos para la salud humana y el ambiente (Tacanga & Vargas, 2021).

La fertilidad del suelo es un pilar de la agricultura sostenible, y el reciclaje de excretas humanas y animales, residuos orgánicos y estiércol es una estrategia eficaz para su conservación. Estos productos contienen nutrientes vegetales esenciales que pueden reincorporarse al suelo (Alemayehu et al., 2020). En este contexto, este trabajo de investigación se enfoca en el reciclaje de orina como elemento clave para mantener la fertilidad en el cultivo de quinua.

El enfoque de producción agroecológica adoptado en esta investigación implica prácticas de labranza mínima y una reducción en el

manejo tradicional del cultivo y el uso de abono orgánico como factor experimental (Saliu et al., 2024). Asimismo, la investigación se llevó a cabo en condiciones de secano para garantizar su relevancia en las condiciones locales de producción y sus limitaciones.

La orina humana es una fuente rica en nutrientes vegetales esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros micronutrientes esenciales (Toledo, 2019). Estos nutrientes, que son expulsados del cuerpo humano, son recursos valiosos para la agricultura. Una vez reciclada y tratada, la orina se convierte en una fuente sostenible y accesible de nutrientes para los cultivos, en este caso, el cultivo de quinua.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de orines humanos, considerando dos periodos de almacenamiento, en las características del suelo y la producción de quinua en Puna. Para ello se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la aplicación de orines humanos en características físico químicas del

suelo

- Evaluar el rendimiento de quinua por efecto de la aplicación de orines humanos como fertilizante, bajo condiciones agroecológicas de labranza mínima y secano.

- Identificar las principales características bioquímicas de los orines humanos en diferentes periodos de almacenamiento

Se planteó que un mayor tiempo de almacenamiento de la orina mejoraría el rendimiento y las características agronómicas del cultivo de quinua.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló en las campañas agrícolas de 2017 y 2018. Se seleccionó la granja de Puna como el sitio experimental por sus condiciones geográficas y climáticas idóneas para el cultivo de quinua bajo prácticas agroecológicas. A continuación, se presenta en la tabla 1, las características principales de esta zona (SENAMHI, 2018):

Tabla 1. Características zona de estudio

Características	Detalle
Departamento	Potosí
Provincia	José María Linares
Municipio	Puna
Ubicación	Granja de Puna
Distancia a Potosí	68 km
Altitud	3420 msnm
Latitud Sur	19,8º
Longitud Oeste	65,5º
Temperatura Media	12,5ºC
Meses de Temperatura más Baja	Junio y Septiembre
Frecuencia anual heladas	58 días
Evapotranspiración real anual promedio	102.9 mm
Precipitación Anual Promedio	340 mm

Nota.- Datos obtenidos de CETA-PUNA (2018)

El ensayo se implementó bajo un sistema de labranza mínima, también conocida como labranza conservacionista, que se caracteriza por reducir al mínimo las labores de preparación del suelo necesarias para las actividades agrícolas de preparación del suelo (Luna-Robles et al., 2022). En este contexto, se preparó el terreno mediante dos pasadas con arado de disco antes de proceder con la siembra, lo que permitió preservar la estructura del suelo y mantener su integridad para un manejo más sostenible del cultivo.

El cultivo se desarrolló en condiciones de secano, aprovechando la temporada de lluvias que se extiende de octubre a febrero. Durante este periodo, la precipitación promedio fue de 340 mm (SENAMHI, 2018).

La textura del suelo de la granja de Puna es franco arenoso (CETA-PUNA, 2018). Con el fin de evaluar de manera más precisa los efectos de la aplicación de orina humana como fertilizante, se realizó un análisis físico-químico y de fertilidad del suelo antes y después del experimento. Para este análisis se realizó un muestreo en los diferentes tipos de estructura del suelo, clasificadas en el factor bloque como poco compactas, medianamente compactas y muy compactas, en cada tratamiento correspondiente. Este análisis físico químico se realizó en el laboratorio de suelos, dependiente de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Autónoma Tomás Frías.

