

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA FIJACIÓN DE NITROGENO Y BIOMASA DE TARWI
SILVESTRE - Q'ILA-Q'ILA (*Lupinus sp.*) BAJO LABOREO DE SURCADO Y
CARPIDO EN LA LOCALIDAD DE K'IPHA-K'IPHANI**

Presentado por:

WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMIA

**LA PAZ – BOLIVIA
2016**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE LA FIJACIÓN DE NITROGENO Y BIOMASA DE TARWI
SILVESTRE - Q'ILA-Q'ILA (*Lupinus sp.*) BAJO LABOREO DE SURCADO Y
CARPIDO EN LA LOCALIDAD DE K'IPHA-K'IPHANI**

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMIA

Asesor:

Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores

Comité revisor:

Ing. Ph. D. Carmen Del Castillo Gutiérrez.

Ing. Msc. Paulino Ruiz Huanca

Ing. Carlos Mena Herrera

APROBADA

Presidente:

.....

A mis padres;

*B. José Mercado V. (†) y Emilia Chuquimia
Vda. de Mercado*

AGRADECIMIENTOS

Expresar mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones que se involucraron a este logro.

A la Fundación PROINPA Regional Altiplano (K'ipha K'iphani - Viacha), por acogerme y brindarme las instalaciones para la investigación.

Mis agradecimientos a las autoridades, docentes y al personal administrativo de la Facultad de Agronomía UMSA por la formación profesional.

A los Ingenieros; Amalia Vargas, Milán Mamani, Reynaldo Quispe, Eliseo Mamani, Fanny Arragan y colaboradores, quienes aportaron con su tiempo y atención para el presente escrito de investigación.

Profundamente al Director del Centro Experimental de K'ipha K'iphani – PROINPA Ph.D. Alejandro Bonifacio Flores, al confiar en mí e impulsar este objetivo anhelado por mucho tiempo, en donde comienza una nueva etapa crucial en mi vida.

Y por último un agradecimiento muy especial a todos mis amigos entre Profesionales, Docentes y compañeros, por su apoyo para llevar adelante este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes.....	16
1.2. Justificación	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivo específicos.....	17
1.3.3. Hipótesis.....	18
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. El Altiplano	19
2.1.1. Descripción del Altiplano.....	19
2.1.2. Características del suelo de zonas agrícolas del Altiplano.....	19
2.2. Fuentes de materia orgánica en el Altiplano	21
2.3. Biomasa	22
2.4. Abono verde	22
2.5. Beneficios del abono verde.....	24
2.6. El tarwi y sus parientes silvestres	25
2.6.1. Clasificación taxonómica	27
2.7. Descripción botánica	28

2.7.1. Sistema radicular	28
2.7.2. El tallo.....	28
2.7.3. Hoja	28
2.7.4. Flores e inflorescencia	29
2.7.5. Fruto y semilla	29
2.8. Fenología del tarwi	29
2.9. Fijación biológica de nitrógeno (FBN)	30
2.9.1. Funcionamiento de los nódulos	31
2.10. Laboreo del suelo en la agricultura	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Localización.....	34
3.1.1. Clima	35
3.1.2. Suelo	35
3.1.3. Agricultura y vegetación de la zona	35
3.1.4. Ganadería de la zona	36
3.2. Materiales	37
3.2.1. Material vegetal	37
3.2.2. Material de campo	37
3.2.3. Material de laboratorio	37
3.2.4. Material de escritorio	37

3.2.5. Material fitosanitario.....	38
3.3. Metodología.....	38
3.3.1. Características de la parcela experimental	38
3.3.2. Siembra	38
3.3.3. Labores culturales	39
3.3.4. Riego	39
3.3.5. Control de malezas.....	40
3.3.6. Control fitosanitario.....	40
3.3.7. Cosecha	41
3.3.8. Secado	42
3.3.9. Trilla y limpieza de grano	42
3.3.10. Incorporación como abono verde.....	43
3.3.11. Muestreo de suelos	44
3.3.12. Toma de muestra para materia verde y seca	44
3.4. Procedimiento experimental	45
3.5. Diseño experimental	46
3.5.2. Croquis de la parcela experimental.....	47
3.5.3. Aérea experimental.....	48
3.5.4. Información meteorológica.....	48
3.6. Variables de respuesta en la parte aérea de la planta	48

3.6.1. Comportamiento agronómico de la especie	48
3.6.1.1. Altura de planta	49
3.6.1.2. Número de ramas basales y ramas secundarias.....	49
3.6.1.3. Cobertura foliar	49
3.6.1.4.1. Días al inicio de la floración	50
3.6.1.5.2. Longitud de racimo de vainas	52
3.6.1.5.3. Rendimiento de semilla.....	52
3.6.1.5.4. Peso hectolítrico	52
3.7. Variables en la parte radicular	53
3.7.1. Longitud de raíz.....	53
3.7.2. Raíces laterales	53
3.7.3. Número de nódulos por planta.....	53
3.7.4. Diámetro del cuello de planta	54
3.8. Fenología del tarwi silvestre	54
3.9. Determinación de la biomasa	54
3.9.3. Relación carbono nitrógeno	55
3.10. Determinación del nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. Régimen meteorológico de K'ipha K'iphani.....	58
4.1.1. Precipitación pluvial	58

4.1.2. Temperatura	59
4.1.3. Humedad relativa.....	60
4.2. Comportamiento agronómico de la especie	60
4.2.1. Altura de planta	61
4.2.3. Ramificación basal.....	64
4.2.3.1. Número de ramas secundarias por planta en fase de floración y fase de madurez fisiológica	64
4.2.4. Cobertura foliar	66
4.2.5. Número de racimos florales por planta	69
4.2.5.1. Días a la aparición de racimos florales.....	70
4.2.6. Floración.....	71
4.2.6.1. Número de inflorescencias por planta	71
4.2.6.2. Días a la floración	73
4.2.7. Madurez fisiológica	73
4.2.7.1. Número de racimos de vainas por planta	73
4.2.7.3. Días al envainado	75
4.2.7.4. Longitud de racimo de vainas	75
4.2.8. Rendimiento de grano	77
4.2.8.1. Peso hectolítrico	78
4.2.9. Resultados de la evaluación de la parte radicular	78

4.2.9.1. Longitud de raíz	78
4.2.9.2. Raíces laterales	79
4.2.9.3. Número de nódulos por planta	81
4.2.9.4. Diámetro y pigmentación de nódulos	82
4.2.9.5. Diámetro de cuello de la planta.....	83
4.3. Fenología de la q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>).....	85
4.4. Determinación de la biomasa	87
4.4.1. Materia verde	87
4.4.2. Materia seca	88
4.4.3. Materia orgánica en el suelo	90
4.5. Determinación de la fijación de nitrógeno y niveles de fósforo y potasio ...	91
4.5.1. Contenido de nitrógeno total	91
4.5.2. Relación carbono nitrógeno	93
4.5.3. Contenidos de fósforo	94
4.5.4. Contenidos de potasio	95
4.8. Comparación de escenarios climáticos y de especies fijadoras de nitrógeno	96
5. CONCLUSIONES.....	98
6. RECOMENDACIONES	99
7. BIBLIOGRAFÍA	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficiente Carbono – Nitrógeno (Chilon, 1997)	56
Cuadro 2. Clasificación de niveles para nitrógeno, fósforo, y potasio según el método descrito por Chilon (1997).	57
Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de planta en los meses de estudio.....	61
Cuadro 4. Análisis de varianza para altura de planta en fase de floración (25 febrero 2015)	62
Cuadro 5. Prueba de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) para altura de planta (cm) (25 de febrero 2015)	62
Cuadro 6. Análisis de varianza para la ramificación basal	64
Cuadro 7. Análisis de varianza para ramas secundarias en fase de floración y fase de madurez fisiológica	65
Cuadro 8. Prueba de Duncan para número de ramas secundaria por planta	65
Cuadro 9. Cuadrados medios de los análisis de varianza de cobertura foliar en seis fechas de lectura	67
Cuadro 10. Promedios de cobertura foliar (cm) para el 17 y 25 Febrero.....	67
Cuadro 11. Análisis de varianza para el número de racimos florales por planta (4 y 25 de enero 2015).....	69
Cuadro 12. Análisis de varianza para el número de inflorescencias por planta (2 de febrero 2015)	71
Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para el número de racimos de vainas por planta	74
Cuadro 14. Análisis de varianza para la longitud de racimo de vainas (7 marzo)	75

Cuadro 15. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para la longitud de racimo de vainas.....	76
Cuadro 16. Análisis de varianza para rendimiento de grano.....	77
Cuadro 17. Análisis de varianza para profundidad radicular.....	78
Cuadro 18. Análisis de varianza para raíces laterales (secundarias y raicillas).....	80
Cuadro 19. Análisis de varianza para el número de nódulos por planta.....	81
Cuadro 20. Análisis de varianza para el diámetro del cuello de planta.....	84
Cuadro 21. Prueba de medias de Duncan al 5 %, para el diámetro de cuello de planta.....	84
Cuadro 22. Promedio de días a las fases fenológicas del cultivo de q'ila q'ila.....	85
Cuadro 23. Promedio del rendimiento en verde (g) de plantas de q'ila q'ila en parte aérea y parte de la raíz.....	87
Cuadro 24. Análisis de varianza para materia seca (M.S.) de la planta.....	88
Cuadro 25. Formación de la biomasa en seco por hectárea.....	89
Cuadro 26. Resultados del laboratorio IBTEN para la materia orgánica (%) en el suelo (método de Walkley Black).....	90
Cuadro 27. Resultados en laboratorio sobre el Nitrógeno (%) por método Kjendahl.....	91
Cuadro 28. Tabla de la relación carbono-nitrógeno después de cuatro meses de la incorporación de plantas de q'ila q'ila al suelo.....	93
Cuadro 29. Resultados de laboratorio del comportamiento sobre el macro elemento del fósforo P (ppm).....	94
Cuadro 30. Resultados del laboratorio de los niveles de potasio K intercambiable (meq/100 g de suelo).....	95

Cuadro 31. Comparación de datos climáticos entre el lugar de origen y del experimento.....	96
Cuadro 32. Fijación de nitrógeno total en diferentes especies.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área experimental en la localidad de K'ipha K'iphani – Viacha, dependientes de la Fundación PROINPA (INE mapa de municipios, 2016)	35
Figura 2. Croquis de la parcela experimental ubicada en K'ipha K'iphani - PROINPA	47
Figura 3. Precipitación pluvial durante el desarrollo de la q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015).	58
Figura 4. Temperatura máxima, mínima y media, registrados en desarrollo de la q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015).....	59
Figura 5. Porcentaje de humedad relativa durante el desarrollo del ciclo de la q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015).....	60
Figura 6. Curva de crecimiento en altura de planta (cm), durante el desarrollo de la q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>)	63
Figura 7. Número de ramas secundarias por planta con tratamientos de surcado, carpido y el testigo	66
Figura 8. Diámetros de la cobertura foliar en los tratamientos de surcado, carpido y el testigo.....	68
Figura 9. Gráfica del número de racimos florales por planta.....	70

Figura 10. Número de inflorescencias/planta en diferentes fechas de observación.....	72
Figura 11. Número de racimos de vainas/planta en distintas fechas de medición.....	74
Figura 12. Crecimiento en longitud de racimos de vainas para cada fecha.....	76
Figura 13. Longitud de la raíz con los tratamientos de surcado, carpido y testigo.....	79
Figura 14. Concentración de raíces laterales a diferentes longitudes de la raíz	80
Figura 15. Densidad de nódulos a diferentes profundidades	82
Figura 16. Promedio de diámetro de nódulos con tratamientos de surcado carpido y testigo	83
Figura 16. Porcentaje de materia seca para los diferentes tratamientos (surgado, carpido y testigo)	88
Figura 18. Contenido de nitrógeno fijado con sus tratamientos de surgado, carpido y testigo	92
Figura 19. Promedio de contenido de fósforo por los tratamientos	95
Figura 20. Contenidos de Potasio intercambiable en los tratamientos	96

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación de la parcela experimental en la Estación Experimental de la Fundación PROINPA	34
Fotografía 2. Parcela de q'ila q'ila en emergencia después de la cosecha de quinua	39

Fotografía 3. Riego por aspersión en cultivo de q'ila q'ila	40
Fotografía 4. Presencia de tricomas como mecanismo de vainas	41
Fotografía 5. Cosecha de vainas en sobres manila	42
Fotografía 6. a) Trilla con zarandas y b) Grano limpio de q'ila q'ila	43
Fotografía 7. Corte de la q'ila q'ila e incorporación al suelo con tractor	44
Fotografía 8. Toma de muestra del suelo a nivel de la raíces de la q'ila q'ila.....	44
Fotografía 9. Recolección de q'ila q'ila para evaluar materia seca.....	45
Fotografía 10. Aplicación de tratamientos: a) Surcado y b) Carpido	46
Fotografía 11. Parcela experimental y plantas de q'ila q'ila identificadas	49
Fotografía 12. Medición de la cobertura foliar	50
Fotografía 13. Aparición del racimo floral	50
Fotografía 14. Apertura de flores indicando la fase de floración de q'ila q'ila	51
Fotografía 15. Conteo de inflorescencias	51
Fotografía 16. Medición de la longitud del racimo de vainas.....	52
Fotografía 17. Peso hectolítrico de la semilla de q'ila q'ila	53
Fotografía 18. Extracción de raíces de q'ila q'ila para la evaluación	54
Fotografía 20. Racimo floral fotografiado en estereoscopio (acercamiento 10X).....	71
Fotografía 21. a) Floración del tipo acrópeto, b) inflorescencias llamativas a agentes polinizadores.....	72
Fotografía 22. a) Distribución de nódulos en las raíces, b) Pigmentación rosada por la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno al interior del nódulo, c) Diámetro de un nódulo grande de q'ila q'ila	82
Fotografía 23. Pigmentaciones rosadas en el interior del nódulo de q'ila q'ila en la fase de floración: a) Nódulo de q'ila q'ila en flor blanca, b) Nódulo de q'ila q'ila en flor púrpura y c) Corte transversal del nódulo (acercamiento 10X).	83

Fotografía 24. Fenología del tarwi silvestre q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>)	86
---	----

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Clase textural del suelo de la parcela experimental.	108
Anexo 2. Porcentajes de materia orgánica del suelo al inicio de la emergencia y al final después de tres meses de la incorporación al suelo	109
Anexo 3. Porcentaje final de materia orgánica después de cinco meses después de la incorporación	110
Anexo 4. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio al inicio del proceso experimental.....	111
Anexo 5. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio en la etapa de rebrote	112
Anexo 6. Análisis de nitrógeno, fósforo y potasio en la etapa de floración	113
Continuación anexo 6.....	114
Anexo 7. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio después de la incorporación.....	115
Anexo 8. Promedio de raíces laterales (secundarias y raicillas)	117
Anexo 9. Resultados de pesos de semilla contenidas en 10 ml en laboratorio	117
Anexo 10. Fotografías tomadas al inicio de experimento.....	118
Anexo 11. Fotografías de q'ila q'ila en estado de floración y estado de nodulación	118
Anexo 12. Tratamientos empleados en la parcela experimental	119
Anexo 13. Flor de q'ila q'ila atrayente de insectos benéficos por el polen en sus anteras.....	119
Anexo 14. Vista panorámica de la estación de K'ipha K'iphani en época de verano	120

RESUMEN

La q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) posee resistencia a factores bióticos y abióticos, potenciales para la domesticación y la mejora de leguminosas, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados ocasionó el olvido de prácticas conservacionistas que respeten la fertilidad del suelo como medio de sustento para los habitantes del Altiplano. El presente trabajo se dio curso en la gestión 2014 – 2015, llevado a cabo en los predios de la Fundación PROINPA de la localidad de K'ipha K'iphani – Viacha, donde se registraron temperaturas promedio de 10.8 °C, con intervalos desde -7.5 °C hasta los 18.8 °C, humedad relativa de 55.5 % y de precipitación 525.3 mm. Tras la cosecha de una parcela de quinua, el suelo experimentó la reposición de Nitrógeno total en 0.15 % gracias a la Fijación Biológica del Nitrógeno por el lupino silvestre y del tratamiento de surcado.

Sin embargo con el tratamiento de carpido se obtuvo mejores resultados en desarrollo vegetativo y reproductivo, por otro lado el aporte de materia orgánica alcanzó 0.65 %. Se recomienda el seguimiento y uso de esta especie para reponer la fertilidad de los suelos sin necesidad de recurrir a largos barbechos y rescatando a los *Lupinus* altiplánicos.

1. INTRODUCCIÓN

En el Altiplano boliviano, la agricultura se ha practicado por mucho tiempo de donde la producción ha mantenido la alimentación de sus habitantes. A consecuencia de los años de explotación agrícola, la mecanización inadecuada, la reducción de los años de descanso, monocultivo y otros factores han causado que la fertilidad de los suelos haya declinado. La falta de abonamiento junto a, los efectos de los cambios climáticos está provocando la erosión del suelo que es cada vez más crítica y severa.

El deterioro de los suelos en el Altiplano es consecuencia de la pérdida de cobertura vegetal típica del lugar a causa de la actividad antropica. El uso de la biomasa como leña en hogares, panadería y otros, deforesta alrededor de 1600 km² al año, aparte la ampliación de la frontera agrícola para la quinua y maca en suelos frágiles van degradando este recurso con siembras en surcos con sentido de la pendiente, al respecto, el exceso de la carga animal coadyuva la pérdida de diversidad vegetal (Orsag, 2009 y Orsag *et al.*, 2011).

Actualmente el uso de estiércol de ganado camélido y ovino son utilizados como abonos o enmiendas agrícolas, al ser insuficientes en insumos, los cultivos del Altiplano están sujetos a bajos rendimientos por la escases de materia orgánica que impide buenas condiciones físico-químicas, favorables para la reposición de la fertilidad del suelo que repercute en lo social y económico de los productores en los andes del territorio boliviano.

Muchos investigadores y tomadores de decisión caracterizan al Altiplano boliviano como una región de altura, seca, fría, semiárida, con poca vegetación y que solo se cultiva la quinua junto a la crianza de algunos camélidos. Sin embargo según Bonifacio (2015), permite notar una amplia diversidad de la flora andina, con especies nativas o silvestres de uso forrajero y arbustivo como cobertura vegetal. Estas especies son viables para su domesticación en la agricultura, pero aún no han sido valoradas en sus bondades actuales y mucho menos apreciadas para la producción sostenible de la quinua.

Los lupinos silvestres de acuerdo a su lugar de origen, se caracterizan por su adaptación a las condiciones ambientales adversas, el crecimiento en estaciones secas y frías le permite la formación de materia verde, sin olvidar la actividad de toda leguminosa como la fijación de nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis con rizobias específicas. Sin embargo, las leguminosas nativas fueron desplazadas por la introducción de cultivos foráneos, conduciéndolos a la marginación, por lo que las especies silvestres han sido las más afectadas, la variabilidad genética refleja el rendimiento y las formas de cultivo, actualmente sus parientes se encuentran ampliamente distribuidos en distintos escenarios geográficos como valles interandinos hasta el Altiplano peruano – boliviano Mujica (1992), citado por Sven y Mujica (2006).

Desde la adopción de la “revolución verde” en la agricultura, se ha perdido la práctica de conservación y renovación de los suelos, mediante la rotación de cultivos e incorporación de materia orgánica, barbechos entre otros; siendo sustituidos por fertilizantes químicos, sin importar el coste energético y ambiental.

La idea de disminuir fertilizantes nitrogenados está adquiriendo mayor aceptación mundial, con propuestas y alternativas de modificación genética de plantas, a la optimización y mejora de la FBN fijación biológica de nitrógeno (López y Boronat, 2016).

La Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), es la manera más efectiva y no contaminante para mejorar la fertilidad del suelo comparada con la fertilización química y la orgánica, las cuales presentan altos niveles de contaminación con sales nitrogenadas y microorganismos patógenos para el hombre Olivares (2008).

Una opción para reponer la materia orgánica y la fertilidad del suelo, es mediante la inclusión de especies leguminosas propias del lugar, entre ellas está la especie de tarwi silvestre (*Lupinus sp.*), en el Aymará también es conocida como q'ila q'ila, que crece y se desarrolla en la zona del Altiplano boliviano. Las colectas de *Lupinus* silvestres por investigadores de la Fundación PROINPA, han determinado las potencialidades de la q'ila q'ila, examinando la diversidad genética, hábitos de

crecimiento, adaptación ecológica, formación de semilla, viabilidad, simbiosis con *Rhizobium* y siembras experimentales.

