

Fortalecimiento de la resiliencia del suelo de uso agrícola en el Altiplano Norte con la incorporación de abono verde de tarwi

Wilfredo Rojas, Elena Choque

Fundación PROINPA

E mail: w.rojas@proinpa.org

Resumen. Las comunidades aledañas al lago Titicaca disponen de pequeñas áreas cultivadas por familia, situación que obliga a la intensificación de los cultivos reduciendo el período del descanso tradicional del suelo, incrementando la vulnerabilidad del sistema de producción frente al cambio climático. Con el objetivo de revertir esta tendencia se utilizó el tarwi como fuente de abono verde los años 2016-17 y 2017-18 en cinco comunidades del municipio de Huatajata. Los resultados muestran que la incorporación de tarwi como abono verde, incrementó los rendimientos de papa de 175% a 607% en las variedades Huaycha, Imilla Negra y Luribay, respecto a las parcelas testigo. La parcela de Sancajahuira con suelo franco arenoso donde se incorporó tarwi, tuvo rendimientos de 17.9 a 23.9 t/ha y en Chilaya de 9.4 a 11.4 t/ha, mientras que las parcelas testigo en ambas comunidades no superaron el rendimiento promedio nacional de 5.46 t/ha. En las parcelas de Tajara Grande, Soncachi Chico y Marka Arasaya, con suelos franco y franco limoso, el rendimiento de papa con incorporación de tarwi alcanzó 21.5 a 33.6 t/ha. El abono verde de tarwi, además de incrementar los rendimientos de papa, contribuye a la recuperación de la fertilidad y la resiliencia del suelo mediante la fijación biológica del nitrógeno atmosférico y el aporte importante de materia orgánica que mejora los procesos químicos, físicos y biológicos del suelo.

Palabras clave: Cambio climático; Leguminosas; Agricultura familiar; *Lupinus mutabilis*.

Summary: Strengthening the resilience of land for agricultural use in the North Altiplano with the incorporation of tarwi as green manure. The communities surrounding Lake Titicaca have small areas cultivated by farming families, a situation that forces the intensification of crops, reducing the period of traditional soil rest, and increasing the vulnerability of the production system to climate change. In order to reverse this trend, tarwi was used as a source of green manure in the years 2016-17 and 2017-18 in five communities in the Municipality of Huatajata. The results show that the incorporation of tarwi as green manure increased potato yields from 175% to 607% in the Huaycha, Imilla Negra and Luribay varieties, compared to the control plots. The Sancajahuira plot with loamy sandy soil where tarwi was incorporated had yields of 17.9 to 23.9 t / ha and in Chilaya from 9.4 to 11.4 t / ha, while the control plots in both communities did not exceeded the national average yield of 5.46 t / ha. In the plots of Tajara Grande, Soncachi Chico and Marka Arasaya, with loam and loamy loam soils, potato yield with tarwi incorporation reached 21.5 to 33.6 t / ha. Tarwi as green manure, in addition to increasing potato yields, contributes to the recovery of fertility and soil resilience due to the biological fixation of atmospheric nitrogen and the important contribution of organic matter to the soil, aspects that improve chemical, physical and biological soil processes.

Keywords: Climate change; Legumes; Family farming; *Lupinus mutabilis*.

1. Introducción

El municipio de Huatajata adyacente al lago Titicaca presenta características climáticas variables, debido a sus características topográficas que determinan ecosistemas diferenciados y particularidades ambientales donde la influencia lacustre es determinante (Quispe, 2014). La influencia microclimática del lago en las zonas circundantes tiene un efecto de amortiguación frente a eventos climáticos extremos como sequías, heladas y otros, una ventaja comparativa que es gestionado por la población local. Sin embargo, el debilitamiento paulatino de la fertilidad y empobrecimiento de materia orgánica del suelo reduce la capacidad resiliente.

La distribución anual de la precipitación pluvial en el municipio está influenciada por la latitud geográfica, hacia el Sur disminuye y hacia el Norte es moderada, la acción de la cordillera oriental tiene un efecto de barrera hacia el Este y hacia el Oeste, la cordillera occidental causa un aumento de las precipitaciones influenciada también por la evaporación de la masa de agua de la cuenca del lago Titicaca. Las precipitaciones pluviales ocurridas con más frecuencia se registran entre enero a marzo y la época más seca entre abril a septiembre (Quispe, 2014).