La aplicación de la orina para cada uno de los tratamientos se realizó a los 40 días del ciclo vegetativo del cultivo, que corresponde al estadio de máximo crecimiento ya que durante este período se establece la estructura vegetativa que sostendrá la producción de granos. La aplicación de orina en esta fase puede ser especialmente beneficiosa debido a la alta demanda de nutrientes, particularmente nitrógeno, que es fundamental para la formación de hojas y tallos. Esto se sustenta

en la efectividad de la orina como fertilizante orgánico, proporcionando no solo nitrógeno, sino también fósforo y potasio, esenciales para un crecimiento vigoroso (Tacanga & Vargas, 2021).

La cosecha del cultivo se llevó a cabo manualmente e incluyó el corte de las panojas, seguido por el secado, venteo y pesado de las semillas, asegurando así una evaluación precisa del rendimiento del cultivo. Además, se realizó un análisis bioquímico de la orina humana utilizada como fertilizante almacenada durante 15 y 30 días y también sin almacenamiento. Este análisis se efectuó en el laboratorio bioquímico del Seguro Social Universitario de la ciudad de Potosí, esto a fin de comprender cómo la duración del almacenamiento influye en las propiedades fertilizantes de la orina.

Diseño experimental

El diseño experimental se basó en un esquema de bloques completamente aleatorizados, en el cual se distribuyeron los tratamientos en tres bloques diferentes. Cada bloque representó un nivel distinto de compactación del terreno: poco compacto, medianamente compacto y muy compacto. Dentro de cada bloque, se aplicaron tres tratamientos: orina almacenada por 30 días, orina almacenada por 15 días, y un tratamiento de aplicación de orina sin almacenamiento. Las unidades experimentales tuvieron un tamaño de 3x3 metros, con una separación de 1 metro entre cada parcela. En cada unidad experimental, se establecieron entre 7 y 8 surcos, con una distancia de 40 cm entre ellos, y la siembra se realizó a una profundidad de 2 cm, siguiendo el método de chorro continuo.

Este diseño permitió analizar de manera precisa los efectos del tiempo de almacenamiento de la orina y la compactación del suelo en el rendimiento del cultivo de quinua.

Resultados

Almacenamiento orines durante 30 días y su efecto en el suelo

Al comparar los valores de los parámetros del suelo antes y después del tratamiento, se observan varios cambios notables que sugieren mejoras en la calidad y fertilidad del suelo. El pH del suelo aumentó ligeramente de 6,08 a 6,32, lo que indica una alcalinización que podría favorecer el crecimiento de ciertos cultivos que prefieren suelos menos ácidos. Además, la conductividad eléctrica, que mide la cantidad de sales solubles en el suelo, se incrementó significativamente de 188,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 289,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sugiriendo una mayor concentración de nutrientes disponibles para las plantas. Sin embargo, la densidad aparente también aumentó de 1,02 g/cc a 1,18 g/cc, lo que podría indicar una compactación del suelo, lo cual podría afectar la porosidad y, por ende, la capacidad del suelo para retener agua y permitir la penetración de raíces.

En términos de nutrientes, se observaron incrementos significativos en varios parámetros clave. El contenido de nitrógeno subió de 0,24% a 0,28%, y la materia orgánica aumentó de 2,26% a 3,80%, lo que refleja una mejora en la capacidad del suelo para sostener la vida vegetal. También se registró un aumento en los niveles de potasio, de 15,23 meq/100g a 20,49 meq/100g, y de fósforo, de 263,79 mg/kg a 349,12 mg/kg, lo que sugiere una mayor disponibilidad de estos nutrientes esenciales. La capacidad de intercambio catiónico, un indicador de la fertilidad del suelo, mostró un aumento de 9,90 meq/100g a 33,31 meq/100g, lo que implica que el suelo se volvió mucho más eficiente en la retención de nutrientes. La relación C/N también aumentó de 5,12% a 6,34%, indicando un mejor equilibrio entre carbono y nitrógeno, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica. Finalmente, aunque hubo cambios en la textura del suelo, con un ligero aumento en la

fracción de limo y una disminución en la cantidad de arcilla, el suelo se mantuvo dentro de la clasificación de franco, reflejando un buen balance entre retención de agua y drenaje (Tabla 2).