1.1. Antecedentes

Alcon *et al.* (s.f.), estudiaron la distribución de los parientes silvestres del tarwi, por ser una fuente interesante de materia orgánica y por la fijación de nitrógeno, en los cuales, encontraron que las leguminosas silvestres presentan una diversidad de ecotipos en zonas productoras de quinua

El tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) no cuenta con mucha información documentada, pero se tiene experiencias con la especie cultivada de tarwi (*Lupinus mutabilis*). El tarwi al igual de la q'ila q'ila, es poco exigente en nutrientes, se desarrolla en suelos marginales, con poca humedad en el suelo; no obstante su aporte a la agronomía es valiosa, por cuanto preserva la fertilidad de los suelos mediante la fijación de nitrógeno y su incorporación a la tierra como abono verde.

La especie cultivable ha determinado incrementos en la producción de papa y cereales, además mejoró la disponibilidad de materia orgánica con mayor retención de humedad y optimizando la estructura de los suelos Enríquez (2004). El reporte según Choque (2012), encontró rendimientos de 3651 kg/ha de papa (*Solanum tuberosum*) en asociación de 50 % con tarwi cultivado (*Lupinus mutabilis*) y beneficios de mejor cobertura foliar (2305.5 cm²).

1.2. Justificación

Conociendo los problemas en los suelos del Altiplano, es necesario la incorporación de enmiendas orgánicas, por medio de prácticas y cuidados de bajo costo que sean accesibles para los agricultores de la región. Muchos de ellos están dedicados a la producción de quinua y a la cría del ganado camélido.

El Altiplano, es centro de origen de varias especies que aún no han sido estudiadas o tomadas en cuenta; para luego ser aprovechadas en la producción y el manejo de una agricultura sostenible en el tiempo.

La mayor parte de las especies vegetales registran crecimiento y desarrollo en la época de lluvias o estación de cultivo. Sin embargo, las especies silvestres del género *Lupinus* están adaptadas para sobrevivir y crecer aún en estación fuera de cultivo, generando materia verde y fijando nitrógeno atmosférico en condiciones adversas para la mayoría de las especies vegetales, pero esta característica no ha sido documentada y menos aprovechada.

Para contribuir a la producción agrícola y pecuaria del Altiplano (alta, fría, seca) es necesario buscar fuentes alternativas de materia orgánica dirigida a la conservación de suelos, mejora de praderas, sistemas pastoriles y por sobre todo en la competitividad del manejo del cultivo de la quinua como principal fuente de alimento e ingreso económico a familias agricultoras; una de estas alternativas es la implementación y el uso de la q'ila q'ila o tarwi silvestre (*Lupinus sp.*), como fuente de abono verde y por su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico en los suelos degradados por efectos antrópicos y atmosféricos.

El establecimiento de asociación de cultivos con siembra en tándem tiene el propósito de recuperar los suelos esquilados a causa de los cultivos habituales, reponiendo la fertilidad del suelo sin necesidad de recurrir al abandono de las parcelas extensas y sin cubierta vegetal.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar al tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) en la fijación de nitrógeno (N) y como abono verde.

1.3.2. Objetivo específicos

- Determinar la fijación de nitrógeno al suelo, por el tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*).

- Evaluar el crecimiento y formación de materia verde del *Lupinus sp.* mediante prácticas de remoción de suelo (surcado y carpido).
- Evaluar las variables agronómicas de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) con miras a su aprovechamiento.

1.3.3. Hipótesis

- Ho: La aplicación de labores de remoción del suelo (surcado y carpido) en tarwi silvestre no tendrá efecto sobre la formación de biomasa.
- Ha: La incorporación de tarwi silvestre (*Lupinus sp.*) tendrá efecto en la fijación de nitrógeno al menos en uno de los tratamientos. REVISIÓN

2. BIBLIOGRÁFICA

2.1. El Altiplano

El Altiplano está caracterizado por ser una planicie formada de sedimentos depositados en los lagos pleistocénicos, está situada entre extensas cordilleras (Occidental, Oriental) y serranías inter – altiplánicas con gradientes de humedad hasta áridas; que van de norte hacia el sur, su fisiografía forma la cuenca endorreica, destacándose dos importantes cuerpos de agua; el lago Titicaca es considerada como agua dulce y del Poopó como agua salada, además de poseer los salares de Uyuni y Coipasa (Montes de Oca,1995).

2.1.1. Descripción del Altiplano

La región del Altiplano se define como el territorio por encima de los 2600 m.s.n.m. extendiéndose desde los 5° hasta 22° Latitud Sur, es el área fuertemente influenciada por eventos climáticos como heladas, sequías, altas precipitaciones súbitas como ser; granizadas, nevadas, además de fuertes vientos y clima inestable afectando la producción agrícola. Este ámbito es singular tomando en cuenta que los Andes altiplánicos están ubicados entre los paralelos de la zona tropical (IICA y IBTA, 1979).

Horckheimer (1973), citado por IICA e IBTA (1979) menciona, que el Altiplano fue el centro de importantes culturas prehispánicas con dominio de sus propias tecnologías en crianza y agricultura, logrando mantener una población estimada de 6 millones de habitantes.

2.1.2. Características del suelo de zonas agrícolas del Altiplano

Félix y Villca (2009) mencionan, que los suelos del Altiplano Sur están ubicados entre 3650 y 4000 metros de altitud en una zona árida, los mismos están sujetos a la erosión provocada por fuertes vientos existentes en la región, precipitaciones pluviales muy bajas (150 a 300 mm), de suelos salinos y arenosos provocando

gigantescas nubes de polvo, además las sequías con heladas son aproximadamente 200 días al año, perjudicando gravemente la fertilidad en los suelos de las “pampas”, las cordilleras y los salares (desiertos de sal formados por sedimentos cuaternarios).

LIDEMA y PIEB (2010), reportan sobre el efecto negativo en los ecosistemas frágiles del Altiplano por causa de la falta de conocimiento e inadecuado uso del suelo sin planificación por parte de los agricultores, los mismos actores utilizan el arado de discos habilitando tierras con el abuso del tractor. El resultado es la pérdida del hábitat para especies vegetales, estimulando la desaparición de la cobertura vegetal a falta de sustratos y microclimas propios del lugar.

Según Orsag *et al.* (2011), los suelos del área del inter-salar (Salares de Uyuni y Coipasa) en general son de textura gruesa (arenosos a areno francoso), con contenidos importantes de grava, relativamente la clase textural incide sobre la alta permeabilidad, baja capacidad en retención de agua y de nutrientes, así mismo son poco estables y muy susceptibles a la erosión eólica e hídrica. Según la indagación por los mismos autores, los suelos de dicha área contienen valores muy bajos en materia orgánica (2.8 %), en cambio las planicies de Irpani con aptitud de bofedal encontraron de 7.6 % hasta 10 % en materia orgánica. Las condiciones climáticas adversas (bajas precipitaciones y de temperaturas) no favorecen el desarrollo de una cobertura vegetal importante que aporte materia orgánica al suelo.

Bonifacio (2015), mediante investigaciones dirigidas a los barbechos o descansos tradicionales, concluye como la consecuencia del boom de la quinua, la vegetación y la fertilidad del suelo ha sufrido una drástica reducción y la recuperación de la fertilidad del suelo lleva varios años. Sumado a este efecto, la escasa humedad y bajas temperaturas ocasionan que la materia orgánica en los suelos del Altiplano sean bajos, dando lugar a distintos tipos de erosión.

El mencionado autor resalta algunas experiencias descubiertas por los agricultores de la localidad de Loco – Oruro, quienes hacen el mejoramiento de sus suelos utilizando la vegetación propia del lugar, en contraste, los agricultores de las

localidades vecinas cuentan con suelos desgastados por la expansión del monocultivo de quinua.

Estas experiencias son el resultado de la apreciación de los beneficios que conlleva la conservación de la cobertura vegetal a lo largo de los años, además recomienda a los investigadores tomar en cuenta estos datos y experiencias de los pobladores con el propósito de conservar la fertilidad del suelo en el Altiplano.

Así mismo la buena estructura, la humedad, los microorganismos benéficos, entre otras propiedades físicas y bioquímicas favorecen el crecimiento de los cultivos como también las pasturas dedicadas al ramoneo de llamas (*Lama glama*) indispensables por ser una fuente de carne para la alimentación humana y de guano dirigida al cultivo de la quinua.

2.2. Fuentes de materia orgánica en el Altiplano

En el Altiplano existen distintas fuentes de materia orgánica hacia el suelo como ser; la existencia de amplias praderas aptas para la cría de ganado (camélido, ovino y vacuno), bofedales, arbustos semileñosos – forrajeros, prácticas de rotación de cultivo y descansos de tierras como las aynokas (Orsag *et al.*, 2006).

Los humus son provenientes de la descomposición de restos vegetales, restos de cultivos como también restos de plantas naturales llamadas abonos verdes (Cepeda, 1991 citado por Choque, 2012). Otra fuente importante de humus es el estiércol de los animales, esenciales para la formación de agregados estables con buena estructura; con el fin de aumentar la porosidad, el grado de infiltración y la capacidad de retención de humedad evitando la evaporación del suelo (FAO, 1999).

Según Aroni (2008), Jaldin (2010) y Bonifacio (s.f.), en el Altiplano la reducción de áreas de pastoreo y reducción de la población de camélidos afectan negativamente a la disponibilidad de estiércol para su incorporación al suelo como materia

orgánica, en consecuencia es común observar parcelas abandonadas por más de 10 a 20 años y convertidas en arenales alcanzando superficies de hasta 600 ha.

La habilitación de la frontera agrícola en el Altiplano Sur condujo a la desaparición de la t'ula como barreras vivas, indirectamente aportan materia orgánica para estas zonas (Jaldin, 2010). Por otro lado las acciones emprendidas por PROINPA (2014), coadyuvan a la conservación y multiplicación de arbustos nativos (t'ula, pastos entre otras), que cumplen rol importante en sistemas ecológicos como modelos sostenibles para la agricultura.

2.3. Biomasa

El concepto de biomasa está relacionado con la productividad de la materia orgánica, de un sistema natural o artificial, el término puede definirse como la totalidad de fitomasa generada por la fotosíntesis sobre una superficie. Es el peso total de todo material vivo en un hábitat en particular de origen biológico, este biorecurso puede utilizarse como materia prima para su transformación útil (Kalam, 2003).

La abundante vegetación puede hacernos creer, erróneamente, la existencia y efectividad de suelos muy fértiles con gran capacidad de trabajo agrario. En si los nutrientes no se encuentran en el suelo sino, en el mayor porcentaje de biomasa, que tiene una alta capacidad en reabsorber los nutrientes de la materia orgánica caída y descompuesta, evitando la desertificación con pérdida de suelos. La ampliación de la frontera agrícola es consecuencia de interés económico por cambio de uso del suelo, que provoca la sustitución de praderas y bosques (Carhuavilca, 2015).

2.4. Abono verde

En agricultura orgánica un abono verde es una opción frente al uso de fertilizantes sintéticos, es un tipo de cultivo para ser incorporadas al suelo en verde, por eso se las denomina abono "verde", generalmente se usan plantas en estado de floración

por su mayor contenido de agua, azúcares, almidones entre otros, que mejoran la calidad del suelo. Esta técnica es viable y económica, por sus excelentes beneficios (retención de humedad, aumento de carbono), el material vegetal en común son del tipo de las leguminosas por generar gran cantidad de raíces con nódulos (*Rhizobium*), tallos, hojas, etc. para su descomposición (SAGARPA, s.f.).

Gross (1982) indica que por la incorporación del tarwi en floración existen buenos resultados en aumento de materia orgánica y de ofrecer barreras vivas contra el daño de animales a los cultivos ya que es poco preferido por el contenido de alcaloides que tienen estas especies.

Los abonos verdes según Pascuali *et al.* (s.f.), son cultivos de cobertura practicadas hace 3000 años como manejo de tecnología prehispánica, cuya finalidad es devolver nutrimentos al suelo como alternativa viable y ecológicamente racional.

Los abonos verdes pueden ser siembras de plantas leguminosas, solas o de forma intercalar con asociación de cereales como la quinua sin afectar su normal desarrollo (Peñaranda, 2007).

La especie vegetal como abono verde debe satisfacer algunas exigencias básicas, para Giraldo y CENTA (s.f.), deben ser especies con el mínimo consumo de agua, crecimiento en suelos pobres o marginales, masiva producción de material vegetal, con capacidad de adaptarse a diversos suelos y climas. Estas especies se cultivan con el fin de proteger y recuperar el suelo, así mismo el abono verde se encuentra en forma natural como ser las malezas en áreas no cultivadas.

Las variedades que se recomiendan como abono verde son principalmente las plantas que pertenecen a la familia de las leguminosas por poseen una cualidad singular en su raíces (formación de nódulos), en ellas se alojan bacterias que tienen la capacidad de convivir con las plantas aportándoles nitrógeno.

La q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) por ser pariente silvestre contiene numerosas similitudes a los *Lupinus* cultivables. Según Mujica y Jacobsen (2006), el tarwi (*Lupinus mutabilis*) tiene un uso conocido como el ser del abono verde para los suelos

pobres, cansados, esquilados, carentes de nutrientes y de materia orgánica a consecuencia de la sobre explotación agrícola. Esta práctica favorece a la retención de la humedad, debido a la defoliación va formando mantillos, además de aportar las raíces con nódulos creando un escenario favorable para la actividad bacteriana.

2.5. Beneficios del abono verde

La fertilidad sostenible del suelo es implícitamente vinculado por la materia orgánica, este concepto deriva la disposición de nutrientes que en la agricultura convencional es remplazada por fertilizantes sintéticos (Chilon, 1995). Las aplicaciones de los abonos verdes según SAGARPA (s.f.), disminuyen la lixiviación de nutrimentos ocasionados por la erosión y aumenta la agregación del suelo.

La calidad y cantidad de microorganismos facilita la transformación de restos vegetales en productos simples por la mineralización, ayudando a corregir el pH, como también controla las malezas, plagas y enfermedades (Chilon, 1995).

Caballero (2012), reportó en parcelas con cultivo de tarwi en la localidad de Patarani – Provincia Aroma, niveles en pH igual a 6.3 (ligeramente ácida) y Conductividad eléctrica de $\mu\text{S}/\text{cm} = 0.24$ clasificándose como libre de sales y mejores condiciones, favoreciendo el desarrollo de hongos y actinomicetos sensibles a la acidez.

Bazan (1995) y Villarroel (s.f.) citados por Peñaranda (2007), se refieren al reporte de la investigación del efecto residual del tarwi (*Lupinus mutabilis*) sobre el rendimiento de cebada en grano y materia seca, los rendimientos de cebada cultivada después de tarwi, fueron de 1193 kg/ha de grano y 1453 kg/ha en materia seca; en cambio, con barbecho los rendimientos alcanzaron de 933 kg/ha de grano y 1154 kg/ha de materia seca. Por lo que llegan a la conclusión; que el cultivo de tarwi ha dejado en sus nódulos y raíces nitrógeno disponible y residual para el cultivo de cebada, estimándose aproximadamente en 14 kg/ha de nitrógeno.

Las investigaciones realizadas por Campillo (2001), demuestran aportes en nutrientes con cuatro tipos de leguminosas, el porcentaje en la Fijación Biológica de Nitrógeno de la alfalfa obtuvo mejores resultados con 88 y 770 kg/ha frente a el trébol blanco (396 kg/ha), trébol rosado (424 kg/ha) y trébol subterráneo (191 kg/ha), pese a que fueron sometidas a inoculantes, estas fueron indiferentes a sepas nativas. Según Pascuali *et al.* (s.f.), plantea un aporte de 62 y 897 kg/ha de nitrógeno anuales en sistemas de Rhizobium – leguminosa forrajera.

2.6. El tarwi y sus parientes silvestres

Zrazhevskiy (s.f.), califica al tarwi (*Lupinus mutabilis*) como una planta leguminosa, herbácea erecta, de tallos robustos vigorosos, algo leñoso y crece en climas templados a fríos. Tapia (2003) indica, que el tarwi se cultiva principalmente entre los 1000 a 4200 m.s.n.m.

Los trabajos realizados por Kurlovich (2002), citado por Bonifacio (2015), reconoce al género *Lupinus* con una amplia diversidad genética albergando entre 200 a 1000 especies con distribución extensiva y amplitud ecológica de su hábitat. En el hemisferio Este (Australia, Europa, Asia y África) se cultivan especies como *Lupinus albus* (lupino blanco) *Lupinus angustifolius* (*Lupinus* de hoja angosta), y *Lupinus luteus* (lupino amarillo). Últimamente fueron domesticadas en Australia el *L. atlanticus Gladstones* y *L. pilosus Murr*, la distribución de lupinos en el hemisferio Oeste, está comprendida desde el nivel del mar, hasta los 4800 m.s.n.m. en zonas sub alpinas y alpina de la cordillera de los Andes.

El centro de origen del tarwi según Hernández y León (1992), estaría ubicado en la región andina que va desde el Ecuador, Perú y Bolivia; en ellas se encuentra la mayor variabilidad genética. Los pobladores pre incas domesticaron los *Lupinus* silvestres, dando lugar a lupinos cultivables que se extendió por toda la región andina, parte de Chile y Norte Argentino con diferentes sistemas de producción, reflejándolos en sus cerámicas y tejidos (Mujica y Jacobsen, 2006).

En el siglo XVI el cultivo del tarwi se ve afectada a la llegada de los europeos, principalmente por el cambio de nombre perdiendo su significado original y bautizándolo con la denominación hispánica de altramuz (Bernabé *et al.* (s.f.) citado por Tapia, 2003).

Así mismo, se las conocen como chuchus muti en el quechua (Cochabamba, Bolivia), pearl lupin o andean lupin en el Inglés (Tapia y Fries, 2007).

Después de la colonización y el transcurso del tiempo, los pueblos indígenas han logrado conservar su identidad e idioma, conjuntamente el conocimiento ancestral, permitiendo al tarwi silvestre que se las conozcan como “q’ila q’ila”, “salqa o salquiri” en aymara y “ckera” en el quechua.

El tarwi silvestre “q’ila q’ila”, “salqa o salquiri”, según Bonifacio (s.f.), es el nombre nativo del lupino silvestre cuya traducción literal al idioma español es incierta, probablemente proviene de la palabra qhilla-qhilla que quiere decir ceniciento, por la apariencia de sus hojas y tallos de las especies. Los nombres de salqa y salqiri se refieren al comportamiento errático de su reproducción, dado por la dormancia y dispersión de semillas en colonias con crecimiento de cada tres o cuatro años tiempo en que tiene lugar el escarificado natural.

Hughes y Eastwood (2006), resaltan la importancia de los Andes por contener la mayor diversidad de géneros como parientes silvestres del cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis*). Al respecto Alcon *et al.* (2013), reportan la diversidad de leguminosas en la zona Alto Andina, aunque mencionan que la taxonomía de las especies es aun compleja.

Según Mujica y Jacobsen (2006), en el Altiplano las leguminosas silvestres presentan una amplia diversidad, reportando 83 especies diferentes por fisiología de semilla y distribución geográfica, pudiendo ser partícipes en los sistemas de rotación de cultivos como papa, quinua y cebada.

Las investigaciones conducidas por Bonifacio *et al.* (2015) y Bonifacio (s.f.), valoriza a los lupinos silvestres q’ila q’ila (*Lupinus sp.*), por su crecimiento, que va desde 30

cm hasta los 1.2 m de altura adaptándose a diversos escenarios topográficos (laderas, cerros y dunas de arena), donde pueden desarrollarse en suelos arenosos, franco-arenosos, arcillosos, franco-arcillosos, gravosos, pedregosos y hasta rocosos del Altiplano boliviano, muy aparte de la disponibilidad de humedad.

2.6.1. Clasificación taxonómica

Gross (1982), plantea la redefinición taxonómica por la dificultad de nombres y la variabilidad genética del tarwi (*Lupinus mutabilis*), la clasificación sistémica publicada no define a *Lupinus* silvestres. Los nombres científicos no incluyen zonas de recolección, los nombres nativos no están contemplados. Según Bonifacio (2015), sugiere nombrarlas como especies plurales (*Lupinus spp*), hasta que su identificación específica sea establecida, por tanto el tarwi silvestre q'ila q'ila no presenta clasificación documentada.