Sin embargo, en los últimos años la sequía en el municipio se ha extendido más allá de septiembre, incluso hasta diciembre, este fenómeno como en otros lugares del Altiplano también afecta en gran medida a la producción de alimentos. Estas condiciones de época seca, la carencia de lluvias y el uso intensivo que se da al suelo sin un manejo adecuado, expone a las comunidades del municipio a una situación vulnerable.

El suelo es un factor importante en la producción de cultivos, en él, las plantas se sostienen, extraen los nutrientes, absorben el agua y el aire, y encuentran las condiciones que necesitan para crecer y producir. Es el principal capital físico de los agricultores para la producción de alimentos.

Los sistemas de producción en el Altiplano Norte se basan en la producción de cultivos de papa, haba, cebada, quinua, oca, entre otros. Una de las limitaciones más importantes es la disponibilidad de tierra, ya que en el Altiplano el uso de la tierra cultivable está fragmentada en pequeños terrenos o minifundio. Es común en la mayoría de las comunidades aledañas al lago Titicaca y particularmente en el municipio de Huatajata la práctica del *surcofundio*, por lo que los agricultores se ven obligados a cultivar en un mismo terreno, reduciendo el período del descanso del suelo y en algunos casos incluso dejando de lado esta práctica ancestral, situación que está afectando la revitalización del suelo. A esto se suma que menos del 10% de los agricultores del municipio tienen ganado bovino y ovino, por lo tanto, hay menor disponibilidad de guano para abonar los cultivos.

Ante esta situación determinada a través de un diagnóstico en las comunidades del municipio de Huatajata, se llevó a cabo la iniciativa de generar alternativas que protejan al suelo, evitando su empobrecimiento o deterioro. Para ello se promovió el uso del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como abono verde para contribuir a mantener el suelo en equilibrio físico, químico y biológico.

El tarwi es un cultivo originario de los Andes, desde la llegada de los españoles fue desplazado por otras leguminosas, como el haba y la arveja, pasando a con-

formar el grupo de los denominados cultivos olvidados (Gandarillas *et al.*, 2018). El tarwi y en general las leguminosas juegan un papel importante en la rotación de cultivos, en particular en las fracciones de la materia orgánica del suelo debido a su efecto sobre la relación C/N (Potter *et al.*, 1998).

El tarwi es un cultivo con capacidad para fijar N atmosférico, según Caicedo y Peralta (2000), citados por Mamani y Calisaya (2018), el *Lupinus mutabilis* bajo condiciones andinas de Ecuador logra capturar N entre 400 y 900 kg/ha. En otro estudio realizado por Vanek y Drinkwater, 2016 (citado por Mamani y Calisaya, 2018) en comunidades del Norte de Potosí y con la metodología N15, encontró que *L. mutabilis*, tanto en suelos de textura ligera como de textura pesada, logra incrementar la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) y la absorción de Nitrógeno del Suelo (ANS), cuando se fertiliza con superfosfato (140% más en suelos de textura ligera y 60% más en suelos de textura pesada).

Considerando las cualidades del tarwi y su aporte potencial en la mejora de los sistemas de producción, esta iniciativa se llevó a cabo con el objetivo de contribuir a fortalecer la resiliencia del suelo con la incorporación de abono verde de tarwi en cinco comunidades del municipio de Huatajata.

2. Metodología

El trabajo se realizó en dos años agrícolas 2016-2017 y 2017-2018 en cinco comunidades del municipio de Huatajata, Soncachi Chico, Tajara Grande, Marka Arasaya, Chilaya y Sancajahuira, que se encuentran en la ribera y próximas al lago Titicaca. El

municipio de Huatajata se encuentra ubicado en la provincia Omasuyos de La Paz, a 80 km de la ciudad de La Paz, geográficamente está ubicado entre los paralelos 16°10'25" y 16°13'05" latitud Sur y entre los meridianos 68°39'40" y 68°43'19" de longitud Oeste de Greenwich, a una altitud de 3840 msnm.

2.1. AÑO 1:

Implementación de parcelas de tarwi

El primer año del desarrollo de esta experiencia de mejora de los sistemas de producción en el Altiplano Norte de Bolivia, consistió en implementar parcelas de tarwi e incorporar la materia verde de este cultivo al suelo, aplicando el método de parcelas demostrativas y apelando también al conocimiento propio que tienen los agricultores y agricultoras del lugar.