Almacenamiento orines durante 15 días y su efecto en el suelo

Los resultados muestran que el pH del suelo aumentó de 5,70 a 6,36, indicando una alcalinización del suelo, lo que podría hacer que el ambiente sea menos ácido y más favorable para ciertos cultivos.

La conductividad eléctrica, que mide la cantidad de sales solubles en el suelo, también aumentó de 107,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 178,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sugiriendo una mayor disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la densidad aparente disminuyó ligeramente de 1,20 g/cc a 1,18 g/cc, lo cual podría estar asociado con una ligera mejora en la estructura del suelo, haciéndolo menos compacto y posiblemente más permeable al agua y al aire.

En términos de nutrientes, hubo un incremento en la materia orgánica, de 1,78% a 2,54%, lo que refleja una mejora en la fertilidad del suelo. El contenido de potasio también aumentó de 17,91 meq/100g a 20,50 meq/100g, lo que es beneficioso para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, los niveles de nitrógeno disminuyeron de 0,39% a 0,24%, y el fósforo también se redujo significativamente de 552,85 mg/kg a 398,24 mg/kg, lo que podría indicar una absorción por parte de las plantas o una lixiviación de estos nutrientes. La capacidad de intercambio catiónico, que mide la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales, mejoró significativamente de 20,96 meq/100g a 28,77 meq/100g, lo que sugiere un incremento relativo de la eficiencia en la retención de nutrientes (Tabla 2).

Efecto en el suelo por aplicación de orina sin almacenamiento

Se observa un incremento del pH del suelo de

5,64 a 6,39, indicando una leve alcalinización. Sin embargo, la conductividad eléctrica, que mide la cantidad de sales solubles, disminuyó de 160,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 137,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que podría reflejar una reducción en la concentración de sales en el suelo, debido principalmente a lixiviación y a la pobre absorción de las plantas. En términos de densidad aparente, se registró una disminución de 1,23 g/cc a 1,14 g/cc, volviéndose menos compacto.

En cuanto a los nutrientes, el contenido de materia orgánica aumentó de 0,34% a 0,38%, aunque el nitrógeno disminuyó ligeramente de 0,32% a 0,28%, lo que indica una pobre absorción

por las plantas debido a una menor disponibilidad en el suelo. El potasio mostró un incremento de 15,29 meq/100g a 17,94 meq/100g, lo que es beneficioso para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, el fósforo se redujo de manera significativa de 646,96 mg/kg a 378,98 mg/kg, lo que podría afectar la disponibilidad de este nutriente para las plantas. La capacidad de intercambio catiónico disminuyó de 30,81 meq/100g a 20,24 meq/100g, lo que indica una menor capacidad del suelo para retener nutrientes, aunque la relación C/N experimentó un aumento considerable de 6,21% a 8,79%, tal como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados comparativos del análisis físico químico del suelo para 30 días, 15 días y sin almacenamiento de orines.

Parámetro	30 días almacenamiento		15 días almacenamiento		Sin almacenamiento	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
pH	6,08	6,32	5,7	6,36	5,64	6,39
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	188,6	289	107,1	178,4	160	137,6
Densidad aparente (g/cc)	1,02	1,18	1,20	1,18	1,23	1,14
Nitrógeno (%)	0,24	0,28	0,39	0,24	0,32	0,28
Materia orgánica (%)	2,26	3,8	1,78	2,54	0,34	0,38
Potasio (meq/100g)	15,23	20,49	17,91	20,5	15,29	17,94
Fósforo (mg/kg)	263,79	349,12	552,85	398,24	646,96	378,98
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	9,9	33,31	20,96	28,77	30,81	20,24
Relación C/N (%)	5,12	6,34	6	6,61	6,21	8,79
Textura (%)	Arena:	Arena:	Arena:	Arena:	Arena:	Arena:
	36,30	39,80	37,10	39,40	36,90	37,70
	Limo:	Limo:	Limo:	Limo:	Limo:	Limo:
	39,30	39,80	42,50	41,00	40,80	40,80
Arcilla:	Arcilla:	Arcilla:	Arcilla:	Arcilla:	Arcilla:	Arcilla:
	24,40	20,90	20,40	19,60	22,60	22,00
	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco

Nota.- Datos de resultados de análisis físico químico realizado en laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Autónoma Tomás Frías

Efecto del almacenamiento de orines en el cultivo de quinua

Altura de planta

El tratamiento con 30 días de almacenamiento produjo las plantas más altas (altura media de 0,55 m, variabilidad moderada 14,50%). En comparación, las plantas del tratamiento con 15 días de almacenamiento y tratamiento sin almacenamiento mostraron menores alturas promedio de 0,38 m y 0,30 m, con menor variabilidad, especialmente en el testigo (coeficientes de variación de 12,10% y 7,67% respectivamente).

En términos de compactación del suelo, el bloque poco compacto permitió un mayor crecimiento en altura (media de 0,45 m), aunque con una mayor variabilidad (coeficiente de variación de 26,67%), mientras que el bloque muy compacto resultó en las plantas más bajas (media de 0,38 m) con una menor dispersión de los datos (coeficiente de variación de 26,32%). Estos resultados sugieren que tanto el tiempo de almacenamiento del fertilizante como la compactación del suelo influyen significativamente en la altura de las plantas. El análisis de varianza mostró diferencias significativas tanto para tratamientos y bloques ($p < 0,01$).

Longitud de panoja

Los resultados indican que el tratamiento con 30 días de almacenamiento produjo las panojas más largas, con una longitud promedio de 16,04 cm y variabilidad moderada (13,47%), en comparación con el tratamiento de 15 días (12,82 cm) y sin almacenamiento (11,42 cm). En cuanto a los bloques de compactación del suelo, el bloque poco compacto permitió la mayor longitud promedio de panoja (14,04 cm), pero también la mayor variabilidad (23,08%). Los bloques medianamente compactos y muy compactos presentaron longitudes promedio menores, de 13,41 cm y 12,84 cm, respectivamente, con una disminución en la variabilidad, lo que

sugiere que tanto el tiempo de almacenamiento del fertilizante como la compactación del suelo tienen un impacto significativo en la longitud de las panojas.

El análisis de varianza para altura de planta mostró diferencia significativa tanto para tratamientos como para bloques ($p < 0,02$).

Rendimiento de semillas por planta

El tratamiento con 30 días de almacenamiento produjo el mayor rendimiento de semilla por planta (media de 21,12 g, máximo de 25,00 g, y variabilidad moderada de 13,16%). En comparación, el tratamiento con 15 días de almacenamiento obtuvo un promedio de 15,73 mientras que el tratamiento sin almacenamiento tuvo el menor rendimiento (11,99 g) y la menor variabilidad (6,51%). En cuanto a la compactación del suelo, el bloque medianamente compacto tuvo el rendimiento promedio más alto (17,86 g), pero también la mayor variabilidad (coeficiente de variación de 26,48%), seguido por el bloque poco compacto con 17,02 g y el bloque muy compacto con 13,98 g, este último mostrando la menor variabilidad entre los bloques (coeficiente de variación de 21,53%).

El análisis de varianza reflejó que tanto la época de aplicación como la compactación del suelo (bloque) tienen un efecto significativo en el rendimiento de semillas por planta. La prueba F mostró valores extremadamente altos para la época ($F = 236,52$, $p < 0,001$) y para el bloque ($F = 46,78$, $p < 0,001$), indicando que las diferencias observadas en los rendimientos son estadísticamente significativas. Además, se observó un coeficiente de determinación ajustado de 0,8630; indicando que el 86,30% de la variabilidad en el rendimiento de semillas por planta se explica por las variables del modelo (tiempo de almacenamiento y compactación del suelo).

El análisis de Duncan mostró que los tratamientos forma subgrupos homogéneos. El tratamiento de 30 días obtuvo un rendimiento

significativamente mayor (21,12 g) que en el tratamiento de 15 días (15,73 g) y el sin almacenamiento (11,99 g).