La clasificación sistemática presentada a continuación es usada actualmente:

Orden: Rosales
Suborden: Leguminosinae
Familia: Leguminosae
Subfamilia: Papilionaceae
Tribu: Genisteae
Sub tribu: Genistinae
Género: Lupinus
Sub género: Eulupinus
Especie: Lupinus
Subespecie: sp.

2.7. Descripción botánica

Gross (1982), refiere a las descripciones botánicas como puntos de referencia ante la falta de uniformidad morfológica, la variabilidad genética se manifiesta en caracteres fenotípicos.

Según Meneses *et al.* (1996), el tarwi (*Lupinus mutabilis*) posee la polinización cruzada de 5 a 10 %, la duración del ciclo vegetativo es variado comprendida entre 6 hasta 10 meses.

2.7.1. Sistema radicular

La primera etapa es la formación de la radícula del embrión, del cual da inicio a la raíz principal, luego la formación de raíces secundarias, el sistema radicular es pivotante vigorosa con longitudes de hasta 3.0 m.

Toda leguminosa forma la simbiosis con las bacterias noduladoras de *Rhizobium* en sus raíces al poco tiempo de la emergencia de las plántulas (2 a 3 semanas), los nódulos tienen forma poliédrica dado por la actividad fijadora de nitrógeno atmosférico, gracias a la leg-hemoglobina otorga la tonalidad rojiza en su interior.

2.7.2. El tallo

El tallo es generalmente de coloración verde oscuro a gris castaño dependiendo el grado de leñosidad o según estado fenológico, no presenta macollaje pero forma la segunda y tercera ramificación.

La arquitectura de la planta es soportado por el eje principal del cuello de la raíz, las ramificaciones en forma de “V”, basal, y “V” invertida es relación del eje primario y las ramas (Gross, 1982).

2.7.3. Hoja

Las hojas son de forma palmeada, digitada, en número menores de diez folíolos de forma lanceolada u ovalada, con presencia de vellosidades (tricomas).

2.7.4. Flores e inflorescencia

La forma de las flores es típica de las Papilionáceas, su estructura floral está conformada por una corola grande, 5 pétalos, compuesta por 1 estandarte, 2 quillas y 2 alas. Por el tipo de ramificación se identifica de hasta 3 floraciones sucesivas

Las flores presentan una variación en la coloración desde el inicio de su formación hasta la culminación, el color más común es el azul púrpura en diferentes tonalidades como también el color blanco, crema, rosado y amarillo.

La inflorescencia se caracteriza por racimos terminales con flores verticiladas, alcanzando un número mayor de 60 flores por racimo que se convertirán en vainas.

2.7.5. Fruto y semilla

El fruto del tarwi de las especies silvestres es una legumbre de vaina pubescente dehiscente con forma elíptica u oblonga en ambos extremos.

La forma y tamaño de la semillas son ovaladas, comprimidas en la superficie con una amplia variabilidad en color (desde blanco puro hasta negro).

2.8. Fenología del tarwi

La fenología es el estudio de periodos naturales del ciclo vital de la planta, deriva del griego *phaino* con significado de manifestar, y de *logos* como tratado, este término específico sirvió como herramienta para diferenciar y correlacionar el desarrollo de la planta con el clima, en especial con la temperatura y humedad (Ayuzawa, 2014).

Tapia (1997), describe el significado de “fase”: como la aparición, transformación o pronta desaparición de órganos vegetales, un ejemplo; es la emergencia de plántulas. En cuanto a la “etapa”: se define como delimitación de dos fases sucesivas, (pre o post fase de dos a tres semanas) en los cuales pueden

presentarse periodos cruciales, sensibles a elementos en donde los eventos meteorológicos ocasionan oscilaciones en el rendimiento del cultivo.

Por otra parte Izarra y Lopez, s.f. establecen seis fases importantes en el lupino cultivable, entre ellas contempla; la emergencia, primera hoja verdadera, racimo floral, floración, fructificación y la maduración.

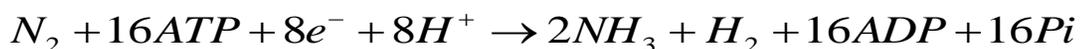
2.9. Fijación biológica de nitrógeno (FBN)

La atmosfera tiene como principal componente al nitrógeno de forma molecular N_2 armonizada con el oxígeno O_2 o hidrógeno H para formar óxidos de amonio que se puede incorporar a la biosfera. Se estima que la fijación global (biótica y abiótica) es importante, siendo de unos 250 millones de toneladas al año, de las cuales 150 corresponden a la fijación biológica (Smil, 2000).

El mismo autor menciona dos tipos de fijación, la abiótica; tiene lugar por medio de sucesos de descargas eléctricas, combustión y agua de lluvia que va arrastrando compuestos hacia el suelo. La fijación biológica más conocida como FBN; ocurre en simbiosis de bacterias de vida libre con especies vegetales (leguminosas entre otras).

El sistema de la FBN está compuesta de tres partes: macro simbiote (La planta), el micro simbiote (La bacteria), y el órgano donde sucede el proceso de la fijación (El nódulo), componentes indispensables que influyen en la fijación de nitrógeno (FAO, 1999).

Es un proceso que consume mucha energía, ocurre con mediación de la enzima nitrogenasa como se la presenta en la siguiente ecuación:



Cabe notar que el amoniaco (NH_3) es el primer producto de la reacción, se ioniza de inmediato en amonio (NH_4) disponible, que ayudan a crecer la planta (Smil 2000), es después de la fotosíntesis, la ruta metabólica necesaria para el

mantenimiento de la vida en la biosfera llevada por unos pocos grupos de procariotas (Olivares, 2008)

La fijación biológica de nitrógeno es un gran aliado de interés económico y ecológico. Como ejemplo, se tiene a la soja con altísimos niveles de producción mundial debido a inoculantes microbianos de calidad, haciendo que las leguminosas sean importantes para la alimentación humana y animal, además, pueden contribuir a la eliminación en parte o completa de fertilizantes nitrogenados, por lo que la FBN es estudiado e investigado a lo largo de los años Smil (2000).

Según Allen y Allen (1981), Medeiros (1985), MacColl (1989) y Giller *et al.* (1994) citado por Sivila y Hervé (2006), indican que la contribución de nitrógeno al suelo por plantas leguminosas, se debe a la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, caracteres edáficas y climatológicas del lugar.

Por otro lado los mismos autores citan a Reyes y Vargas (1999) y Tomasan *et al.* (1995), enfatizando la calidad de residuos por las leguminosas e influyendo directamente en la química como nutrientes esenciales, además de mantener la biomasa microbiana por la lignina contenida como en cacahuete y soya, degradables en largos tiempos.

2.9.1. Funcionamiento de los nódulos

Entre los grupos de bacterias solo algunos géneros determinados son capaces de efectuar el proceso de fijación, estos géneros son conocidos como *Rhizobium*, que a diferencia de las cianobacterias y bacterias del género *Frankia* no pueden generar un ambiente anaeróbico donde poder realizar la fijación de nitrógeno por ellas mismas (Bautista y Valdés, 2008).

La simbiosis de hongo – bacteria del género *Actinomicete* junto a *Frankia* también puede formar nodulaciones en algunas *Betuláceas* del Altiplano, como en las raíces del Aliso (*Alnus acuminata*), esta interacción es considerada como una *Actinorriza* (Rodríguez, 2000). El mismo autor menciona a Reynel y León (1990), afirmando

que, la especie puede fijar nitrógeno en una cantidad de 280 kg por ha con un tamaño promedio de 6.2 m y de densidad de 1600 árboles, por lo que recomiendan la siembra de esta especie en la recuperación de los suelos con problemas de erosión.

La especie *Rhizobium leguminosarum* es capaz de fijar nitrógeno molecular solo cuando está asociada a la leguminosa, pero ninguno de los organismos son capaces de fijar nitrógeno por si solos (Rodríguez, 2000). La simbiosis es una forma de mutualismo donde la coexistencia son necesarias por ser reguladoras de los ecosistemas a fin de mantener equilibrio en su interior (Kalam, 2003).

El lugar donde se localiza la fijación del nitrógeno corresponde a los nódulos formados sobre las raíces de las leguminosas, como resultado de la penetración a la pared celular de la planta a causa del ion Ca^{+2} presente en una masa gelatinosa exudada por la bacteria, ejerciendo en la raíz un canal de infección, según Kobayashi *et al.* (1999), sostiene que las deficiencias del boro (B) afectan la formación de nódulos y el papel que juega el calcio Ca^{+2} durante dicha deficiencia, además la relación entre estos dos bioelementos B/Ca en condiciones de estrés salino, las suplementaciones de B/Ca recupera la fijación simbiótica del nitrógeno en plantas de guisante, muy inhibidas en condiciones salinas.

La formación de nódulos en las raíces de plantas leguminosas no indica que estas absorban el nitrógeno, su normal funcionamiento se ve afectada por factores climáticos como ser; una sequía, exceso de agua en el terreno o una carencia de elementos como fósforo o molibdeno.

El funcionamiento de los nódulos en la actividad fijadora de nitrógeno presentan pigmentaciones de color rojo a rosado en el interior de ellas, la forma más sencilla de observarlos es cortando los nódulos por la mitad; en caso de pigmentaciones verdosas, blanquecinas, o negruzcas se debe a que no se activó o dejaron de funcionar FAO (1999), la fijación biológica por los nódulos es acorde a su crecimiento fenológico de la planta.

2.10. Laboreo del suelo en la agricultura

Las labores culturales importantes es el laboreo del suelo, práctica indispensable para la producción de alimentos, ya que incide en la economía rural, por ello se derivan a nuevas técnicas de laboreo EduMec (s.f.).

La técnica autóctona de labranza mínima por implementos precolombinos es utilizada en el cultivo de tarwi, según Gross (1982), refiere a los agricultores de la región andina donde se cultiva el lupino (por sobre todo en las partes altas) no preparan el terreno antes de la siembra, sino que se siembra entre rastros de cereales como trigo y cebada, además en zonas con escasa precipitación no es necesaria la preparación del terreno.

La carpida según EduMec (s.f.), es un proceso mecánico de doble función, para quitar y eliminar malezas dejando la tierra suelta y aireada, las carpidas, se realizan con implementos como la azada o también llamado azadón.

El surcado es el método ampliamente difundido, que comenzó gracias al arado egipcio, ya sea con tracción animal o humana (chuntillas) hasta la mecanizada por arados de vertedera. Este método tiene como principio de hacer hendiduras de forma longitudinal o aberturas como rayas en la tierra con el arado (www.es.thefreedictionary.com, 2013).

Los agricultores utilizan el método de surcado para el primer y segundo aporque (irnaka, kahua), con la finalidad de profundizar los surcos, aflojar el suelo, oxigenar y de acercar la tierra a las plantas entre otras (Guerra, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo se realizó en predios de la Fundación PROINPA, zona K'ipha K'iphani, provincia Ingavi del departamento de La Paz (Fotografía 1).

La Estación Experimental de K'ipha K'iphani se encuentra a 3858 m.s.n.m. a 16°42'5" de Latitud Sur y 68°15'54" de Longitud Oeste, distante a 4 Km hacia el Sur de la población de Viacha y a 32 Km de la ciudad de La Paz (Figura 1).



Fotografía 1. Ubicación de la parcela experimental en la Estación Experimental de la Fundación PROINPA

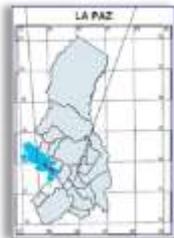


Figura 1. Mapa de ubicación del área experimental en la localidad de K'ipha K'iphani – Viacha, dependientes de la Fundación PROINPA (INE mapa de municipios, 2016)

3.1.1. Clima

K'ipha K'iphani se ubica en el Altiplano Central, se clasifica como estepa montañosa, de característica templada a fría, precipitación media anual de 619 mm y temperatura media de 6 a 11°C (Holdrige, 1982 citado por Valle, 2013).

3.1.2. Suelo

Según Quispe (2010), los suelos de la zona contiene poca materia orgánica por la vegetación del lugar, siendo conformado por la sedimentación de los materiales aluviales.

3.1.3. Agricultura y vegetación de la zona

Los pobladores de la región cultivan papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*), quinua (*Chenopodium quinoa*), también alfalfa (*Medicago sativa*) para sus ganados, en menor escala entre tubérculos y granos andinos como oca (*Oxalis tuberosa*), papaliza (*Ullucus tuberosus*) y la haba (*Vicia faba*). La producción es para sustento propio y en raras ocasiones el excedente para la venta.

La zona presenta una vegetación predominante de especies silvestres como;

<i>Chenopodium sp</i>	(Quinua silvestre)
<i>Solanum sp</i>	(Papa silvestre)
<i>Taraxacum officinale</i>	(Diente de león)
<i>Brassica campestris L.</i>	(Mostaza blanca)
<i>Eragrostis curvula</i>	(Pasto llorón)
<i>Bromus unioloides</i>	(Cebadilla)
<i>Stipa ichu</i>	(Iru - Sicuya)

<i>Medicago polymorpha</i>	(Carretilla)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	(Bolsa bolsa)
<i>Distichlis humilis</i>	(Chiji)
<i>Erodium cicutarium</i>	(Yawri yawri)
<i>Gnaphalium cheirantifolium</i>	(Wira wira)
<i>Opuntia soehrensii</i>	(Ayrampo)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	(T'ula)
<i>Viguiera lanceolata</i>	(Sunchu)
<i>Bidens pilosa</i>	(Muni muni)

3.1.4. Ganadería de la zona

Bajo las condiciones climáticas de la zona de investigación, los pobladores se dedican a la cría de ganado vacuno (*Bos taurus*), ovinos (*Ovis aries*), porcinos (*Sus scrofa*), camélidos (*Lama glama*), algunas aves de corral como gallinas (*Gallus gallus*), por ser fuente de carne y huevos, con inclinación preferente a la actividad lechera por parte de los pobladores como principal actividad.

La actividad ganadera es la mayor fuente de ingresos económicos para las familias, con la cría de ganado vacuno para múltiples propósitos como ser; labores culturales, capital de ahorro, producción lechera, procreación de crías y valor económico inmediato por la venta que se realiza en la feria dominical de Viacha. A pesar de los problemas de forraje y escasa vegetación que se presenta en época seca además del excesivo minifundio, la actividad es un fuerte respaldo económico.

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal

El material genético empleado fue el tarwi silvestre o q'ila q'ila (*Lupinus sp.*), correspondiendo al morfotipo choclito que fue recolectado en la gestión 2014 de la localidad de Peñas del municipio de Los Andes (Altiplano Norte) por técnicos de la Fundación PROINPA.

3.2.2. Material de campo

- Herramientas; picotas, chontillas, azadones
- Estacas de madera
- Letreros y marbetes para identificar tratamientos
- Marcadores
- Regla y bincha
- Cuaderno de campo para datos
- Tijeras de podar
- Tractor con arado de 3 discos

3.2.3. Material de laboratorio

- Balanza analítica
- Horno secador
- Bolsas manila
- Estereoscopio
- Pinzas
- Bolsas plásticas para muestras de suelo

3.2.4. Material de escritorio

- Ordenador Pc (Microsoft OFFICE, SAS)
- Flash memory

- Cámara fotográfica
- Lápices, cuadernos, etc.

3.2.5. Material fitosanitario

- Mochila fumigadora
- Insecticida Engeo
- Aceite concentrado de eucalipto

3.3. Metodología

3.3.1. Características de la parcela experimental

El campo experimental contaba con las características de un suelo franco arcilloso (FY), de pH 6.71 y conductividad eléctrica 0.141 dS/m descritos por análisis del laboratorio IBTEN (Anexo 1).

El suelo del lugar es proveniente de los sedimentos de cerros cercanos, proporcionando un suelo agrícola aceptable. A diferencia de las parcelas pedregosas con elevada pendiente en las partes superiores del predio de la institución y las parcelas con problemas de inundación en las partes bajas; la parcela de ensayo contaba con uniformidad en la capa arable y con moderada pendiente (Anexo 14).

La parcela experimental limita al Este con un camino de acceso, al Norte con una parcela de ensayo de pastos (*Agropyron elongatum*), el Oeste con una parcela en barbecho y al Sur con una parcela de alfalfa (*Medicago sativa*). La institución también contaba con ganado camélido por lo que se recurrió al cercado de la parcela experimental para evitar el ingreso de animales que puedan afectar el estudio.

3.3.2. Siembra

La siembra se realizó en fecha 16 de marzo del año 2014 mediante el sistema intercalado en tándem (diferido de la época de siembra). El cultivo de q'ila q'ila se

estableció entre los surcos de quinua (*Chenopodium quinoa*) que se encontraba entre la fase de floración a grano lechoso.

El distanciamiento entre surcos fue de 0.5 m y distribución de semilla a chorro continuo, para ello se empleó una sembradora manual de quinua ajustada para las semillas de q'ila q'ila.

La siembra intercalar en tándem es similar un cultivo asociado pero diferido en tiempo, de tal forma que la segunda especie (q'ila q'ila) sembrada queda en crecimiento (Fotografía 2) una vez que se cosechó el primer cultivo de la asociación con la quinua tal como se puede observar en el anexo 10.



Fotografía 2. Parcela de q'ila q'ila en emergencia después de la cosecha de quinua

3.3.3. Labores culturales

Las labores culturales fueron mínimas a fin de evaluar su comportamiento con los tratamientos que fueron previstos en la parcela de q'ila q'ila.

3.3.4. Riego

En razón de la época seca en que se desarrolló la planta q'ila q'ila, se aplicó riego por aspersión en cuatro oportunidades (Fotografía 3).



Fotografía 3. Riego por aspersión en cultivo de q'ila q'ila

3.3.5. Control de malezas

El deshierbe fue de forma parcial, reduciendo la población de malezas hacia una población moderada y evitando la competencia por nutrientes y humedad.

3.3.6. Control fitosanitario

La ocurrencia de plaga para la q'ila q'ila era latente por la infestación de pulgones en cultivos y arbustos cercanos, por lo que se aplicó aceite concentrado de eucalipto cuando las plantas se encontraban en fase de ramificación.

Posteriormente en el rebrote se aplicó ENGEO (insecticida sistémico y de contacto) como forma de prevención, pero en el envainado, el cultivo de q'ila q'ila no manifestó ataques por larvas de mosca (*Delia platura*) y larvas del gorgojo barrenador (*Apion sp.*) probablemente por las numerosas vellosidades (tricomias) presentes en tallos y vainas (Fotografía 4). Tampoco se observó el ataque de liebre (*Lepus europaeus*), todo esto se puede atribuir a la rusticidad y el sabor amargo de la planta, por lo que ya no se realizó ninguna aplicación de productos contra plagas.



Fotografía 4. Presencia de tricomas en vainas

Por otra parte, se resalta la intervención de insectos benéficos (Anexo 13) o predadores (escarabajos, chinches, mariquitas) también del tipo controladores (avispa). Según Barrantes (2015), la planta de q'ila q'ila puede servir como hospedero de diversos insectos, además de dar cobijo y poder completar sus ciclos de vida, especialmente los géneros *Copitarsia* y *Helicoverpa*, gracias a la resistencia al invierno de la planta de q'ila q'ila.

En cuanto a enfermedades se observó la aparición de roya en algunas plantas en etapa terminal, siendo hongos del tipo *Uromyces elatus* S. y *Chrysocelis lupini* según Schieber (1977) y Krug (1982), citados por Gross (1982). Los factores que favorecieron a la enfermedad fueron la alta humedad atmosférica en la época de lluvia y la densa cobertura vegetal.

3.3.7. Cosecha

A la llegada de la madurez fisiológica, la vaina presentó una coloración café parduzca y con ruido a sonajera por dentro, momento donde se procedió a la cosecha. La cosecha se realizó en forma manual, cogiendo las vainas maduras con el pedúnculo, teniendo cuidado de no desgarrar la epidermis de la inflorescencia. Las vainas cosechadas fueron recogidas por cada tratamiento y unidad experimental en bolsas manila etiquetadas previamente (Fotografía 5).