2.1.1. Selección de parcelas

Una característica común para la selección de las parcelas en las cinco comunidades fue aquella que le tocaba entrar en descanso (*qallpa*) luego de 4 a 5 años de siembras continuas con papa, oca, haba y cebada. Por lo general, este tipo de parcelas deberían entrar en descanso por un tiempo mínimo de tres años para recuperar su fertilidad, pero las presiones de producción y generación de alimentos y productos para el mercado, hacen que el período de descanso se vea reducido e incluso hasta suprimido.

El análisis de esos factores y el tiempo que se requiere para el descanso, motivó a los agricultores de las comunidades y particularmente a los dueños de parcelas a facilitar sus predios para la implementación de las "parcelas demostrativas" de tarwi y la correspondiente incorporación de la materia verde en el año 2016-2017.

2.1.2. Siembra de tarwi y labores de cultivo

La siembra de las “parcelas demostrativas” con tarwi en las cinco comunidades se llevó a cabo en superficies que fluctuaron de 375 a 1250 m² en el mes de septiembre, aprovechando las primeras lluvias de esa época del año.

De la superficie total de cada parcela, se dejó entre un 15% a 20% sin siembra de tarwi (Cuadro 1) para que ese espacio actúe de control o testigo para la siembra de papa en el siguiente año agrícola.

Para obtener un suelo homogéneo en las parcelas, en cada comunidad, dos semanas antes se realizó el roturado del suelo con ayuda de un tractor agrícola. La siembra de las parcelas de tarwi fue al voleo a una densidad equivalente a 80 kg/ha, para el tapado de la semilla se pasó una rastrada superficial con la ayuda de un tractor agrícola.

Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas de tarwi no se realizó ninguna labor cultural, es importante mencionar que la densidad de siembra y las precipitaciones pluviales fueron adecuadas durante la fase del cultivo hasta el momento de la incorporación como abono verde al suelo.

2.1.3. Incorporación de materia verde

Aproximadamente a los 250 días después de la siembra del tarwi, se realizó la incorporación de la materia verde, cuando las plantas alcanzaron el 100% de floración, etapa en la cual la altura de las plantas fluctuó entre 1.20 a 1.60 metros. La incorporación de los abonos verdes en plena floración, se recomienda porque las plantas han alcanzado la máxima fijación de nutrientes, además que la relación C/N

está por debajo de 15% y por consiguiente presenta condiciones ideales para su descomposición en el suelo (Choque, 2012).

El trabajo consistió en el segado manual de las plantas de tarwi con la ayuda de una hoz, los cortes fueron en tamaños de 30 a 40 cm de longitud del tallo y ramas, luego el material trozado se dejó extendido en la misma parcela por días y subsiguientemente se realizó el roturado con tractor agrícola para la incorporación de la materia verde de tarwi en la parcela.

Posteriormente, la parcela entró a descanso (proceso de descomposición) por un tiempo aproximado de 4 meses (junio a octubre).

En el Cuadro 1 se indica por comunidad la superficie que fue incorporada con tarwi en el primer año, además de la ubicación y tipo de suelo de la ‘parcela demostrativa’.

2.2. AÑO 2:

Implementación de parcelas de papa

El segundo año consistió en evaluar el efecto de la incorporación de la materia verde de tarwi al suelo en parcelas de papa que fueron establecidas en esas ‘parcelas demostrativas’.

2.2.1. Preparación del terreno

Luego de que las parcelas pasaron la época de estiaje con la materia verde de tarwi incorporada al suelo, al iniciar el siguiente año agrícola, no fue necesario realizar ninguna preparación de suelo porque las parcelas ya estaban preparadas 4 meses antes y se encontraban listas para la siembra de papa.