Índice de cosecha

El índice de cosecha, que corresponde al cociente entre el peso de grano dividido entre el peso total (que incluye la broza del cultivo), evidenció que el tratamiento con 30 días de almacenamiento mostró el mayor índice de cosecha, con media de 0,16, alcanzando un máximo de 0,21 y un mínimo de 0,10, con una desviación estándar de 0,04, indicando una variabilidad moderada. El tratamiento con 15 días de almacenamiento tuvo un índice de cosecha medio de 0,11, un rango de 0,08 a 0,14 y una menor variabilidad (coeficiente de variación de 9,09%). El tratamiento sin almacenamiento presentó el índice de cosecha más bajo, con media de 0,09 y rango de 0,07 a 0,11.

En cuanto a los bloques de compactación del suelo, tanto el bloque poco compacto como el medianamente compacto tuvieron un índice de cosecha medio de 0,13, con el bloque poco compacto mostrando mayor variabilidad (coeficiente de variación de 30,77%) en comparación con el medianamente compacto (0,04). El bloque muy compacto presentó el menor índice de cosecha, con una media de 0,10 y la menor variabilidad (coeficiente de variación de 20,00%).

Características bioquímicas comparativas de la orina en los diferentes periodos de almacenamiento

Al comparar las muestras de orina en función del tiempo de almacenamiento, se observan diferencias significativas en varios parámetros bioquímicos y microbiológicos. La muestra con 30 días de almacenamiento presenta los niveles más altos de nitrógeno ureico, con 866,80 mg/dl, lo que sugiere que el almacenamiento prolongado podría concentrar este compuesto. En contraste, la muestra sin almacenamiento

tiene el nivel más bajo de nitrógeno ureico, con 686,90 mg/dl. Similarmente, el calcio disminuyó considerablemente en la muestra sin almacenamiento (1,40 mg/dl) en comparación con las muestras almacenadas por 30 días (6,10 mg/dl) y 15 días (5,90 mg/dl), indicando que el almacenamiento podría influir en la concentración de minerales.

El fósforo mostró un comportamiento diferente, siendo más alto en la muestra con 15 días de almacenamiento (44,60 mg/dl) y disminuyendo tanto en la muestra de 30 días (35,10 mg/dl) como en la muestra sin almacenamiento (36,90 mg/dl). El magnesio también disminuyó notablemente en la muestra sin almacenamiento (1,17 mg/dl) en comparación con las otras dos muestras, que presentaron valores de 5,70 mg/dl para 30 días y 5,63 mg/dl para 15 días de almacenamiento, respectivamente.

El pH y las proteínas también variaron significativamente entre las muestras. La muestra sin almacenamiento mostró el pH más alto (8,05), lo que sugiere una alcalinidad mayor, mientras que la muestra con 15 días de almacenamiento tuvo el pH más bajo (5,93), indicando un entorno más ácido. En cuanto a las proteínas, la muestra sin almacenamiento registró un valor mucho más alto (21,90 mg/dl) en comparación con las muestras almacenadas por 30 días (4,60 mg/dl) y 15 días (5,30 mg/dl), lo que podría indicar una mayor degradación de proteínas en la muestra fresca. Microbiológicamente, el recuento de colonias de bacterias (específicamente la *Escherichia coli*) aumentó drásticamente con la reducción del tiempo de almacenamiento, siendo más bajo en la muestra de 30 días (380.000 UFC/ml), y alcanzando su valor más alto en la muestra sin almacenamiento (6.312.000 UFC/ml), lo que denota que el almacenamiento reduce significativamente la proliferación bacteriana.