Fotografía 5. Cosecha de vainas en sobres manila

3.3.8. Secado

El propósito del secado fue para separar las semillas de los carpelos de las vainas de q'ila q'ila, como se lo hace en la especie *Lupinus mutabilis*.

Para alcanzar un secado óptimo, las vainas cosechadas fueron dispuestas en el interior de una carpa solar, permaneciendo entre 3 a 4 semanas según la secuencia de cosecha de vainas.

En condición natural, la semilla madura de q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) presenta dehiscencia a medida que la vaina va perdiendo humedad en días soleados, ocasionando que se abra repentinamente con un estallido que ayuda a la diseminación de semillas alrededor de la planta. Esta característica permite que las semillas puedan alcanzar una distancia de unos dos a tres metros de dispersión.

3.3.9. Trilla y limpieza de grano

La trilla se realizó por el estrujado y friccionado de vainas en un recipiente sobre una lona para evitar las pérdidas de semilla. Posteriormente se hizo la operación del cernido con una malla de 5 mm aproximadamente, a si se obtuvo las semillas con restos finos de las vainas. Luego se procedió al venteo para obtener grano limpio de q'ila q'ila. Cabe hacer notar que las partículas finas son alergénicas a las personas cuando se inhalan en la respiración.

Una vez realizada toda la operación de trilla y venteo, se procedió al registro del peso de semillas por cada unidad experimental para luego obtener los rendimientos por parcela (Fotografía 6).



Fotografía 6. a) Trilla con zarandas y b) Grano limpio de q'ila q'ila

3.3.10. Incorporación como abono verde

La q'ila q'ila presenta una particularidad interesante ya que aun después de que el 80 a 90 % de las vainas maduraron, las plantas permanecían aún verdes, lo que ofrece la alternativa para aprovechar como abono verde. Por lo que una vez realizado la cosecha de vainas se procedió a la incorporación de plantas de q'ila q'ila al suelo como abono verde y luego extraer muestras de suelo después de 90 días para ver el contenido de materia orgánica en el suelo.

Para la fácil incorporación se realizó el corte o picado de las plantas con una desbrozadora, luego fueron incorporados por el tractor (arado de 3 discos) a finales de abril del 2015 (Fotografía 7).



Fotografía 7. Corte de la q'ila q'ila e incorporación al suelo con tractor

3.3.11. Muestreo de suelos

El método empleado para el muestreo de suelos fue en zigzag, tomando muestras a nivel de la raíz de las plantas de q'ila q'ila, luego se las cuarteó y se tamizaron en malla nº 100 (0.15 mm), obteniendo la cantidad de 1 kg por cada muestra y conservando las mismas en bolsas de plástico ziploc con su respectiva identificación.

El muestreo de suelo se realizó en tres oportunidades, antes de establecer el ensayo, etapas de la floración, envainado, y después de la incorporación como abono verde (Fotografía 8).



Fotografía 8. Toma de muestra del suelo a nivel de la raíces de la q'ila q'ila

Los análisis de suelos se efectuaron en el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), los resultados obtenidos sirvieron para la interpretación de datos.

3.3.12. Toma de muestra para materia verde y seca

Cuando se llegó encontraba la fase de floración, se procedió a colectar plantas de q'ila q'ila por cada unidad experimental registrando el peso fresco o húmedo, posteriormente las plantas fueron sometidos a secado en un horno secador para obtener el peso seco (Fotografía 9).



Fotografía 9. Recolección de q'ila q'ila para evaluar materia seca

3.4. Procedimiento experimental

La implementación del ensayo, consistió en trazar bloques observando la ligera pendiente del terreno y la homogeneidad de la población de plántulas de q'ila q'ila.

Los tratamientos (carpido, surcado y testigo sin labores) fueron implementados en fecha 10 de octubre 2014 cuando algunas plantas de q'ila q'ila iniciaban el rebrote en el campo en una parcela donde previamente se había cosechado quinua siguiendo la rotación quinua-leguminosa.

Las labranzas de carpido y surcado (Anexo 12) fueron planteadas con el fin de comprobar la mejora de la actividad fijadora de nitrógeno por la planta de q'ila q'ila y de evaluar las respuestas agronómicas (Fotografía 10). Los tratamientos previstos se realizaron en tres oportunidades, la primera fue el 10 de octubre del 2014 (primeras precipitaciones) teniendo cuidado de no enterrar las plantas, la segunda oportunidad se la realizó en 5 de enero del 2015 (comienzo de la floración) y la última para reducir las malezas en fecha 9 de febrero del 2015.

a)

b)



Fotografía 10. Aplicación de tratamientos: a) Surcado y b) Carpido

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental que se empleó fue el de Bloques Completos al Azar, conformando tres tratamientos y cinco bloques (Calzada, 1982 y Ochoa, 2009). Los factores de estudio fueron:

- 1) Surcado
- 2) Carpido
- 3) Testigo

3.5.1. Modelo estadístico

La ecuación lineal aditiva es la siguiente:

$$x_{ik} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_a$$

De donde:

X_{ik} = Efecto del i-esimo remoción de suelo, efecto del k-esimo bloque

μ = Media general del experimento

β_k = Efecto del k-ésimo bloque

α = Efecto del i- esimo tratamiento (tipo de remoción del suelo)

ε_a = Error experimental

3.5.2. Croquis de la parcela experimental

La figura presenta el croquis experimental de la investigación.

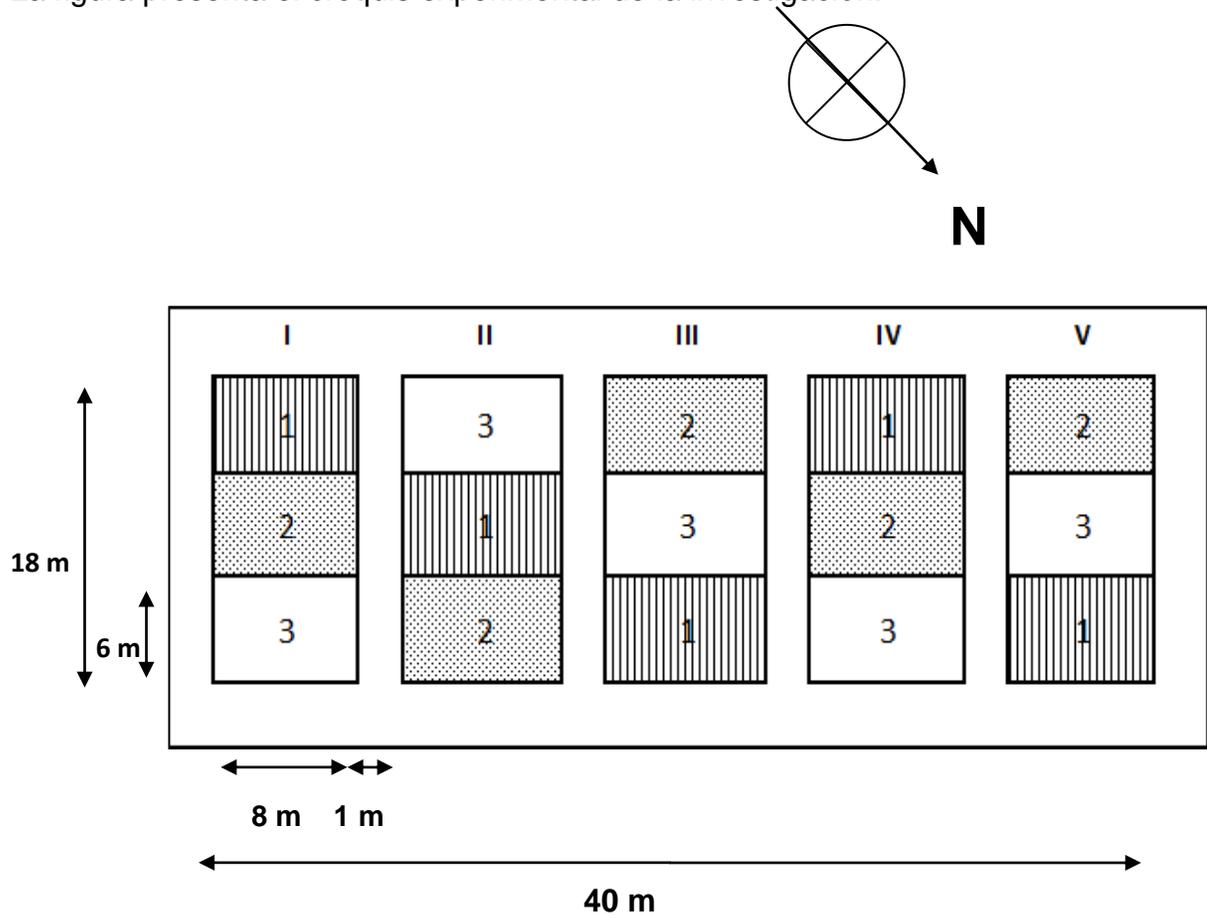


Figura 2. Croquis de la parcela experimental ubicada en K'ipha K'iphani - PROINPA

Tratamientos

1	Surcado	
2	Carpido	
3	Testigo	

3.5.3. Aérea experimental

El área experimental se presentó las siguientes características:

3.5.4. Información meteorológica

Durante el periodo de cultivo de q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) se obtuvieron datos climáticos mediante el portal web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) gestión 2014 - 2015, como ser temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa.

3.6. Variables de respuesta en la parte aérea de la planta

3.6.1. Comportamiento agronómico de la especie

En la parcela de estudio se procedió a evaluar las siguientes variables en la parte aérea; altura de planta, número de ramas por planta, cobertura foliar, número de racimos florales y número de inflorescencias por planta, número de racimos de vainas por planta, longitud de racimo, rendimiento de semilla, peso hectolítrico.

En la parte la raíz; longitud de raíz, diámetro de cuello de planta y número de nódulos por planta. La lecturas se registraron en cinco plantas marbeteadas al azar por cada unidad experimental (Fotografía 11).



Fotografía 11. Parcela experimental y plantas de q'ila q'ila identificadas

3.6.1.1. Altura de planta

La altura de planta fue registrada en cada planta marbeteada de las unidades experimentales y sus repeticiones o bloques, midiendo desde la base o cuello de la planta hasta el ápice del tallo central.

3.6.1.2. Número de ramas basales y ramas secundarias

El número de ramas basales se registró con el conteo de las ramas primarias en las plantas identificadas y obteniendo el valor promedio por unidad experimental. Las lecturas fueron tomadas en la extracción de plantas.

En cuanto a las ramas secundarias se registraron por el conteo manual por cada mes.

3.6.1.3. Cobertura foliar

La cobertura foliar (Fotografía 12) fue registrada con el uso de un flexómetro, midiendo el diámetro (d) que ocupaba el follaje de la q'ila q'ila, para luego ser reemplazados en la fórmula de superficie circular (Fórmula 1).

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (1)$$

(A) Área

(d) Diámetro de follaje



Fotografía 12. Medición de la cobertura foliar

3.6.1.3.1. Días a la aparición y número de racimos florales

La determinación de días a esta fase se procedió mediante el conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de los racimos florales que emergen de los brotes terminales como se lo ve en la fotografía 13.



Fotografía 13. Aparición del racimo floral

3.6.1.4. Floración

3.6.1.4.1. Días al inicio de la floración

Fueron registrados desde la siembra hasta el inicio de la fase fenológica de la floración (Fotografía 14), como también se evaluó el tiempo en que perdura la etapa.



Fotografía 14. Apertura de flores indicando la fase de floración de q'ila q'ila

3.6.1.4.2. Número de inflorescencias por planta

Para el registro de la variable, se procedió al conteo de las inflorescencias presentes en cada planta marbeteada, desde la apertura de flores hasta el envainado como se observa en la fotografía 15.



Fotografía 15. Conteo de inflorescencias

3.6.1.5. Madurez fisiológica

La evaluación de la madurez fisiológica se caracterizó por las variables; días al envainado, longitud del racimo de vainas, número de racimos envainados. Posteriormente el rendimiento de semilla y peso hectolítrico; fue evaluado cuando las vainas se secaron adquiriendo una decoloración amarillenta pardusca,

emitiendo un ruido de sonajeras por dentro al moverlas y apunto de esparcir sus semillas por dehiscencia.

3.6.1.5.1. Días al envainado y conteo de racimos de vainas por planta

Los días transcurridos al envainado se registró a partir de la fecha de siembra hasta la formación de las vainas, consecuentemente se realizó el conteo de los racimos de vainas por planta.

3.6.1.5.2. Longitud de racimo de vainas

La longitud de racimo de vainas se midió desde la base del racimo hasta el ápice del mismo, cuando las plantas se encontraban en fase de de madurez fisiológica (Fotografía 16).



Fotografía 16. Medición de la longitud del racimo de vainas

3.6.1.5.3. Rendimiento de semilla

El rendimiento se evaluó por el peso de las semillas obtenidas por la trilla y limpieza de grano por cada unidad experimental y sus repeticiones.

3.6.1.5.4. Peso hectolítrico

Se procedió al llenado de semillas en una probeta graduada de 10 ml, posteriormente se registró el peso en una balanza analítica tal como se lo ilustra en la fotografía 17, el procedimiento se realizó con 10 muestras aleatorias, luego se

realizó las operaciones de donde se determinó el peso hectolítrico promedio expresadas en kg/100 l mas su desviación estándar.



Fotografía 17. Peso hectolítrico de la semilla de q'ila q'ila

3.7. Variables en la parte radicular

3.7.1. Longitud de raíz

Para obtener el dato de la longitud de la raíz, se extrajeron con mucho cuidado las plantas marbeteadas de cada unidad experimental, para esto se ha procedido a excavar el suelo en el sector donde se encuentra la raíz. Una vez extraída las plantas se midió la longitud de la raíz principal empleando una cinta métrica.

3.7.2. Raíces laterales

En las plantas extraídas desde la raíz, se realizó el conteo de las raíces laterales (secundarias y raicillas) desde el cuello de la planta hasta la parte terminal de la raíz por cada 5 cm de longitud.

3.7.3. Número de nódulos por planta

Primeramente se hizo el conteo general de nódulos en las raíces, posteriormente se hizo el conteo a cada 5 cm de longitud de la raíz primaria, para luego determinar a qué profundidad radica la mayor concentración de nódulos (Fotografía 18).



Fotografía 18. Extracción de raíces de q'ila q'ila para la evaluación

3.7.4. Diámetro del cuello de planta

El diámetro del cuello de la planta se midió con un vernier o nonio de las plantas muestreadas y extraídas desde la raíz.

3.8. Fenología del tarwi silvestre

Las fases fenológicas de la planta *Lupinus sp.* fueron determinadas y adaptadas de acuerdo a las fases establecidas para el tarwi cultivado *Lupinus mutabilis* por los autores Izarra y López, s.f.

3.9. Determinación de la biomasa

3.9.1. Materia seca

Cuando se extrajeron las plantas desde la raíz se procedió a la división en dos partes, parte aérea; hojas, ramas y flores. Y parte de la raíz con sus nódulos.



Fotografía 19. Pesaje del vástago de la q'ila q'ila.

Como se observó en la fotografía 19 el pesaje de la planta de q'ila q'ila (aerea - raíz) se realizó en estado de floración, cuyo dato sirvió para determinar el rendimiento en verde, posteriormente se secaron en un horno secador a temperatura de 60 °C por tiempo de 48 horas, para luego así obtener el peso seco de cada parte y determinar el porcentaje de materia seca por la fórmula 2.

$$\% \text{ Mat. Seca} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Peso Húmedo}} * 100 \% \quad (2)$$

3.9.2. Materia orgánica

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley Black realizado en el Instituto IBTEN – Viacha.

Método Walkley Black

Bajo < 2 %

Medio 2 - 4 %

Alto > 4 %

Luego se procedió al cálculo del porcentaje de carbono total (% C) por medio del Factor de Van Benmelen (Fórmula 3).

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{ C} * 1.724 \quad (3)$$

% M.O. (Porcentaje de materia orgánica)

% C. (Porcentaje de carbono total)

3.9.3. Relación carbono nitrógeno

La relación carbono-nitrógeno (Cuadro 1) determina el proceso de transformación de minerales en sustancias orgánicas sobre los siguientes valores de referencia planteados por Chilon, 1997.

Cuadro 1. Coeficiente Carbono – Nitrógeno (Chilon, 1997)

C/N < 10	Mineralización
C/N 10 -- 17	Suficiente N para microorganismos que descomponen M.O. sin recurrir al N del suelo
C/N 17 -- 33	N es tomado del suelo
C/N > 33	Inmovilización

3.10. Determinación del nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo

Para determinar el nitrógeno N, fósforo P y potasio K que son importantes para la planta se tomaron muestras de suelo al inicio del experimento con el método del zigzag, posteriormente se realizó muestreos para cada tratamiento en toda la parcela experimental durante el crecimiento, floración y post incorporación de q'ila q'ila al suelo en 90 días (época invernal), las muestras se tamizaron con malla nº 100 (0.15 mm) luego se cuartearon para ser envasadas en bolsas plásticas cerradas herméticamente y llevadas al laboratorio IBTEN en donde se las analizó.

Se utilizó el factor de conversión en el elemento de potasio K para adecuar los resultados de riqueza de UV visible expresado en meq por 100 g de suelo a Peach Extractor (Kg de K₂O) presente en las muestras por la fórmula 4.

$$Kg K * 1.2 = \frac{Kg K_2O}{Ha} \quad (4)$$

Posteriormente se evaluaron y se clasificaron por cada método como se observa a continuación.

Cuadro 2. Clasificación de niveles para nitrógeno, fósforo, y potasio según el método descrito por Chilon (1997).

Nivel	Nitrógeno total método (Micro Kjendal)	Fósforo disponible método Olsen	Potasio método Peach Extractor
Bajo	< 0.1 % N	0 - 6 ppm P	0 - 300 Kg K ₂ O
Medio	0.1 – 0.2 % N	7 - 14 ppm P	300 - 600 Kg K ₂ O
Alto	> 0.2 % N	>14 ppm P	> 600 Kg K ₂ O

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Régimen meteorológico de K'ipha K'iphani

4.1.1. Precipitación pluvial

En el periodo de investigación con tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*), la precipitación pluvial comenzó en el mes de agosto del 2014 con 12.5 mm, lo cual favoreció al rebrote de plantas. En la etapa de crecimiento (mes de octubre) la precipitación acumuló 49.2 mm influenciado por la ocurrencia de nevada a los 21 días del mismo mes (Figura 3).

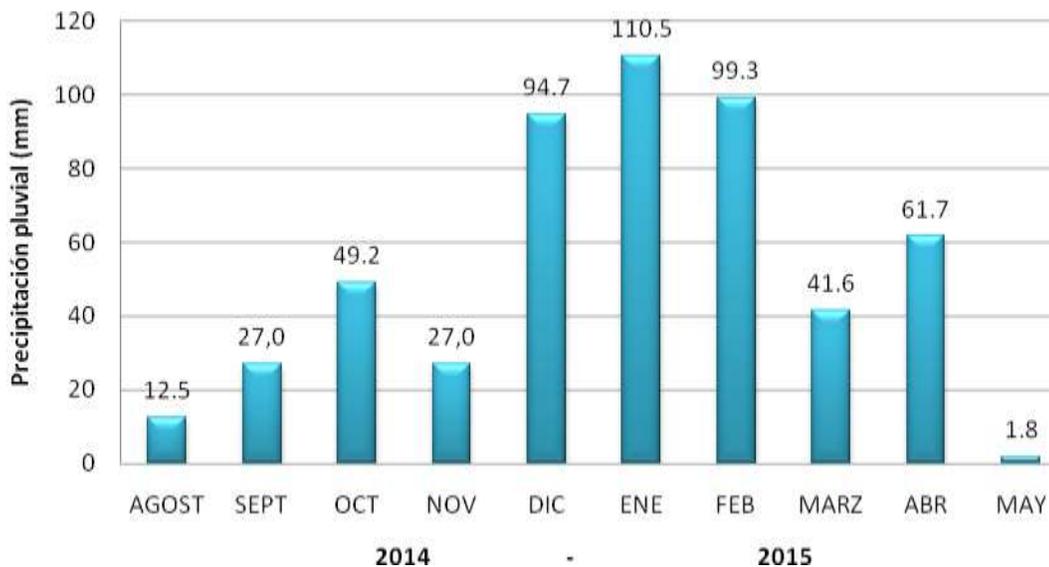


Figura 3. Precipitación pluvial durante el desarrollo de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015).