Cuadro 1. Superficie incorporada con tarwi, ubicación y tipo de suelo de la “parcela demostrativa” por comunidad en el GAM Huatajata

Nro.	Comunidades	Superficie con tarwi (m ²)	Superficie sin tarwi (m ²)	Ubicación de la parcela	Tipo de suelo de la parcela
1	Soncachi Chico	754 (85%)	133.1 (15%)	Ladera de cerro	Franco
2	Tajara Grande	900 (85%)	158.8 (15%)	Ladera de cerro	Franco limoso
3	Marka Arasaya	375 (85%)	141.2 (15%)	Ladera de cerro	Franco
4	Chilaya	975 (85%)	172.0 (15%)	Cerro	Arenoso
5	Sancajahuira	1250 (80%)	312.5 (20%)	Ladera de cerro	Franco arenoso

2.2.2. Siembra de papa

La siembra de papa de las cinco ‘parcelas demostrativas’ se realizó la tercera semana de octubre del 2017. El procedimiento que se aplicó fue el siguiente, se abrió los surcos con la ayuda de un tractor agrícola, luego se distribuyó la semilla a una distancia de 30 cm entre tubérculos y a una distancia de 70 cm entre surcos, y finalmente se procedió al tapado de los surcos.

La semilla de papa de tres variedades (Huaycha, Imilla Negra y Luribay) fue facilitada por el Centro de Investigación Khipakhipani de la Fundación PROINPA.

2.2.3. Labores del cultivo de papa

Durante la fase de cultivo, se realizaron las siguientes labores:

- control manual de malezas con la ayuda de una escarda,
- aporque,
- control químico de plagas, particularmente insectos,
- fertilización foliar, con la aplicación de Biol en tres oportunidades.

2.2.4. Cosecha y evaluación del rendimiento de papa

Al inicio de la cosecha de las parcelas demostrativas de papa, con los agricultores de cada comunidad se realizó un recordatorio de cómo fueron implementadas las parcelas, con la incorporación de abono verde de tarwi en un 80% a 85% de la parcela y entre un 15% a 20% de la parcela sin la incorporación de abono verde de tarwi.

La cosecha se realizó a los 153 a 175 días después de la siembra del cultivo. En cada comunidad participaron agricultores hombres y mujeres, realizando la clasificación y selección de tubérculos de las tres variedades de papa, tanto de la parcela con incorporación y sin incorporación de abono verde de tarwi. En la Figura 1, se muestra a agricultores de la comunidad de Sancajahuira, realizando la selección y clasificación de papa. La clasificación de los tubérculos se hizo por categorías de tamaño: extra, primera, semilla y otros (tubérculos deformes y enfermos, terceras y cuartas que generalmente se destina para chuño y semilla). Se prestó especial atención a la presencia de posibles tubérculos enfermos.



Figura 1. Agricultores durante la selección y clasificación de papa (comunidad Sancajahuira)

Para la evaluación del rendimiento de papa, en cada parcela se realizó 4 muestreos. Cada muestreo en 1.4 m², donde se logró cosechar de 5 a 6 plantas, los tubérculos cosechados fueron pesados con los datos de cada muestreo se calcularon los promedios y el rendimiento en kg/ha.

Los agricultores participantes en esta experiencia se distribuyeron la producción de papa de cada categoría (extra, primera, semilla y otros) de manera equitativa de acuerdo a las actividades realizadas durante la implementación y desarrollo del cultivo de papa.

3. Resultados y discusión

Efecto de la incorporación de materia verde en el rendimiento de papa

En las cinco comunidades los resultados muestran incrementos en los rendimientos de las tres variedades de papa en las parcelas con incorporación de materia verde de tarwi. En cada comunidad la participación de agricultores fue muy activa, tanto de hombres como de mujeres (Cuadro 2).

Según los resultados obtenidos, por el efecto de la incorporación de la materia verde con tarwi, se logró en las tres variedades, incrementar los rendimientos de

papa en un orden de 175% a 607%, respecto a las parcelas testigo (Cuadro 2).

Según el *Manual de Prácticas Agroecológicas de los Andes Ecuatorianos* (1996), citado por Barrera (2015), en sus resultados de sistematización, se indica que el tarwi, después de su incorporación y proceso de descomposición, dio como resultado, incrementos del orden del 500% en el rendimiento de papa.

La parcela de la comunidad Sancajahuira, al tener un suelo franco arenoso con textura moderadamente gruesa, se vio más favorecida en el incremento de rendimiento de papa en las parcelas donde se incorporó tarwi, en 543% a 608% cuando se compara con el rendimiento de papa sin la incorporación de tarwi. En contraste, en la comunidad de Chilaya, con suelo arenoso, los rendimientos de papa se incrementaron en menor proporción (de 246% a 261%) entre parcelas con, frente a parcelas sin incorporación del tarwi, como abono verde.