Los detalles de estos resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis bioquímico de las orinas por tiempo de almacenamiento

Parámetro	Almacenamiento 30 días	Almacenamiento 15 días	Sin Almacenamiento
Nitrógeno Ureico (mg/dl)	866,80	820,10	686,90
Calcio (mg/dl)	6,10	5,90	1,40
Fósforo (mg/dl)	35,10	44,60	36,90
Magnesio (mg/dl)	5,70	5,63	1,17
pH	7,06	5,93	8,05
Proteínas (mg/dl)	4,60	5,30	21,90
Recuento de colonias de bacterias (UFC/ml)	380.000	1.800.000	6.312.000

Nota.- Datos de resultados de análisis bioquímico realizado en laboratorio del Seguro Social Universitario de la Universidad Autónoma Tomás Frías

Discusión y conclusiones

El almacenamiento prolongado de orines, particularmente durante 30 días, tiene un efecto positivo en la calidad y fertilidad del suelo. En este periodo, se observó una mejora en el pH del suelo (de 6,08 a 6,32), una mayor conductividad eléctrica (de 188,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 289,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y un incremento en la materia orgánica (de 2,26% a 3,80%). Además, hubo un aumento en la capacidad de intercambio catiónico (de 9,90 meq/100g a 33,31 meq/100g), lo que revela una mayor eficiencia del suelo para retener nutrientes esenciales. Estos resultados son consistentes con lo observado en estudios previos, donde el almacenamiento de orina se ha asociado con mejoras en las propiedades del suelo, favoreciendo su uso como fertilizante natural (Rueda-Morales, 2019; Maia et al., 2023). En particular, se ha reportado que el pH del suelo y la capacidad de intercambio catiónico pueden beneficiarse significativamente del uso de orina almacenada debido a la mayor disponibilidad de nutrientes y la reducción de patógenos presentes en el suelo.

Las características bioquímicas de la orina mostraron variaciones significativas dependiendo del tiempo de almacenamiento.

La orina almacenada durante 30 días presentó el nivel más alto de nitrógeno ureico (866,80 mg/dl) en comparación con los 15 días de almacenamiento (820,10 mg/dl) y sin almacenamiento (686,90 mg/dl). Estos resultados revelan que la concentración de nitrógeno en la orina tiende a aumentar con el tiempo de almacenamiento debido a la transformación de la urea en amoníaco, un proceso que también ayuda a estabilizar la orina y a reducir su contenido de patógenos (Carbajal-Mayhua et al., 2023; Toledo, 2019; Simha et al., 2021). Asimismo, los niveles de calcio y magnesio fueron más altos en la orina almacenada por 30 días, evidencia de que el almacenamiento prolongado contribuye a una mayor disponibilidad de estos nutrientes esenciales para las plantas. Además, el almacenamiento redujo significativamente el recuento de colonias bacterianas, con la orina almacenada durante 30 días mostrando el menor recuento de colonias de bacterias (380.000 UFC/ml), en comparación con la orina sin almacenamiento (6.312.000 UFC/ml).

Este hallazgo demuestra que el almacenamiento de orina no solo mejora su valor fertilizante, sino que también reduce riesgos microbiológicos al permitir la eliminación gradual de patógenos (Vargas Páez, 2023; Morrison et al., 2024).

El tratamiento con orina almacenada durante 30 días mostró el impacto más positivo en el cultivo de quinua. Las plantas tratadas con este fertilizante alcanzaron una mayor altura (media de 0,55 m), una mayor longitud de panoja (16,04 cm) y un mayor rendimiento de semilla por planta (21,12 g). Además, este tratamiento presentó el mayor índice de cosecha, con una media de 0,16. Estos resultados respalda el hecho de que el uso de orina humana como fertilizante orgánico mejora significativamente el rendimiento de cultivos debido a su alta concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son esenciales para el desarrollo de las plantas (Rumeau et al., 2023). En comparación, los tratamientos con 15 días de almacenamiento y sin almacenamiento resultaron en menores rendimientos y menores valores en todas las variables agronómicas, lo que revela que un tiempo de almacenamiento más prolongado es clave para maximizar la efectividad del fertilizante.

Además, los resultados también indican que la compactación del suelo influyó en los resultados, con los bloques poco compactos y medianamente compactos mostrando mejores resultados en términos de altura de planta, longitud de panoja, rendimiento de semilla y índice de cosecha en comparación con los bloques muy compactos. Esto refuerza el hecho de que tanto el tiempo de almacenamiento de la orina como la compactación del suelo son factores críticos para maximizar la productividad del cultivo de quinua.