Los valores registrados de alta precipitación comenzaron en el mes de diciembre del 2014 hasta el mes de febrero del siguiente año donde acumuló 304.5 mm que representa el 58 % de la precipitación anual. Este periodo favoreció notablemente en el desarrollo de las plantas de q'ila q'ila, pero se vio afectada por la ausencia de lluvia en el mes de marzo del 2015. Esta pausa en la precipitación repercutió en la temprana madurez fisiológica e interrumpiendo la floración de las plantas. La

precipitación volvió en el mes de abril motivando a una segunda floración que fue minoritaria.

La precipitación acumulada alcanzó 525.3 mm que va desde el mes de agosto del 2014 hasta el mes de junio del 2015.

4.1.2. Temperatura

En la gestión agrícola 2014 – 2015, en la figura 4 se observa que la temperatura máxima media fue en el mes de noviembre alcanzando 18.8 °C. La temperatura promedio fue de 9.6 °C, temperatura media máxima de 10.8 °C temperatura mínima media con 4.2 °C.



Figura 4. Temperatura máxima, mínima y media, registrados en desarrollo de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015).

En el periodo de investigación la q'ila q'ila soportó temperaturas bajo cero (-7.5 °C promedio en mes de julio), lo que comprueba la tolerancia a heladas en la fase de planta juvenil y crecimiento durante el invierno.

En la época de lluvia, la parcela de q'ila q'ila no tuvo problemas de crecimiento y floración, exceptuando en la madurez fisiológica, las altas temperaturas y la sequía provocó la dehiscencia de vainas y temprana diseminación de semillas.

4.1.3. Humedad relativa

La humedad relativa generalmente es baja en todo el Altiplano, el promedio anual en toda la región es del 55.5 %, si bien varía desde 42 % en la época seca, también puede alcanzar 76 % en época benigna. Durante los meses de ensayo de agosto a noviembre se presentó un valor promedio de 54.2 %, mientras que en la estación de lluvia (diciembre a marzo) alcanzó un valor de hasta 73 %. Según Ribstein y Francou (1995), citado por Quispe (2010), la humedad relativa diariamente tiene un comportamiento inverso a la temperatura, baja al comienzo de la tarde y más elevada en la noche.



Figura 5. Porcentaje de humedad relativa durante el desarrollo del ciclo de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) en el municipio de Viacha – K'ipha K'iphani (SENAMHI, 2014 - 2015)

4.2. Comportamiento agronómico de la especie

Los resultados del comportamiento agronómico de la planta es presentada en los siguientes subtítulos.

4.2.1. Altura de planta

El cuadro 3 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para altura de planta en seis fechas de lectura, observándose la ausencia de significancia entre tratamientos.

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de planta en los meses de estudio

F.V.	G.L.	C.M. (19oct)	C.M. (15nov)	C.M. (14dic)	C.M. (4ene)	C.M. (16ene)	C.M. (17Feb)
Bloque	4	0.43(NS)	1.1(NS)	6.01(**)	35.16(**)	26.2(NS)	28.01(NS)
Tratamiento	2	1.1(NS)	1.78(NS)	0.02(NS)	8.43(NS)	13.84(NS)	29.58(NS)
Error	8	0.52	0.73	1.07	5.92	9.3	17.21
Total	14						
C.V. =		12.08%	8.49%	7.47%	10.30%	10.79%	11.43%

No significativo (NS)

Significativo *

Altamente significativo **

F.V.= Fuentes de variación

C.M.= Cuadrado medio

G.L.= Grados de libertad

S.C.= Suma de cuadrados

F.= F calculado

C.V.= Coeficiente de variación

Los resultados mostraron, que las alturas alcanzadas por las plantas son similares en las diferentes fechas de lectura, desde el 19 de octubre de 2014 hasta el 17 de febrero de 2015 (Cuadro 3).

Sin embargo, los resultados del análisis de varianza (Cuadro 4) se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, lo que significa la existencia del efecto del tipo de laboreo sobre la altura de planta alcanzada en la fase de floración. El coeficiente de variación del 10.46 % muestra la confiabilidad en el manejo de datos.

Cuadro 4. Análisis de varianza para altura de planta en fase de floración (25 febrero 2015)

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	F.	p-valor
Bloque	4	92.2	23.05	1.46	0.29(NS)
Tratamiento	2	130.45	65.23	4.14	0.0582(*)
Error	8	125.91	15.74		
Total	14	348.56			
C.V. =	10.46%				

Las comparaciones de medias por método Duncan establece la formación de dos grupos; el tratamiento de carpido es el que mayor altura de planta obtuvo con la agrupación (A), siendo que este promedio es superior al surcado de la agrupación Duncan (B), el testigo presenta promedios estadísticos compartidos en ambos grupos A y B.

Cuadro 5. Prueba de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) para altura de planta (cm) (25 de febrero 2015)

Tratamiento	Medias (cm)	n	E.E.	
Carpido	41.75	5	1.77	A
Testigo	37.52	5	1.77	A B
Surcado	34.56	5	1.77	B

Los tratamientos de laboreo de suelo influyeron sobre el crecimiento en altura de la planta de q'ila q'ila expresados en la fase de floración, donde el tratamiento de carpido ha alcanzado más altura en relación al tratamiento de surcado. La explicación probable es el tipo de remoción del suelo que influyó en la pérdida de humedad, o bien las raíces laterales han sido afectadas en el tratamiento de surcado.

Las plantas de q'ila q'ila tuvieron un comportamiento diferente al tarwi cultivado, el hábito de crecimiento se manifestó en distintos tipos de portes de acuerdo a su estado fenológico, en especial la etapa de floración (Bonifacio, 2014).

En el presente estudio se observó la variación del hábito de crecimiento, donde unas fueron semi erectas y otras con crecimiento decumbente.

4.2.2. Curva de crecimiento de la q'ila q'ila

El crecimiento de la planta mantuvo incrementos graduales con una curva del tipo sigmoidea. En las primeras etapas las condiciones fueron secas y frías por lo que se registraron incrementos leves en altura de planta, posteriormente, los incrementos fueron más notables ya que las condiciones ambientales fueron húmedas y relativamente cálidas. La figura presenta la curva de crecimiento del lupino durante el tiempo de estudio.

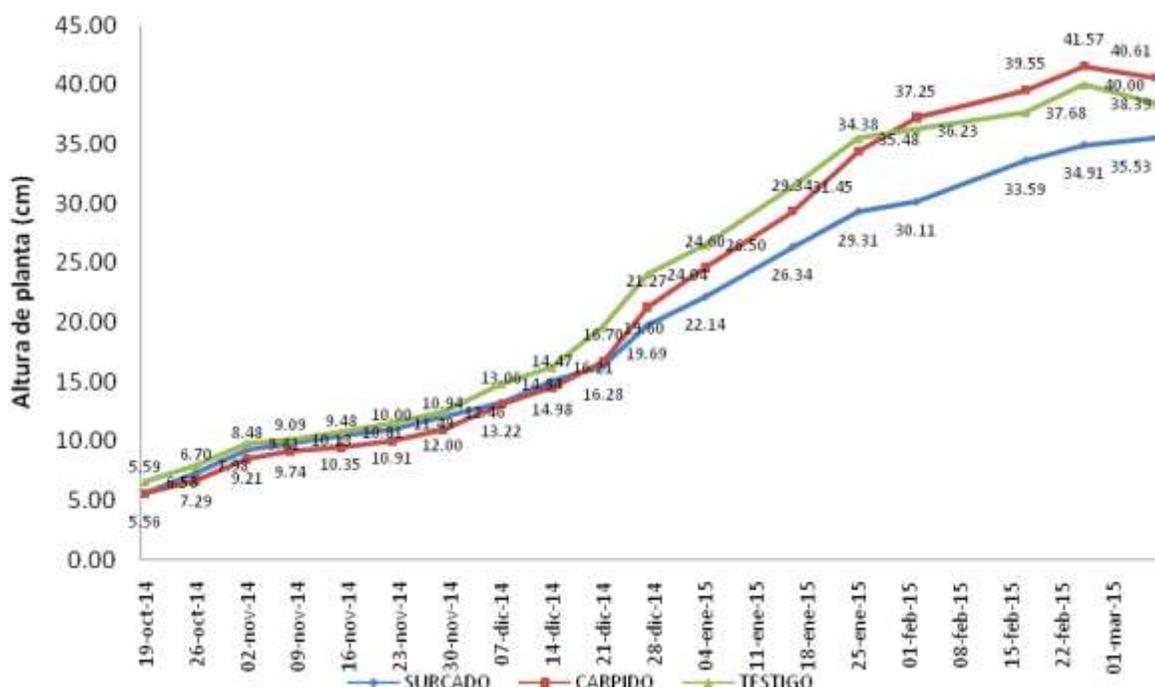


Figura 6. Curva de crecimiento en altura de planta (cm), durante el desarrollo de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*)

La q'ila q'ila en su estado de germinación, la fase cotiledonal y de primeras hojas verdaderas, tuvieron resistencia a las heladas invernales, tomando en cuenta que las semillas fueron sembradas a mediados del mes de marzo del 2014, las plantas juveniles lograron sobrevivir en la estación fría, como también a la ocurrencia de nevada a 21 días del mes de octubre del mismo año.

4.2.3. Ramificación basal

El cuadro 6 presenta los resultados del análisis de varianza para el número de ramas basales o ramas primarias, constatándose la ausencia de diferencias significativas para los tratamientos, lo que indica que la formación de ramas basales es similar en todos los tratamientos y las diferencias observadas son atribuibles a los bloques y no a los tratamientos aplicados.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la ramificación basal

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	F.	p-valor
Bloque	4	147.93	36.98	14.38	0.001(**)
Tratamiento	2	10.56	5.28	2.05	0.19(NS)
Error	8	20.57	2.57		
Total	14	179.07			
C.V. =		13.83%			

La ausencia de significación estadística entre tratamientos, se observó diferencias numéricas entre tratamientos. El tratamiento de carpido formó 12.39 ramas basales, el testigo con 11.95 ramas basales y el tratamiento de surcado con 10.43 ramas basales.

4.2.3.1. Número de ramas secundarias por planta en fase de floración y fase de madurez fisiológica

Los análisis de varianza para número de ramas secundarias, se evidenció diferencias altamente significativas en la fase de floración ($\alpha = 0.01$) y diferencias significativas en la fase de madurez al 5 % de probabilidad.

Los coeficientes de variación para ambas variables fueron 9.79 % y 12.87 % respectivamente, encontrándose en el rango aceptable para trabajos de campo.

Cuadro 7. Análisis de varianza para ramas secundarias en fase de floración y fase de madurez fisiológica

Ramas en fase de floración					Ramas en fase de madurez fisiológica		
F.V	G.L.	S.C.	C.M.	F	S.C.	C.M.	F
Bloque	4	19845.9	4961.4	2.66(NS)	38694.9	9673.7	2.84(NS)
Tratamiento	2	27945.5	13972.7	7.48(**)	28889.4	14444.7	4.25(*)
Error	8	149444.5	1868.1		27219.3	3402.4	
Total	14	62735.9			94803.7		
C.V.		9.79%			12.87%		

En las comparaciones del cuadro 8, el número de ramas respondió al tratamiento de carpido que obtuvo el mejor promedio estadístico en la fase de floración (Duncan A), el tratamiento surcado obtuvo el menor valor en promedios que corresponde al grupo B, mientras que el testigo comparte valores con ambos grupos.

Por otro lado en la fase de madurez fisiológica, el testigo logra alcanzar los promedios estadísticos similares iguales al tratamiento de carpido con una sola agrupación Duncan (A) con 486.5 ramas y 481.97 ramas respectivamente, siendo que estos dos promedios son superiores estadísticamente, este fenómeno de los datos ubica al testigo en primer lugar por el efecto de su ramificación retardada y por la marchites de ramas y hojas de los tratamientos de surcado y carpido con la llegada de su madurez fisiológica, ver detalles en cuadro 8.

Cuadro 8. Prueba de Duncan para número de ramas secundaria por planta

Floración			Madurez fisiológica		
Tratamiento	Medias		Tratamiento	Medias	
Carpido	490.89	A	Testigo	486.5	A
Testigo	447.78	A B	Carpido	481.97	A
Surcado	385.73	B	Surcado	391.22	B

La figura 7 presenta el número de ramas secundarias durante el periodo de evaluación, donde se observa que en los meses de octubre y noviembre, el número de ramas secundarias fueron escasas, pero a partir de diciembre, el número de ramas secundarias se incrementó considerablemente llegando a un máximo en el mes de febrero. Estos incrementos coincide con la época benigna de humedad y temperatura favorables para el cultivo.

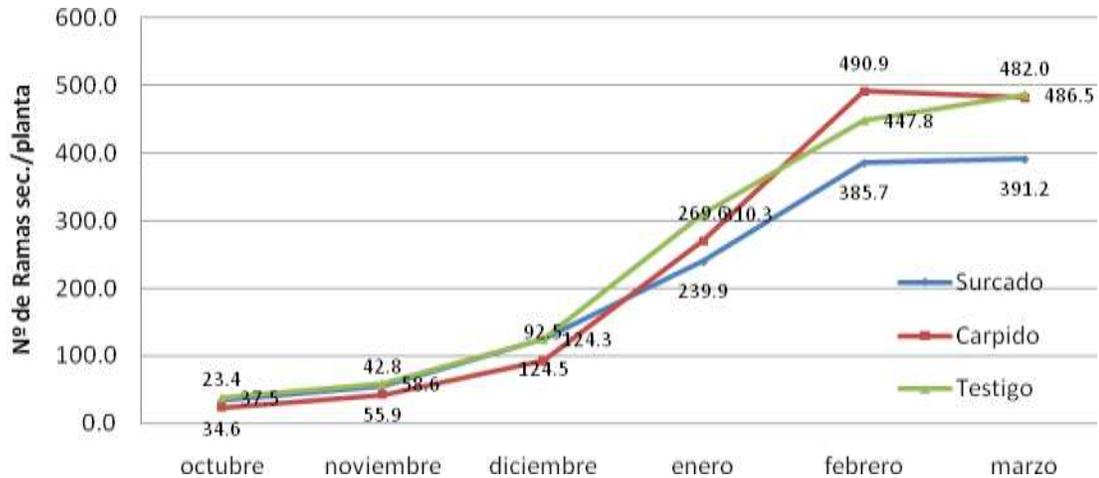


Figura 7. Número de ramas secundarias por planta con tratamientos de surcado, carpido y el testigo

4.2.4. Cobertura foliar

En el cuadro 9 se presentan cuadrados medios de los análisis de varianza para la cobertura foliar, encontrándose diferencias no significativas entre tratamientos, pero las diferencias entre bloques se encuentran entre significativas y altamente significativas, posiblemente por la influencia de la heterogeneidad en el suelo como factor físico respecto a la retención de humedad.

Por otra parte, la simetría irregular en la cobertura foliar de q'ila q'ila, pudo haber dificultado el procesamiento de datos con más precisión ya que en meses lluviosos, el comportamiento de algunas ramas fue del tipo decumbente, ocupando mayor área respecto a otras, a continuación se hace la presentación de cuadrados medios de los análisis de varianza representativos para cada mes.

Cuadro 9. Cuadrados medios de los análisis de varianza de cobertura foliar en seis fechas de lectura

F.V.	G.L.	C.M. (19oct)	C.M. (2nov)	C.M. (14dic)	C.M. (16ene)	C.M. (2feb)	C.M. (25feb)
Bloque	4	1.6 (NS)	8.67(*)	18.05(NS)	175.26(**)	161.57(**)	81.32(NS)
Tratamiento	2	3.3 (NS)	6.53(NS)	2.39(NS)	34.88(NS)	73.03(NS)	54.66(NS)
Error	8	2.11	2.38	9.57	19.31	25.09	62.08
Total	14						
C.V. =		15.59%	10.09%	11.95%	9.86%	9.18%	13.11%

A falta de la significancia en los análisis de varianza para la cobertura foliar, solo se resumió en promedios de los tratamientos, donde la cobertura foliar dio su máxima expresión en la etapa fenológica de la floración (Febrero) tal como se lo ve en el cuadro 10.

Cuadro 10. Promedios del diámetro (cm) para el 17 y 25 Febrero

Tratamiento	N	Medias (cm) (17feb)	Densidad (plantas/m²)	Medias (cm) (25feb)	Densidad (plantas/m²)
Carpido	5	63.25	3.18	63.82	3.12
Surcado	5	55.10	4.19	58.93	3.66
Testigo	5	56.61	3.97	57.52	3.84
PROMEDIO		58.32	3.78	60.09	3.54

Para la fecha 25 de febrero de 2015, la cobertura foliar que ocuparon las plantas con el tratamiento de carpido fue de 3198.9 cm², con el tratamiento de surcado 2727.49 cm² y el testigo con 2598.5 cm².

De esta fecha (25 de febrero) se estimó que en un metro cuadrado se tuvo tres plantas y media de q'ila q'ila (35000 plantas/ha), este dato es útil para la planificación de siembras en terrenos o áreas con algún tipo de erosión, recuperación de praderas u otros fines.

En la figura 8 se observa la expansión de la cobertura foliar mediante el diámetro expresado en cm, desde el rebrote hasta la madurez fisiológica de la q'ila q'ila.

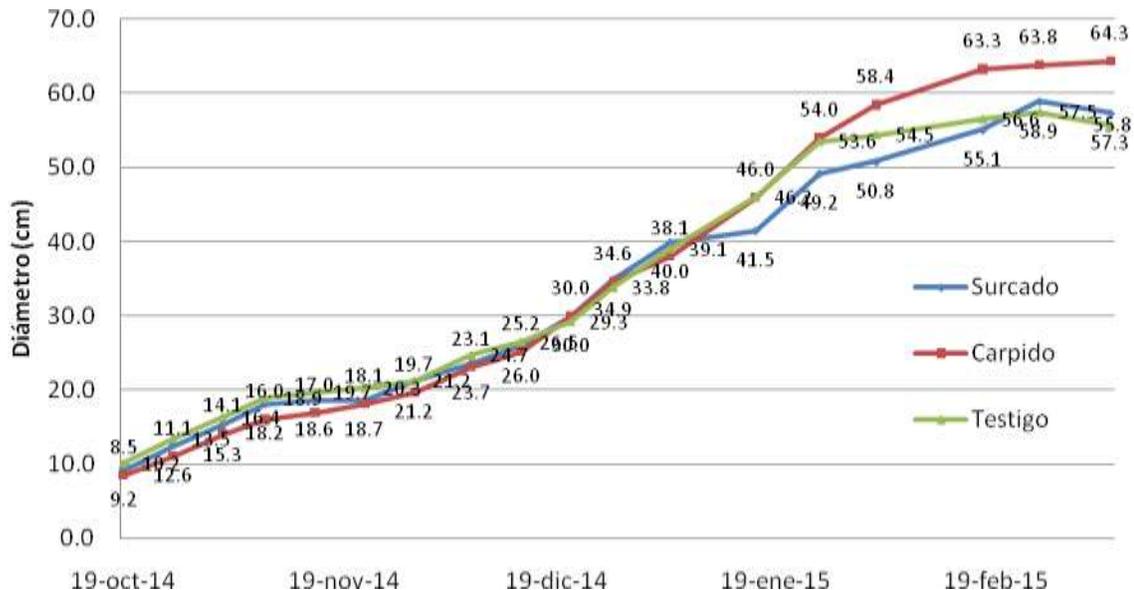


Figura 8. Diámetros de la cobertura foliar en los tratamientos de surcado, carpido y el testigo

Como se pudo observar en la figura 8, los diámetros en un principio fueron lentos y poco distinguibles entre tratamientos sobre todo en los meses fríos y secos, posteriormente los diámetros aumentaron en sentido a los meses característicos del verano y haciéndose notable el crecimiento en cobertura foliar por el tratamiento de carpido sobre el testigo y el tratamiento de surcado.

En la fase de ramificación algunas ramas tienden a ser postradas originando una cobertura irregular del área ocupada por el follaje, ocasionando un obstáculo para su normal reconocimiento e identificación (Bonifacio, 2015).

Los aspectos genéticos y morfológicos influyen en la dirección y posición de ramas respecto al tallo central (Rodríguez, 2000), principalmente en morfotipos sin la clara clasificación. Según Kurlovich (2002), citado por Bonifacio (2015), en los Andes se cuenta con *Lupinus* silvestres de alta variabilidad, además de una débil diferenciación de caracteres.