En ambas comunidades, las parcelas testigo no superaron el rendimiento promedio nacional de 5.46 t/ha (Oliver, 2017), sin embargo, las parcelas con incorporación de tarwi alcanzaron rendimientos de 17.9 a 24.3 t/ha en Sancajahuira y de 9.4 a 11.4 t/ha en Chilaya (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento de tres variedades de papa con y sin la incorporación de tarwi (GAM Huatajata)

Nro.	Variedades de papa	Rendimiento t/ha (sin tarwi)	Rendimiento t/ha (con tarwi)	Incremento en relación al rendimiento sin tarwi (%)
Comunidad Sancajahuiria: 25 (10 mujeres y 15 varones)				
1	Huaycha	4.4	23.9	543
2	Imilla Negra	3.1	17.9	577
3	Luribay	4.0	24.3	608
Comunidad Chilaya: 12 (9 mujeres y 3 varones)				
1	Huaycha	3.9	9.6	246
2	Imilla Negra	3.6	9.4	261
3	Luribay	4.4	11.4	259
Comunidad Tajara Grande: 7 (3 mujeres y 4 varones)				
1	Huaycha	9.4	18.1	193
2	Imilla Negra	6.5	21.5	331
3	Luribay	8.8	19.1	217
Comunidad Soncachi Chico: 21 (15 mujeres y 6 varones)				
1	Huaycha	9.3	21.5	231
2	Imilla Negra	6.9	12.1	175
Comunidad Marka Arasaya: 23 (12 mujeres y 11 varones)				
1	Huaycha	10.6	33.6	317
Promedio general		6.2	18.5	
Desvío estándar		2.7	7.2	

Entre tanto en las parcelas de las comunidades Tajara Grande, Soncachi Chico y Marka Arasaya, al tener suelo franco y franco limoso con textura mediana, respectivamente, los rendimientos de papa de la parcela testigo estuvieron por encima del promedio nacional (5.46 t/ha), mientras que las parcelas con incorporación de tarwi alcanzaron rendimientos de hasta 21.5 t/ha en Tajara Grande y Soncachi Chico, y hasta 33.6 t/ha en la Marka Arasaya.

En base al Cuadro 2, considerando las doce parcelas demostrativas, el rendimiento promedio de papa sin incorporación de tarwi, llega a 6.2 t/ha, mientras que, con la incorporación de la biomasa de esta leguminosa, se alcanza rendimientos de 18.5 t/ha, es decir 300% del rendimiento sin tarwi.

Graficando los resultados del Cuadro 2, a partir de los valores promedio por localidad, la Figura 2 presenta las tendencias productivas, como respuesta al abono verde de tarwi, para las cinco localidades donde se establecieron las parcelas demostrativas. Tal como se muestra en esta figura, el efecto positivo del abonamiento en verde con la biomasa del tarwi, es más marcado en Sancajahuiria. En Chilaya, Tajara y Soncachi Chico, si bien el efecto es también positivo, el grado de éste es menor que en Sancajahuiria. En la Marka Arasaya también la diferencia es notoria, pero se debe considerar que en esta localidad se tuvo sólo una parcela demostrativa, a diferencia de las otras comunidades donde se tuvo mayor número de parcelas por comunidad. Estas diferencias ponen de manifiesto las condiciones edáficas propias de cada zona.