Agradecimientos

Agradecimiento a la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Autónoma Tomás Frías, en cuya granja de Puna se realizó la presente investigación.

Bibliografía

Alaba, A. B., Adefunke, A. T., & Nicholas, O. O. (2024). Optimizing sustainable agriculture:

Harnessing urine as a cost-effective fertilizer for enhanced Amaranth growth and soil microbial health in tropical regions. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(4a), 73-86. <https://doi.org/10.4314/dujopas.v9i4a.23>

Alemayehu, Y. A., Demoz, A. A., Degefu, M. A., Gebreyessus, G. D., & Demessie, S. F. (2020). Effect of human urine application on cabbage production and soil characteristics. *Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 10(2), 262-275. <https://doi.org/10.2166/washdev.2020.136>

Carbajal-Mayhua, R., Mantari-Mallqui, J. L., Perales-Angoma, A., Bautista-Vargas, M., & Rodríguez-Cangalaya, N. (2023). Effect of human urine enriched with Efficient Microorganisms on the yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) Peruanita variety. *Revista De investigación científica Siglo XXI*, 3(2), 42-48. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v3i2.350>

CETA-PUNA. (2018). Diagnóstico general de la granja de Puna. Universidad Autónoma Tomás Frías: Potosí, Bolivia.

Luna-Robles, E. O., Cantú-Silva, I., & Béjar-Pulido, S. J. (2022). Efectos del cambio climático en la gestión sostenible del recurso suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 16(3), 1097. <https://doi.org/10.54167/tch.v16i3.1097>

Maia, M. A., Kranse, O., Eves-van den Akker, S., & Torrente-Murciano, L. (2023). Phosphate recovery from urine-equivalent solutions for fertilizer production for plant growth. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(45), 16074-16086. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c03146>.

Morrison, L. T. R., Milliken, C., Shurgot, M., Grego, S., Rajamanickam, S., & Ramalingam, S. (2024). Women's toilet use behaviors and water use in a urine diversion squat pan toilet pilot. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. <https://doi.org/10.2166/washdev.2024.174>

Moussa, H. O., Nwankwo, C., Aminou, A. M.,

Stern, D. A., Haussmann, B., & Herrmann, L. (2021). Sanitized human urine (Oga) as a fertilizer auto-innovation from women farmers in Niger. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(56), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00675-2>

Rueda-Morales, M. (2019). Aprovechamiento de la orina como fuente de nutrientes en la agricultura. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(3), 65-75. Recuperado de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4567

Rumeau, M., Marsden, C., Ait-Mouheb, N., Crevoisier, D., & Pistocchi, C. (2023). Fate of nitrogen and phosphorus from source-separated human urine in a calcareous soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 65440–65454. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26895-5>

Saliu, T., Oladoja, N. A., & Sauvée, S. (2024). Eco-friendly and sustainability assessment of technologies for nutrient recovery from human urine—a review. *Frontiers in Sustainability*, (4). <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1338380>

SENAMHI. (2018). Sistema de procesamiento de datos meteorológicos. Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología: La Paz, Bolivia.

Simha, P., Friedrich, C., Randall, D. G., & Vinnerås, B. (2021). Alkaline Dehydration of Human Urine Collected in Source-Separated Sanitation Systems Using Magnesium Oxide. *Frontiers in Environmental Science*. 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.619901>

Tacanga Flores, L. J., & Vargas Olivares, I. Z. (2021). Evaluación del empleo de la Orina Humana como fertilizante orgánico en campos de cultivo de ciclo vegetativo corto. *Revista Global Business Administration Journal*, 4(2), 34-48. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77221>

Toledo, A. R. (2019). Desarrollo sostenible y saneamiento ecológico: opciones para los asentamiento humanos de Huaral (Lima, Perú). *Global Business Administration Journal*, 6(3), 50-67. Recuperado de http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Global_Business/article/view/2271

Vargas Páez, G. (2023). Precipitación de estruvita a partir de la orina humana: Un análisis de prefactibilidad para su implementación como alternativa de fertilizante. *Repositorio Uniandes*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/>