Los resultados encontrados por Choque (2012) en trabajos de asociación de cultivos del tipo leguminosa y solanácea en proporciones de 30 % y 70 % obtuvo

una mejor ganancia de cobertura foliar por la competencia de luminosidad y por el estímulo de la fijación de nitrógeno como uno de los causantes del crecimiento en la ramificación del tarwi cultivable.

Por otra parte, en praderas nativas de Calacoto del Altiplano Central, en asociación natural de leguminosas con otras especies, se halló la composición de especies leguminosas en 11.5 %, dato que se logró usando los métodos de teledetección e imagen satelital (Echeverria, 2013), en dicho estudio la q'ila q'ila forman una pequeña parte del total de la cobertura mencionada.

4.2.5. Número de racimos florales por planta

La fase de la prefloración es caracterizado por la transición del crecimiento vegetativo a el crecimiento reproductivo, es manifestado por el cambio morfológico producido en el meristemo apical, pasando de la forma aplanada a una forma de domo o cúpula que caracteriza el inicio de la fase reproductiva de una planta Martinez y Salinas, (s.f.) citados por Azcon y Talon, (1993).

El número de racimos florales por planta se sometió al análisis de varianza (Cuadro 11) de donde podemos indicar que los resultados se expresaron mayormente en fechas 4 y 25 de enero del 2015 sin diferencias significativas entre los tratamientos, de estos análisis los coeficientes de variación se mantuvieron entre los rangos de aceptación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el número de racimos florales por planta (4 y 25 de enero 2015)

	4 enero				25 enero		
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	S.C.	C.M.	F
Bloque	4	65.57	16.39	5.16(*)	218.7	54.68	6.25(**)
Tratamiento	2	7.5	3.75	1.18NS	11.6	5.8	0.66NS
Error	8	25.42	3.18		69.96	8.75	
Total	14	98.49			300.27		
C.V.		25.40%				21.83%	

Los racimos florales aparecieron a principios de diciembre de 2014, sin embargo, a medida que fue transcurriendo el tiempo la cantidad de racimos florales aumentó hasta llegar al pico máximo en fecha 25 de enero de 2015 (Figura 9). La estrecha relación por la temperatura promedio (10.3 °C), humedad relativa (65 %) y la alta precipitación (110.5 mm) en el mes de enero, explican que las plantas de q'ila q'ila requieren condiciones meteorológicas favorables para ingresar en la fase reproductiva.

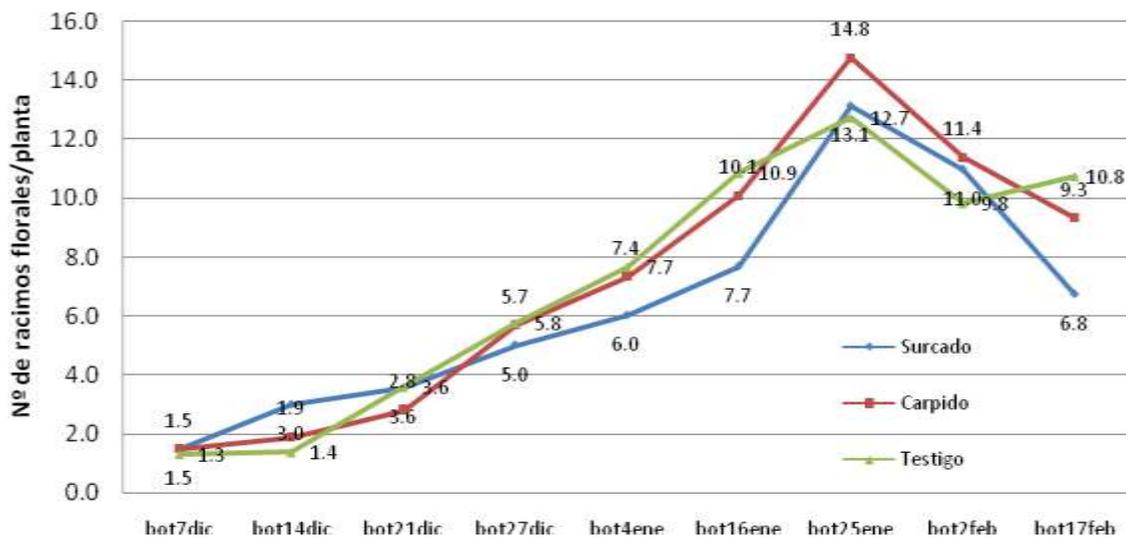


Figura 9. Gráfica del número de racimos florales por planta

Según la gráfica del número de racimos florales, el tratamiento de carpido presentó 14.8 racimos florales/planta (25 de enero 2015) reportando el mejor promedio de entre los tratamientos (13.1 racimos por el surcado y 12.7 del testigo), seguidamente, la cantidad de racimos florales decrece en razón de las apariciones de las flores y formación de vainas.

4.2.5.1. Días a la aparición de racimos florales

Como se observa en la fotografía 20, la aparición de racimos florales se registró a los 267 días (7 de diciembre de 2014) después de la siembra con 1.5 racimos florales/planta. Al ingreso de esta etapa, las plantas continuaron formando racimos florales por un periodo mayor a 52 días. El desarrollo de los racimos florales dieron lugar a las inflorescencias.



Fotografía 20. Racimo floral fotografiado en estereoscopio (acercamiento 10X).

4.2.6. Floración

4.2.6.1. Número de inflorescencias por planta

El análisis de varianza para el número de inflorescencias por planta, reporta que no se presentó diferencias significativas entre tratamientos, en cambio existió diferencias altamente significativas entre bloques (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza para el número de inflorescencias por planta (2 de febrero 2015)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	472.83	118.21	6.57	0.0121(**)
Tratamiento	2	17.93	8.96	0.5	0.63NS
Error	8	143.98	18		
Total	14	634.74			
C.V. =		23.76%			

Los resultados mostraron promedios estadísticos similares entre los laboreos de suelo, siendo que el testigo formó 19.3 inflorescencias/planta y los tratamientos de surcado y carpido con 17.4 y 16.8 inflorescencias/planta respectivamente, es posible que el testigo haya sido favorecido por algún factor del suelo (Bloque) reflejando la diferencia de 1.5 flores del carpido y 1.9 flores por el surcado.

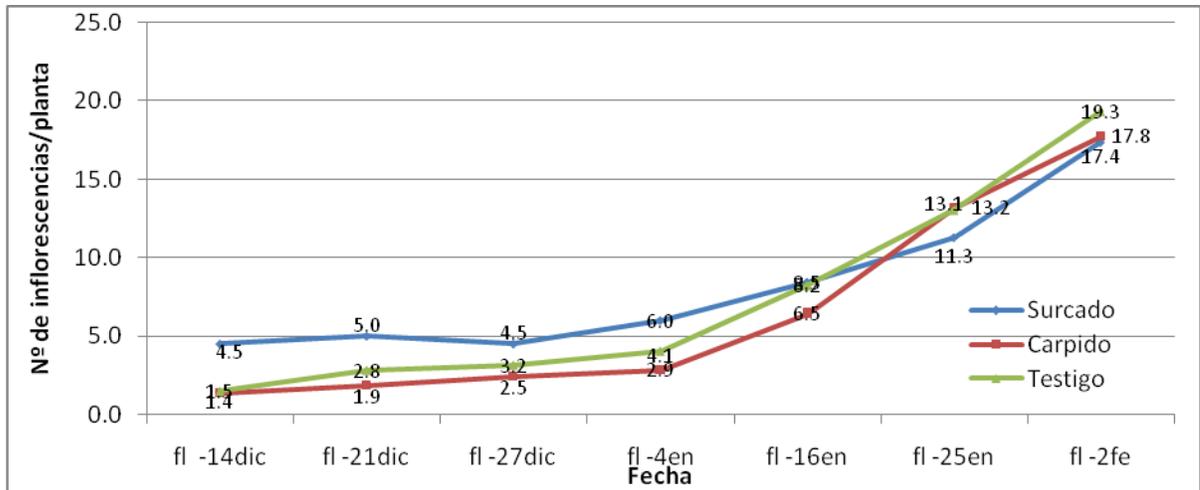
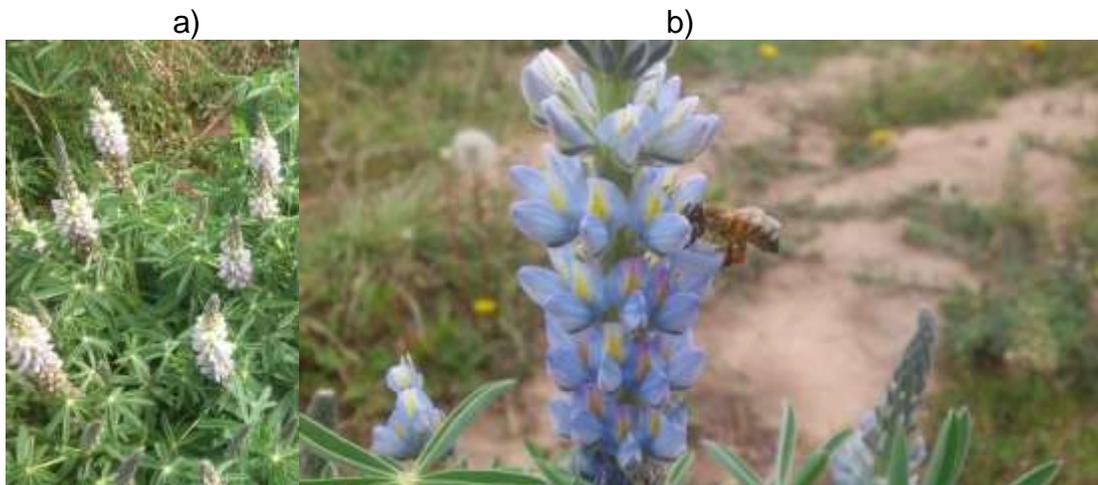


Figura 10. Número de inflorescencias/planta en diferentes fechas de observación.

La etapa de la floración se manifestó mayoritariamente en el mes de febrero con precipitación de 99.3 mm y de temperatura promedio 10.3 ° C, a continuación se presenta la gráfica de la floración en la figura 10.

La importancia de las flores se justifica desde un criterio ecológico Rodríguez (2000), las flores de q'ila q'ila son pequeñas pero en gran número aumentan la visibilidad de colores llamativos y son atractivos de polinizadores garantizando así la polinización. La inflorescencia se apertura desde la base del racimo hacia el ápice en forma consecutiva "acrópeto" (Fotografía 21).



Fotografía 21. a) Floración del tipo acrópeto, b) inflorescencias llamativas a agentes polinizadores

Zrazhevkyi (s.f.) sugiere la incorporación de leguminosas en estado de floración, es el mejor momento donde se puede incorporar al suelo como abono verde para obtener buenos resultados en contenido de materia orgánica, estructura y retención de humedad. Por otro lado se observó la presencia dípteros del tipo melíferas por el polen contenidas en flores de q'ila q'ila (Anexo 13).

4.2.6.2. Días a la floración

Después de la siembra, el inicio de la floración se registró a los 258 días (14 de diciembre de 2014) con un promedio de 2.5 inflorescencias/planta, se encontró que el tratamiento de surcado inició con mayor número de inflorescencias (4.5 inflorescencia/planta) como se lo vio en la figura 10. Sin embargo la mayor fase fenológica de la floración (Anexo 11) se presentó a 324 días (2 de febrero 2015), siendo que la etapa se mantuvo en 58.5 días.

Quenallata (2008), estimó una precocidad de la floración en lupino cultivable a los 115 días (noviembre) desde el momento de la siembra. En comparación la q'ila q'ila fue más tardía como lo reportaron Hernández y León (1992), también presentaron comportamientos muy dependientes de los efectos meteorológicos de la temporada.

4.2.7. Madurez fisiológica

4.2.7.1. Número de racimos de vainas por planta

Los cuadrados medios de los análisis de varianza para el número de racimos de vainas por planta mostraron que, las diferencias observadas no son estadísticamente significativas para los tratamientos. En cambio, las diferencias entre bloques son altamente significativas en valores de tres fechas de lectura, como se lo ve en el cuadro 13.

Cuadro 13. Cuadros medios del análisis de varianza para el número de racimos de vainas por planta

F.V.	G.L.	C.M.(17feb)	C.M.(25feb)	C.M.(7mar)
Bloque	4	92.32(**)	6.57(**)	196.38(**)
Tratamiento	2	9.36(NS)	0.5(NS)	67.79(NS)
Error	8	9.44	16.54	32.35
Total	14			
C.V. =		17.20%	18.04%	22.59%

4.2.7.2. Número de racimos de vainas por planta respecto a fechas de lectura

En la figura 11 se muestra el número de racimos de vainas por planta formadas durante el tiempo de observación, el promedio inicial fue de 1.3 racimos de vainas/planta por el carpido, 2.5 racimos de vainas/planta por el tratamiento de surcado y de 4 racimos de vainas/planta del testigo (27 de diciembre de 2014).

Hasta la fecha del 2 de febrero de 2015 se tuvo un número minoritario de racimos con vainas, pero a medida que el tiempo pasó el número de racimos se incrementaron, llegando a formar hasta los 27.9 racimos de vainas/planta por el testigo, 26.7 y 24 racimos de vainas/planta por los tratamientos carpido y surcado respectivamente como se lo ve en la última fecha de evaluación.

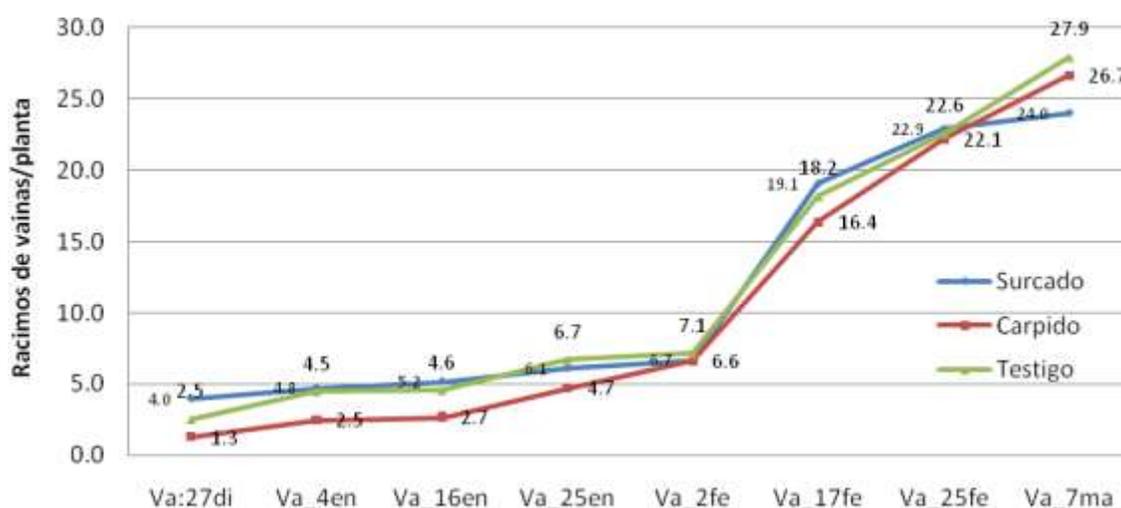


Figura 11. Número de racimos de vainas/planta en distintas fechas de medición.

4.2.7.3. Días al envainado

El envainado empezó a los 287 días después de la siembra, pero el umbral de mayor envainado se presentó a los 358 días (más a un año) donde rápidamente las plantas entran en estado de la madurez fisiológica.

4.2.7.4. Longitud de racimo de vainas

En el cuadro 14 se presenta los resultados del análisis de varianza de la longitud del racimo de vainas, observándose diferencias altamente significativas ($\alpha = 1\%$) para los tratamientos, las diferencias encontradas entre bloques son significativas (5%).

Cuadro 14. Análisis de varianza para la longitud de racimo de vainas (7 marzo)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	43.66	10.91	4.16	0.0412(*)
Tratamiento	2	44.96	22.48	8.56	0.010(**)
Error	8	21.01	2.63		
Total	14	109.62			
C.V. =		8.56%			

Según la prueba de Duncan, los valores promedio de tratamientos fueron agrupados en dos, siendo que los promedios del tratamiento del carpido son significativamente superiores en longitud de racimo con vainas formadas de 21.37 cm en la agrupación (A), mientras que el surcado y el testigo presentaron medias similares de 17.8 y 17.6 cm respectivamente con la segunda agrupación (B). Al parecer la remoción de la carpida del suelo estimuló el crecimiento en longitud de los racimos de vainas (Cuadro 15).

Si bien el número de inflorescencias y de racimos de vainas fue representada por el testigo, en esta variable la longitud de los racimos envainados se manifiesta con mayores promedios por los tratamientos de laboreo de suelo, en especial el tratamiento de carpido que a su vez proporciona mayor cantidad de vainas y de producción de semilla.

Cuadro 15. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para la longitud de racimo de vainas

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
Carpido	21.37	5	0.72	A
Surcado	17.8	5	0.72	B
Testigo	17.6	5	0.72	B

4.2.7.5. Crecimiento de la longitud de los racimos de vainas

En la figura 12 podemos observar claramente los crecimientos en longitud de racimos de vainas. Entre este periodo de evaluación se encontró que el tratamiento de carpido tuvo un crecimiento de 0.21 cm/día en longitud, seguidamente el tratamiento de surcado tuvo un crecimiento de 0.15 cm/día y el testigo a razón de 0.14 cm/día hasta la culminación de la madurez fisiológica. Aparentemente el crecimiento indeterminado del racimo floral fue estimulado por los tratamientos y las temperaturas de la estación de verano.

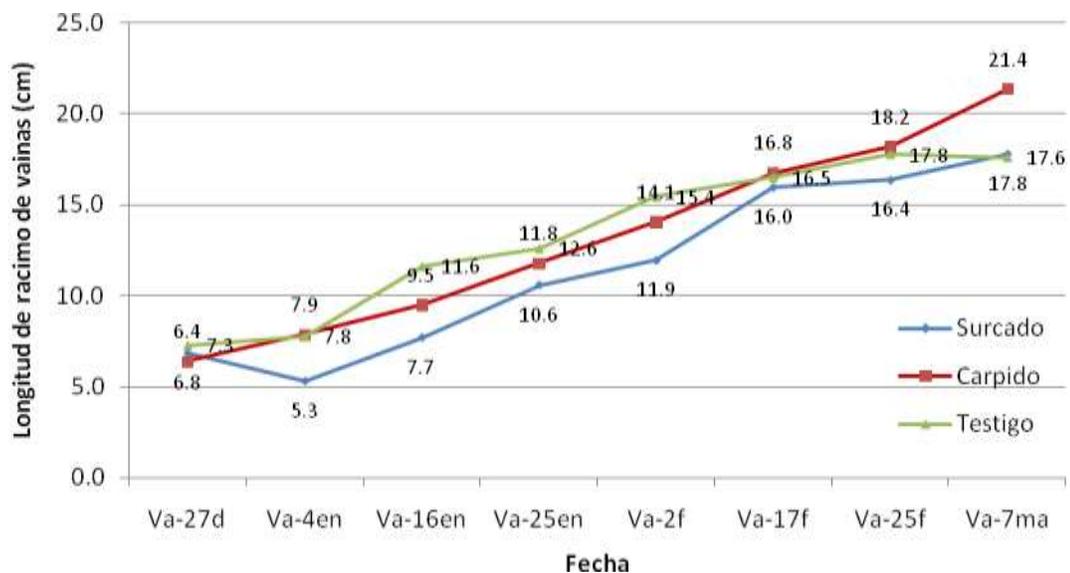


Figura 12. Crecimiento en longitud de racimos de vainas para cada fecha.

4.2.8. Rendimiento de grano

En la variable de rendimiento de grano, no se encontró diferencias estadísticas (Cuadro 16), cabe reseñar que la dehiscencia que presentan las plantas en la maduración haya influido en este resultado, sin embargo las diferencias entre bloques son altamente significativas.