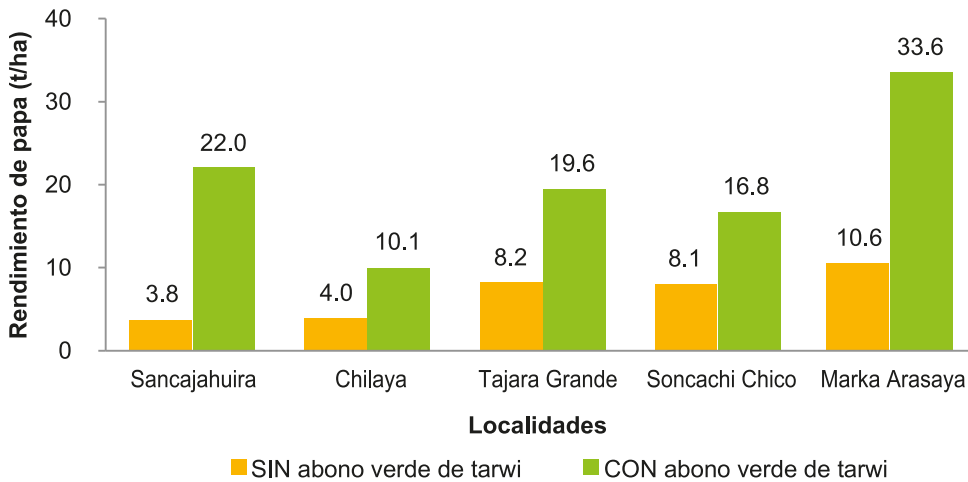


Figura 2. Rendimiento promedio de papa (t/ha) en parcelas demostrativas, con y sin incorporación de biomasa de tarwi como abono verde, en cinco comunidades del municipio de Huatajata, La Paz

La Figura 3 muestra el agrupamiento de los resultados, considerando las tendencias de producción en cada parcela. Se evidencia que los suelos franco arenosos en Sancajahuira (puntos rojos) responden marcadamente de manera positiva al abono verde de tarwi ya que su capacidad de producción es baja sin abono verde; en contraste, en Chilaya (puntos amarillos), el grado de respuesta es menor, ya que con tarwi, los rendimientos obtenidos son relativamente bajos, y menores que en las otras localidades; sin embargo, en todos los casos, los rendimientos superan la media nacional de 5.46 t/ha; la tendencia de respuesta no es clara en Soncachi Chico (puntos negros) ni en Tajara Grande (puntos verdes), y poco consistente en la Marka Arasaya, al tener solamente una parcela demostrativa en esta comunidad.

Por los resultados alcanzados, el abono verde de tarwi incorporado al suelo, además de contribuir a incrementar los rendimientos de papa, se constituye en un elemento vital para ayudar a recuperar el suelo; esta afirmación se basa en los siguientes dos argumentos:

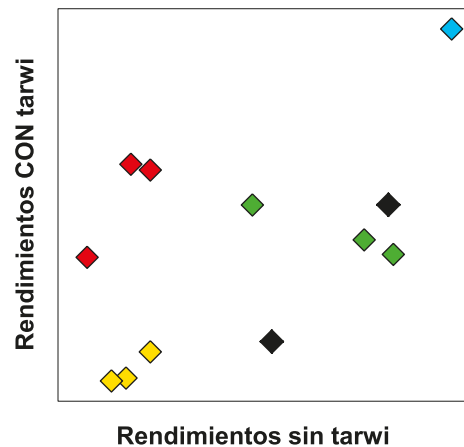


Figura 3. Tendencias de rendimiento de papa como efecto de la incorporación de biomasa de tarwi como abono verde, en doce parcelas de cinco comunidades del municipio de Huatajata, La Paz

En primer lugar, el suelo se ha visto favorecido en su fertilidad por la fijación del nitrógeno atmosférico a través de los nódulos de las bacterias de *Rhizobium* que se encuentran en las raíces del tarwi y se encargan de convertirlo en nitrógeno disponible para que se alimenten las plantas de papa.

En segundo lugar, el suelo ha sido fortalecido en el contenido de su materia orgánica, esa fracción orgánica que proporciona el tarwi, tiene un papel fundamental porque regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas del suelo y es el centro de casi todas las actividades biológicas que se llevan a cabo (Cepeda, 1991, citado por Choque, 2012).

Al respecto del aporte de materia verde al suelo, Huanca (2007) logró incorporar una cantidad de 29.66 t/ha de biomasa de tarwi y en términos de materia seca incorporó 8.27 t/ha; en otro estudio con tarwi, Barrera (2015) logró incorporar de 36 t/ha a 66 t/ha de materia verde y de 7 t/ha a 11.6 t/ha de materia seca, mientras que, en términos de cuantificación del porcentaje de materia seca, logró incorporar al suelo entre 17.57% a 19.44%. Por tanto, el suelo al que se incorporó materia verde de tarwi, ha aumentado su capacidad de producir más y mejor, situación que también repercutió en los resultados de la selección de los tubérculos, donde también se evidenció que los tubérculos estaban limpios y libres del ataque de enfermedades e insectos. Al respecto, el tarwi tiene efectos adicionales como la disminución de la incidencia del Gorgojo de los Andes, que es la principal plaga del cultivo de papa en el altiplano (OPINIÓN, 2014).