Cuadro 16. Análisis de varianza para rendimiento de grano

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	325.16	81.29	12.81	0.0015(**)
Tratamiento	2	19.37	9.68	1.53	0.27NS
Error	8	50.75	6.34		
Total	14	395.28			
C.V. =	8.92%				

Según los valores promedio, los tratamientos de carpido y surcado presentan los mejores rendimientos (29.08 y 29.01 g de semilla/planta), el testigo fue menor en términos numéricos (26.64 g de semilla/planta). Asumiendo 3.5 plantas/m², se estima el rendimiento de 56.5 qq de semilla/ha en condiciones experimentales.

El tiempo en que se llegó a completar su ciclo fue en el mes de marzo, es justo la época en donde se sembró en la anterior gestión.

Una característica particular de esta especie es su forma de diseminación de semillas muy parecida al de la retama (*Spartium junceum*), las altas temperaturas y la pérdida de humedad de las vainas provocaron la repentina apertura de las mismas por dehiscencia.

Otra característica de la semilla de *Lupinus* silvestre es la dormancia, en condiciones naturales germinan lentamente (de dos a tres años), pero con el escarificado previo en semillas, la q'ila q'ila logró germinar y luego se desarrolló adecuadamente en un año agrícola.

Según FAO (s.f.), a una apropiada humedad, la semilla del tarwi cultivable (*Lupinus mutabilis*) germina y se desarrolla mejor en suelos francos a francos arenosos, requiere además un balance adecuado de nutrientes, no necesita elevados niveles de nitrógeno, pero sí la presencia de fósforo y potasio para su normal crecimiento.

4.2.8.1. Peso hectolítrico

Los resultados de las mediciones para el peso hectolítrico de la semilla de q'ila q'ila se encuentra en el anexo 9 juntamente las operaciones de cálculo correspondiente, de los cuales se determinaron;

- Media:
$$X_i = \frac{81.4 \text{ kg de semilla}}{100 \text{ l}}$$
- Desviación estándar:
$$S = 1.7 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

4.2.9. Resultados de la evaluación de la parte radicular

4.2.9.1. Longitud de raíz

El cuadro 17 presenta el análisis de varianza para la longitud de raíz sin diferencias significativas entre tratamientos como también entre bloques. El resultado pudo ser afectado por mal manejo en la extracción de raíces y la pérdida por rotura de raíces frágiles.

Cuadro 17. Análisis de varianza para profundidad radicular

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	30.62	7.66	3.1	0.082(NS)
Tratamiento	2	5.81	2.9	1.18	0.36(NS)
Error	8	19.74	2.47		
Total	14	56.18			
C.V. =		7.95%			

Se presentaron valores numéricos de la longitud de raíz, los factores de estudio

surcado, carpido y el testigo corresponden a medias estadísticas similares. El tratamiento de carpido obtuvo buenos resultados en el desarrollo vegetativo como también es recíprocamente la mejor longitud de raíz de entre los tratamientos (20.48 cm), seguidamente del surcado (19.8 cm) y el testigo con 18.9 cm, al parecer es probable que el laboreo de suelo proporcionó un estímulo para una mejor longitud de raíz.

El órgano vegetativo subterráneo funciona como el sostén de la planta, se especializa en la absorción del agua conjuntamente sustancias minerales disueltas, que a su vez sintetiza hormonas y alcaloides Rodríguez (2000),

En la figura 13 se observa la longitud de raíz que alcanzó la planta de q'ila q'ila por cada tratamiento de laboreo de suelo.

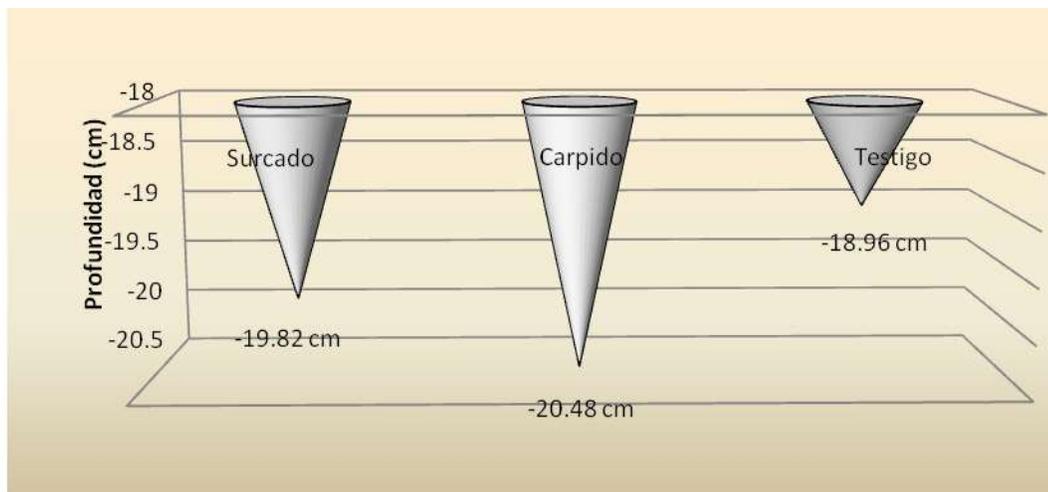


Figura 13. Longitud de la raíz con los tratamientos de surcado, carpido y testigo

4.2.9.2. Raíces laterales

De la raíz típica pivotante que se presentaba se hizo el conteo de las raíces laterales, los resultados obtenidos del análisis de varianza de raíces secundarias y raicillas no se encontraron significancias, los datos aparentemente fueron afectados en mayoría por su fragilidad y por pérdida durante el manipuleo de ellas. El coeficiente de variación se encuentra entre los rangos de aceptación para la interpretación de datos.

Cuadro 18. Análisis de varianza para raíces laterales (secundarias y raicillas)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M	F	p-valor
Bloque	4.00	3.62	0.91	0.05	0.99(NS)
Tratamiento	2.00	14.34	7.17	0.41	0.68(NS)
Error	8.00	141.61	17.70		
Total	14.00	159.57			
C.V. =	15.15 %				

El mejor promedio de raíces laterales (secundarias y raicillas) la obtuvo el testigo con 28.7 raíces laterales, de los tratamientos el surcado con 28.1 raíces laterales y carpido obtuvo un promedio de 26.4 raíces laterales (Anexo 8.)

De acuerdo a la siguiente figura (14) se puede observar las concentraciones de raíces laterales en diferentes longitudes de la raíz primaria, de estos se encontró que a 10 cm se obtuvo mayor actividad de enraizamiento.

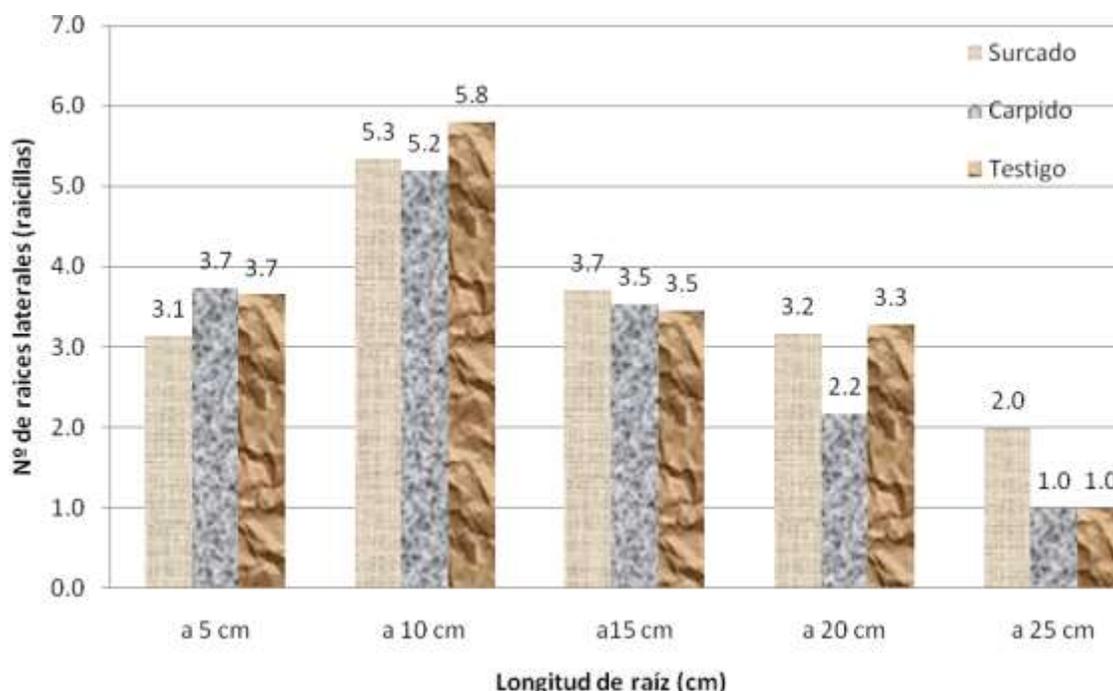


Figura 14. Concentración de raíces laterales a diferentes longitudes de la raíz

4.2.9.3. Número de nódulos por planta

En el análisis de varianza (Cuadro 19), el número de nódulos por planta no presenta significancia para los tratamientos, pero existe el valor altamente significativo al 1 % entre bloques atribuible a la heterogeneidad del suelo.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el número de nódulos por planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	459.21	114.8	6.31	0.014(**)
Tratamiento	2	128.32	64.16	3.53	0.08(NS)
Error	8	145.45	18.18		
Total	14	732.98			
C.V. =	21.01%				

Los datos muestran diferencias numéricas, donde el mayor número de nódulos formados presenta el testigo con 22.52 nódulos/planta, el tratamiento de surcado y carpido con 22.20 y 16.16 nódulos/planta respectivamente.

La evaluación de la concentración de nódulos pudo ser afectada probablemente por la aireación del suelo, ya que las bacterias noduladoras son del tipo anaeróbico y específicos para cada leguminosa (Freire, 1975 citado por Cruz, 1995). Este comportamiento en los datos también puede estar sujeto a la variación por el manejo en la extracción delicada de las raíces.

Sobre la investigación de esta variable; también se realizó un estudio de la concentración de nódulos en la raíz principal que fue a cada 5 cm de longitud.

En la figura 15 se muestran los promedios alcanzados por concentraciones de nódulos de cada 5 cm de longitud de raíz, a su vez se puede interpretar como el abastecimiento de inoculo existente en el suelo para el sustento de la planta.

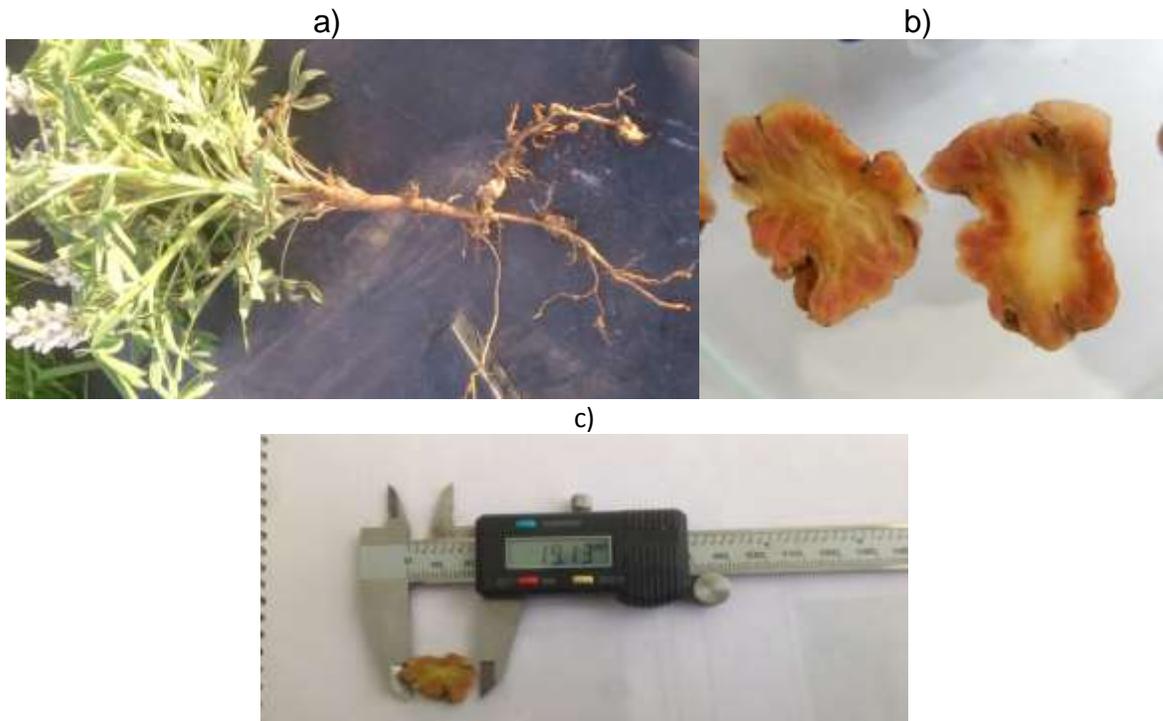
Con el testigo se registró mayor cantidad de nódulos a 20 cm de longitud; sin embargo el tamaño de nódulos fueron pequeños pero mayor en número, en cambio con el tratamiento de surcado se obtuvo más nódulos a 10 cm de longitud de raíz.



Figura 15. Densidad de nódulos a diferentes profundidades

4.2.9.4. Diámetro y pigmentación de nódulos

En la fotografía 22 se puede observar claramente las colonizaciones de bacterias en simbiosis con la planta de q'ila q'ila, especialmente en contacto con la superficie del nódulo y el tamaño al que pueden llegarse a formar.



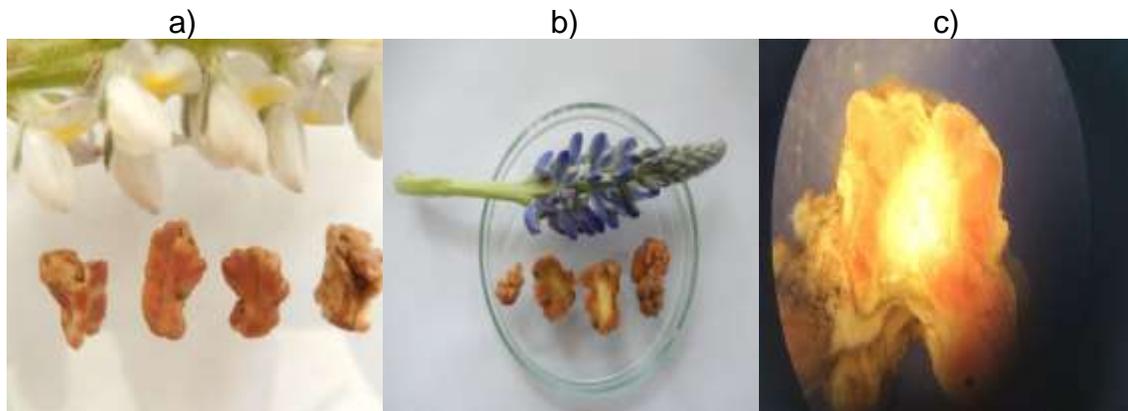
Fotografía 22. a) Distribución de nódulos en las raíces, b) Pigmentación rosada por la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno al interior del nódulo, c) Diámetro de un nódulo grande de q'ila q'ila

El tamaño máximo encontrado entre los nódulos de la planta de q'ila q'ila alcanzó los 25.3 mm de diámetro, pero en la figura 16 se puede observar los promedios de los diámetro alcanzados por los tratamientos.



Figura 16. Promedio de diámetro de nódulos con tratamientos de surcado carpido y testigo

La pigmentación que se presentó al interior del nódulo de la q'ila q'ila es de color rosado en los bordes, clasificándose como nódulo activo por la colonización de bacterias provenientes del suelo (Fotografía 23).



Fotografía 23. Pigmentaciones rosadas en el interior del nódulo de q'ila q'ila en la fase de floración: a) Nódulo de q'ila q'ila en flor blanca, b) Nódulo de q'ila q'ila en flor púrpura y c) Corte transversal del nódulo (acercamiento 10X).

4.2.9.5. Diámetro de cuello de la planta

El análisis de varianza para el cuello de planta, se encontraron diferencias altamente significativas (1 %) entre tratamientos. El coeficiente de variación es de 11.3 % mostrando en buen manejo de datos (Cuadro 20) interpretándose que las

remociones de suelo del tipo de carpido dieron efecto en el engrosamiento del eje central que limita órganos subterráneos con órganos aéreos.

Cuadro 20. Análisis de varianza para el diámetro del cuello de planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloque	4	4.03	1.01	0.25	(NS)
Tratamiento	2	158.42	79.21	19.73	0.0008(**)
Error	8	32.11	4.01		
Total	14	194.56			
C.V. =	11.31%				

Las comparación de Duncan muestra la agrupación del tratamiento del carpido y el testigo como mejores promedios alcanzados (21.1 y 18.73 mm respectivamente) en una sola agrupación Duncan (A), el tratamiento de surcado logró 13.34 mm de diámetro de cuello de planta en una agrupación que difiere con el primer grupo (Cuadro 21).

Cuadro 21. Prueba de medias de Duncan al 5 %, para el diámetro de cuello de planta

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Carpido	21.1	5	0.9	A
Testigo	18.73	5	0.9	A
Surcado	13.34	5	0.9	B

El diámetro de cuello se ve superior en el tratamiento de carpido y el testigo e inferior en el tratamiento de surcado, aparentemente debido a la irregularidad de los diámetros de cuello de planta el tratamiento de surcado es afectado en este estudio, además se observó que el cuello de planta es el punto de donde nace las ramas de tipo decumbente en unas y entras no, lo que hace una difícil interpretación de resultados.

4.3. Fenología de la q'ila q'ila (*Lupinus sp.*)

En el siguiente cuadro, se presentan los días transcurridos a las distintas fases fenológicas de la q'ila q'ila. En el cuadro 22 se describe las fases fenológicas del *Lupinus silvestre*

Cuadro 22. Promedio de días a las fases fenológicas del cultivo de q'ila q'ila

Fenología	Fecha	Días	Días a la siguiente fase
Germinación	18 de marzo	3	3
Fase cotiledonal	25 de marzo	10	7
Primera hoja verdadera	30 de marzo	15	5
Ramificación	7 de julio	114	99
Rebrote	4 de noviembre	234	120
Racimo floral	25 de enero	285	51
Floración	2 de febrero	293	8
Envainado	7 de marzo	326	33
Madurez fisiológica	25 de marzo	375	49

En la fenología se observa claramente el número de promedios a cada fase. La fase de rebrote es el de mayor tiempo de duración registrada debido a la estación seca y fría, se tuvieron que esperar 120 días aproximadamente para un desarrollo vegetativo de mayor rebrote.

Por otra parte las semillas rompieron la dormancia a los 53 días a la siembra y marcando la fase con la aparición de los primeros cotiledones, también los promedios establecieron que las fases de racimo floral en paso a la fase de floración transcurrieron 8 días como promedio.

La fotografía 24 presenta las fases fenológicas ilustradas en imágenes fotografiadas durante la investigación del *Lupinus*.

FENOLOGIA DEL TARWI SILVESTRE Q'ILA Q'ILA (*Lupinus sp.*)

1. Emergencia	2. Primera hoja Verdadera	3. Ramificación	4. Rebrote
			
5. Racimo floral	6. Floración	7. Envainado	8. Madurez fisiológica
			

Fotografía 24. Fenología del tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*).

(Fotografías tomadas durante el proceso de investigación)

En donde;

1. **Emergencia.**- Emergen los cotiledones desplegados sobre el suelo.
2. **Primera hoja verdadera.**- Crecen las primeras hojas verdaderas.
3. **Ramificación.**- Crecimiento de las ramificaciones primarias.
4. **Rebrote.**- Crecimiento de ramificaciones secundarias.
5. **Racimo floral.**- Aparición del racimo floral a partir de los brotes terminales transformados en brotes florales.
6. **Floración.**- Apertura de flores en sentido hacia arriba del racimo (acrópeto)
7. **Envainado.**- Formación de vainas después de la fecundación del grano de polen
8. **Madurez fisiológica.**- Las vainas se secan con cambio de color amarillento y ruido de sonajeras por dentro.

4.4. Determinación de la biomasa

4.4.1. Materia verde

Los rendimientos de materia verde son presentados en el cuadro 23, representado por los promedios generales de las plantas completas de los tratamientos.