4. Conclusiones y recomendaciones

- La incorporación de tarwi como abono verde en suelo franco arenoso considerado carente de materia orgánica fue más favorable para los rendimientos de papa que en parcelas con suelo franco y franco limoso. Probablemente, debido al aporte importante de

nitrógeno y materia orgánica que promovió mayor actividad biológica mejorando además sus propiedades físicas que incrementan la retención de humedad.

- La incorporación del tarwi como abono verde, logró incrementar en forma sostenida el rendimiento de papa, hasta un máximo superior al 600%, cuando se compara con el rendimiento en parcelas sin incorporación de la biomasa de esta leguminosa, lo cual constituye un indicador del potencial del tarwi para contribuir a la resiliencia del suelo. Esta clara tendencia positiva, se consolida cuando se compara que, en promedio, el incremento es del orden de 300%, considerando las doce parcelas.
- El tarwi no solo mejora la fertilidad del suelo por su aporte importante de nitrógeno y otros nutrientes esenciales para el cultivo de papa, también mejora las propiedades físicas y biológicas. Es importante que la especie a usar como abono verde esté adaptada a las condiciones edafoclimáticas del lugar.
- El tarwi se constituye en una alternativa de incorporación de abono verde para promover el descanso mejorado de los suelos y es complementario a los sistemas de producción del Altiplano Norte, sin embargo, es necesario desarrollar ajustes tecnológicos para la incorporación mecanizada del tarwi al suelo y promover su difusión.
- Los agricultores y agricultoras que participaron en la experiencia, expresaron su conformidad por los resultados obtenidos en el rendimiento de papa en parcelas con incorporación de tarwi, además indicaron que contribuirán a difundir esta práctica que era

ejercida por sus antepasados, y que indudablemente desde su percepción contribuye a la resiliencia del suelo y por lo tanto de los sistemas de producción.

Agradecimientos

El trabajo fue desarrollado por la Fundación PROINPA en el marco del Proyecto Biocultura y Cambio Climático (PBCC), un esfuerzo conjunto entre la Cooperación Suiza en Bolivia y el Estado Plurinacional de Bolivia, a través del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y el Ministerio de Relaciones Exteriores (MRE).

Referencias citadas

- Barrera E. 2015. Evaluación del frijol lupinus (*Lupinus mutabilis*) como abono verde para la producción agroecológica en el municipio de Subachoque Cundinamarca. Tesis para optar el título de Ingeniero en Agroecología. Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Bogotá, Colombia. 80 p.
- Choque D. 2012. Evaluación de la productividad del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes asociaciones con tarwi (*Lupinus mutabilis*), en la comunidad de Patarani - municipio de Patacamaya. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 105 p.
- Gandarillas A., Cabrera S., Irigoyen J. 2018. ¿Por qué el tarwi es un súper alimento? Revista de Agricultura (Bolivia). Julio de 2018. 57: 19-25.
- Huanca V. 2007. Incorporación de tres especies como abono verde y su efecto en el rendimiento de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 94 p.
- Mamani P., Calisaya J. 2018. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y otras leguminosas como alternativas para recuperar los suelos y mejorar el sistema de rotación de cultivos de regiones andinas semiáridas de Cochabamba. Revista de Agricultura (Bolivia). Julio de 2018. 57: 93-104.
- Oliver J. 2017. Rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la aplicación de tierra negra y fertilizantes inorgánicos. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales. La Paz, vol. 4, p. 56-62. Diciembre de 2017.
- OPINIÓN. 2014. El tarwi es fuente de dinero y abono para la tierra. Periódico OPINIÓN (9 de agosto de 2014). *En línea*. Disponible en: www.opinion.com.bo/articulo/conomi%2%ADa/tarwi-es-fuente-dinero-abono-tierra/20140809032400495835.amp.html Consultado en octubre de 2019.
- Potter K., Tolbert H., Jones O., Matocha J., Morrison J., Unger P. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management system in Texas. *Soil Till. Res.* 47: 309-321.
- Quispe F. 2014. Desarrollo histórico de Huatajata, su naturaleza y turismo. 1ra. ed. Huatajata, Bolivia. 210 p.
- Vanek S., Drinkwater L. 2016. Integrating scientific and local soils knowledge to examine options by context interactions for phosphorus addition to legumes in an Andean agro ecosystem. Pennsylvania State University Ithaca. New York, USA.

Trabajo recibido el 4 de noviembre de 2019 - Trabajo aceptado el 14 de mayo de 2020