Cuadro 23. Promedio del rendimiento en verde (g) de plantas de q'ila q'ila en parte aérea y parte de la raíz

	Surcado	Carpido	Testigo
Peso húmedo aéreo(g)	384.56	226.94	223.36
Peso húmedo de la raíz (g)	22.44	11.58	13.13
Total (g) =	407.0	238.52	226.5

Vástago = Parte aérea de la planta

4.4.2. Materia seca

El análisis de varianza (Cuadro 24) para la materia seca (M.S.), no presentó significancia, ya sea para la parte aérea como para la raíz, por el resultado se acepta la hipótesis nula prevista.

Cuadro 24. Análisis de varianza para materia seca (M.S.) de la planta

Parte	Aérea				Raíz		
	GL	SC	CM	F	SC	CM	F
Bloque	4	68.98	17.2	1.39(NS)	185.6	46.41	5.68(NS)
Tratamiento	2	36.66	18.3	1.48(NS)	65.8	32.9	4.03(NS)
Error	6(2)	73.81	12.3		48.9	8.16	
Total	12(2)	179.44			300.3		
C.V.=		19.49 %			16.53%		

En la figura 16 se observa que el tratamiento de surcado tuvo el mejor porcentaje de materia seca en la parte aérea y de raíz con 20.2 %. A su vez el restante 79.8 % es representado como el aporte en humedad en la incorporación del lupino al suelo en la etapa de floración y parte de la fase de madurez fisiológica en que fue aprovechado para la recolección de semilla.

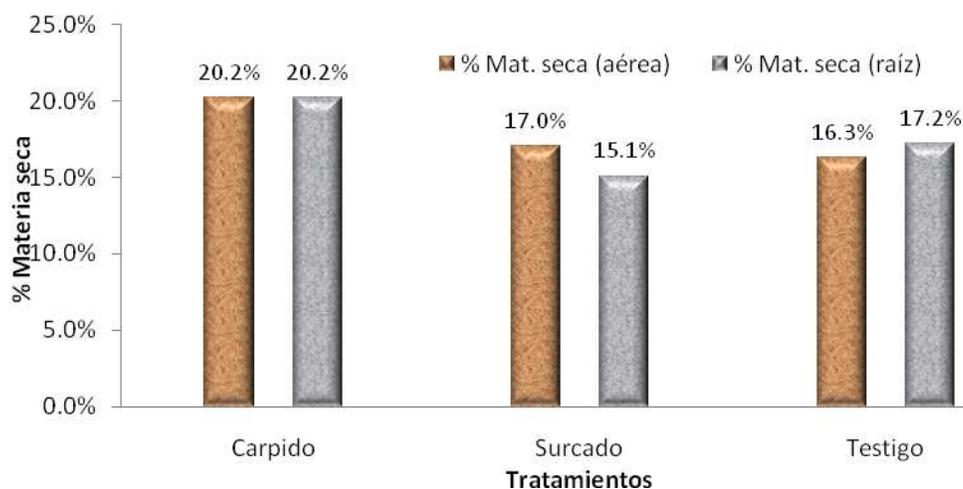


Figura 16. Porcentaje de materia seca para los diferentes tratamientos (surocado, carpido y testigo)

Como se pudo observar en la figura 16, la formación de materia seca de la raíz es casi igual a la formación de materia seca de la parte aérea de la q'ila q'ila. Sin embargo es necesario resaltar nuevamente los valores del cuadro 23 de donde se observa la diferencia de peso en húmedo antes del secado en la mufla de la parte aérea y de raíz.

Observando el resultado de la cobertura foliar promedio, la q'ila q'ila obtuvo 3.5 plantas por metro cuadrado, el valor del peso seco por hectárea que alcanzó fue de 1973.9 kg, equivalentes a las 42.2 qq de materia seca (Cuadro 29).

Cuadro 25. Formación de la biomasa en seco por hectárea

	Peso seco por planta entera (g/pl)	Densidad de siembra (pl/m²)	Peso seco por hectárea (kg/ha)
Surcado	68.7	3.7	2514.4
Carpido	48.9	3.1	1526.3
Testigo	48.99	3.8	1881.1
Promedio =	55.5	3.5	1973.9

El abono verde complementaría en gran parte al estiércol de animales como la de llama. La humedad que contiene las plantas al momento de ser cortadas (79.8 %) es aportada indirectamente al suelo facilitando la descomposición.

Las desventajas del estiércol como abono es principalmente su manejo, por el viento, presenta pérdidas en el traslado como también en la incorporación, la compra y la recolección que implica un costo-tiempo para los pobladores de la región altiplánica y zonas de producción de quinua. La desventaja del abono verde es el tiempo en que tarda en crecer.

4.4.3. Materia orgánica en el suelo

De acuerdo al cuadro 26, el contenido de materia orgánica en el suelo sufrió un incremento de 0.65 % en el lapso de un año.

En un principio la muestra de suelo de la parcela fue tomada en zigzag en la gestión 2014 presentando 1.794 % de materia orgánica y 1.04 % de carbono, posteriormente los resultados de las muestras fueron a los cuatro y cinco meses después de la incorporación de plantas de quila quila por unidad experimental como se lo puede observar en el siguiente cuadro (26).

Cuadro 26. Resultados del laboratorio IBTEN para la materia orgánica (%) en el suelo (método de Walkley Black)

Tratamiento	Julio 2015		Sept. 2015	
	Mat. Orgánica (% M.O.)	Carbono total (% C)	Mat. Orgánica (% M.O.)	Carbono total (% C)
Surcado	1.325	0.769	2.652	1.538
Carpido	1.327	0.770	2.341	1.358
Testigo	1.170	0.679	2.340	1.357
Promedio (%)	1.274	0.739	2.444	1.418

De acuerdo al método Walkley Black se clasifica como contenidos de materia orgánica del suelo de bajo a medio. Este parámetro es fundamental ya que es una fuente de nutrientes por la descomposición de las plantas, es muy posible que este valor pueda incrementarse en el tiempo y en condiciones climáticas favorables para poder descomponerse por completo restos de raíces y las partes muertas como hojas y ramas.

4.5. Determinación de la fijación de nitrógeno y niveles de fósforo y potasio

4.5.1. Contenido de nitrógeno total

En el Cuadro 27 se muestran los resultados del análisis del laboratorio sobre el comportamiento del nitrógeno. Los análisis de las muestras de laboratorio, nos reflejan un incremento de 0.039 % de nitrógeno (N) durante la etapa de investigación.

Cuadro 27. Resultados en laboratorio sobre el Nitrógeno (%) por método Kjendahl

	Ramificación	Rebrote	Floración	Post incorporación	Promedio
Surcado	0.081	0.115	0.127	0.150	0.118
Carpido	0.081	0.116	0.150	0.110	0.114
Testigo	0.081	0.123	0.116	0.100	0.112
Clasificación	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio

El comportamiento inicial fue de 0.081 %, durante el crecimiento y la ramificación se obtuvo un promedio de 0.118 % de nitrógeno fijado. Este valor se incrementó notoriamente en los tratamientos de surcado y carpido en los meses en donde se tuvo mayor presencia de flores con 0.131 % de nitrógeno en el suelo, seguidamente la evaluación mostró 0.12 % de nitrógeno después del envainado.

Para la clasificación de Micro Kjendahl los suelos se estimaron como valores bajos a medios en relación a su fertilidad.

Sin embargo esta fuente de nitrógeno natural es la más usada por los agricultores, sin saber que es gracias a la fijación biológica de nitrógeno que involucra a la biomasa microbiana y el bajo aporte de materia orgánica por plantas del lugar relacionando a las bajas concentraciones de nitrógeno conjuntamente con la materia orgánica (Figura 18).

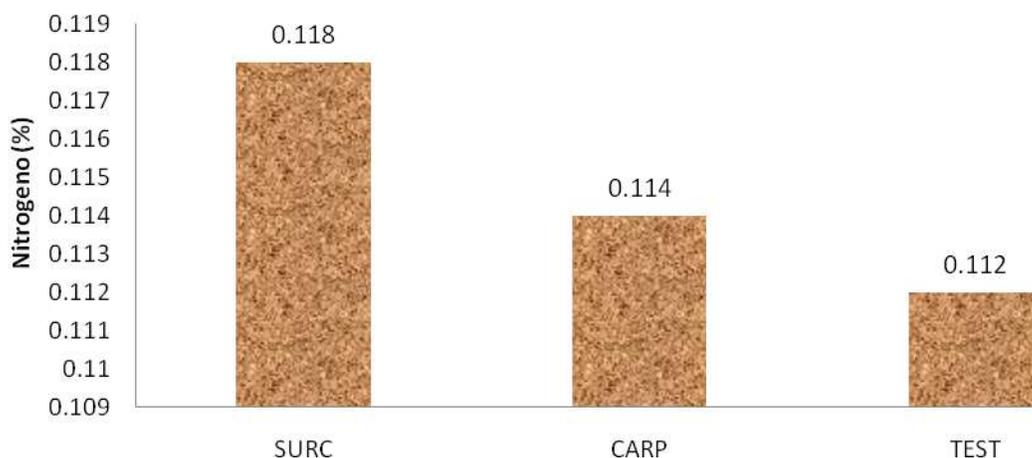


Figura 18. Contenido de nitrógeno fijado con sus tratamientos de surcado, carpido y testigo

Las investigaciones con tarwi (*Lupinus mutabilis*) realizada en la localidad de Patarani – Provincia Aroma llevadas por Caballero (2012), reportó 0.11 % de nitrógeno como también en otras especies altiplánicas como la papa con 0.06 % de nitrógeno y en la quinua con 0.025 % de nitrógeno.

Por otra parte el efecto de leguminosas nativas en terrenos de descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa evaluado por Sivila y Hervé (2006), demostraron niveles de nitrógeno de hasta un 0.064 % en parcelas con leguminosas nativas, frente a parcelas con especies de gramíneas (0.039 % N) en un tiempo de descanso de cinco años de la misma localidad de Patarani (Altiplano Central), concluyendo una mejora sobre los componentes microbianos (micorrizas, bacterias, hongos y actinomicetos) de la fertilidad de un suelo franco arenoso.

El contenido de Nitrógeno en el suelo es relativo a la clase textural, como ejemplo los suelos con presencia mayoritaria de arena son susceptibles a la lixiviación de nutrientes (Chilon, 1995). Además Sivila y Hervé (2006), encontraron que la colonización de leguminosas mejoró la profundidad del suelo a causa de las raíces, producto de la observación en el momento de la roturación con el arado de discos.

El nitrógeno es un elemento vital para las plantas y la recuperación de suelos por la leguminosa q'ila q'ila constituye una alternativa para incrementar los porcentajes de nitrógeno.

4.5.2. Relación carbono nitrógeno

Según los resultados obtenidos por el Factor de Van Benmelen y el de laboratorio, la relación de carbono nitrógeno en la primera muestra durante el experimento se presentó el siguiente resultado:

$$\frac{1.04 \% C}{0.081 \% N} = 12.8 < a 17 \text{ Mineralización}$$

El proceso de la mineralización en un rango de 1 a 8 % son bastante lentos (Chilon, 1995) en el caso de la parcela de q'ila q'ila después de la cosecha de quinua (*Chenopodium quinoa*) se obtuvo el coeficiente 12.8 indicando la mineralización de nutrientes disponibles para la planta.

Los resultados de la relación carbono nitrógeno en la etapa de post incorporación de q'ila q'ila al suelo se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 28. Tabla de la relación carbono-nitrógeno después de cuatro meses de la incorporación de plantas de q'ila q'ila al suelo

	Nitrógeno	Carbono	C / N	Actividad
	(%)	(%)		
Surcado	0.15	0.769	5.13	Mineralización
Carpido	0.11	0.77	7	Mineralización
Testigo	0.1	0.679	6.79	Mineralización
Promedio =	0.12	0.739	6.16	Mineralización

Como se obtuvo valores menores a 17 los coeficientes indican la existencia de actividad de microorganismos aeróbicos, haciendo posible la disponibilidad de nutrientes para las plantas en función al tiempo en que demoren en hacerlos a partir de la descomposición de la q'ila q'ila.

4.5.3. Contenidos de fósforo

En el Cuadro 29 se presentan los resultados de las muestras de suelo respecto al fósforo asimilable en ppm.

Cuadro 29. Resultados de laboratorio del comportamiento sobre el macro elemento del fósforo P (ppm)

	Ramificación	Rebrote	Floración	Post incorporación	Promedio
Surcado	8.14	10.93	9.35	11.10	9.88
Carpido	8.14	8.27	8.39	15.85	10.16
Testigo	8.14	10.92	9.12	11.76	9.98
Clasificación	Medio	Medio	Medio	Medio	

El comportamiento sobre todo en los tratamientos denota una mejora de los niveles de fósforo (estación de primavera – verano).

Los niveles medios de fósforo 12.9 ppm representa a 29.5 kg de P₂O₅ por hectárea que a su vez significa 12.7 kg de fósforo puro, este resultado puede influir en la fijación biológica de nitrógeno por parte de la baja formación de nódulos en leguminosas, es un elemento vital para las proteínas responsables de la formación de órganos, como también es indispensable en la transferencia y acumulación de energía.

Sivila y Hervé (1994), mencionan a Siqueira (1986) y Silveira (1987), donde se descubre el antagonismo entre el fósforo y la simbiosis con micorrizas en suelos con aynokas de 30 años, el contenido de fósforo asimilable proporciona bajas poblaciones de esporas de micorrizas, los niveles de esporas estarían entre 800 a 1000 esporas/100 g de suelo. La figura 19 presenta los promedios de niveles de fósforo por los tratamientos.

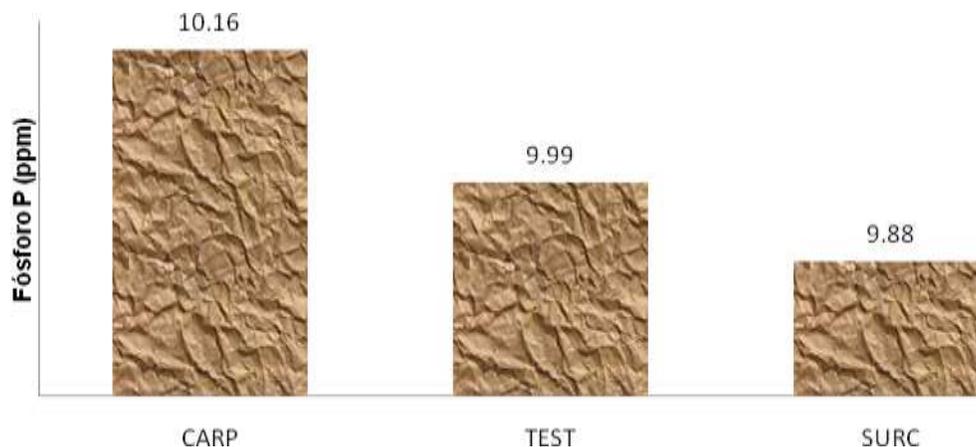


Figura 19. Promedio de contenido de fósforo por los tratamientos

4.5.4. Contenidos de potasio

La fuente más importante de potasio es por la meteorización de la roca madre y principalmente de los restos de materia orgánica, los análisis (Cuadro 30) mostraron niveles que van desde 0.78 meq/100 g de suelo hasta los 1.237 meq/100 g de suelo.

Cuadro 30. Resultados del laboratorio de los niveles de potasio K intercambiable (meq/100 g de suelo)

	Ramificación	Rebrote	Floración	Post incorporación	Promedio
Surcado	0.78	0.92	1.211	0.93	0.96
Carpido	0.78	0.988	1.196	1.06	1.00
Testigo	0.78	0.98	1.237	1.23	1.05

Según los resultados, el promedio de potasio en el estado se floración es de 1.214 meq/100 g significa que se obtuvo 1132.56 kg de K₂O (nivel alto) y de 940 kg de potasio puro por hectárea.

El fósforo (como base intercambiable) y el potasio, dentro de las plantas pueden movilizarse sin dificultad, absorbiéndose rápidamente y ser traslocados a diferentes

partes de la planta, la diferencia, es que estos elementos son más estables por la participación y actividad microbiana en el suelo (Figura 19).

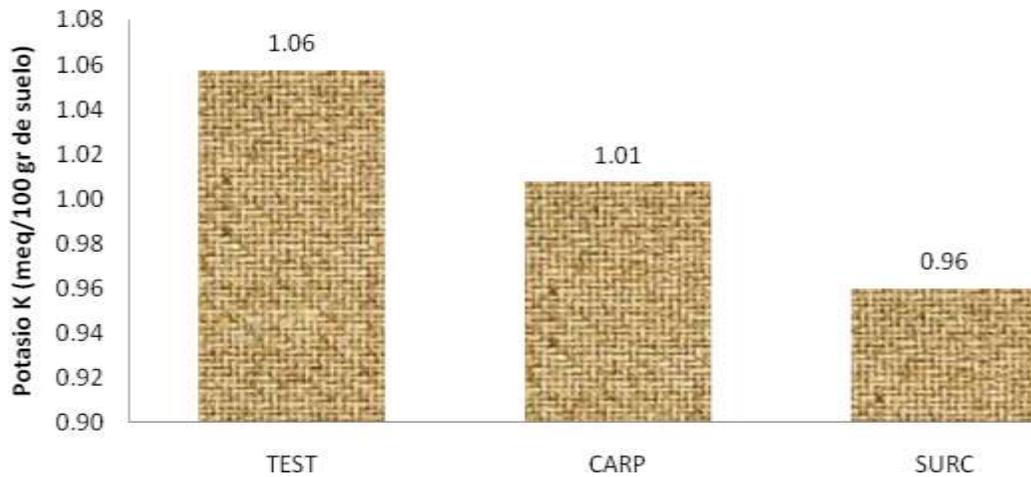


Figura 20. Contenidos de Potasio intercambiable en los tratamientos

4.8. Comparación de escenarios climáticos y de especies fijadoras de nitrógeno

Como se mencionó anteriormente las semillas de q'ila q'ila ecotipo choclito fueron recolectados de la localidad de Peñas de la provincia Los Andes en las cuales se hace una diferenciación de características climáticas con respecto a la estación de K'ipha k'iphani presentadas en el cuadro 31.

Cuadro 31. Comparación de datos climáticos entre el lugar de origen y del experimento

	K'ipha K'iphani (Ingavi)	Peñas (Los Andes)
Ubicación	16°42' L.S. - 68°15' L.W.	16°14' L.S. - 68°30' L.W.
Altitud	3858 m.s.n.m.	3986 m.s.n.m.
Temperatura (°C)	9.6 °C	7.0 °C
Precipitación (mm)	523.5 mm	818.5 mm
Hum. Relativa (%)	55.5 %	63.3 %

Fuente: SENAMHI 2015

Como se pudo observar, el origen de las semillas provenía de lugares más fríos pero a la vez con mayor humedad y una diferencia de 100 m de altitud.

Por otra parte los trabajos realizados por distintos investigadores señalan los porcentajes de fijación de nitrógeno por leguminosas en el escenario altiplánico como se representa en el cuadro 32.

Cuadro 32. Fijación de nitrógeno total en diferentes especies

Especie	Nitrógeno total (%)	kg N/Ha	Fuente
Haba (<i>Vicia faba</i>)	0.11	4290	Cruz, 1995
Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	0.000025	100	Jacobsen y Mujica (2006)
Suelo con 7 años en descanso	0.057	2223	Sivila, 2006
Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	0.17	6630	Caballero, 2012
Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	0.082	3203.1	Choque, 2012
q'ila q'ila (<i>Lupinus sp.</i>)	0.131	5109	Mercado, 2016

Cabe reseñar la falta de más estudios de investigación sobre especies silvestres fijadoras de nitrógeno en el Altiplano boliviano.

5. CONCLUSIONES

El tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) respondió al tratamiento de carpido, obteniendo resultados significativos en variables como ser; altura de planta, número de ramas secundarias, número de racimos florales y diámetro de cuello de planta. Como también mejores promedios numéricos en las variables de; cobertura foliar, floración, número de racimos de vainas por planta, longitud de racimos de vainas, rendimiento de grano y longitud de raíz.

Con el tratamiento de surcado se obtuvo mejores promedios en variables como el número de nódulos (22.2 nodulos/planta) y de materia seca alcanzó un 20.2 %.

Los resultados de laboratorio indican que la fijación de nitrógeno por la leguminosa q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) alcanzó en 0.15 % con la aplicación del tratamiento de surcado, 0.11 % con el tratamiento de carpido y en el testigo 0.1 % después de la incorporación al suelo.

Los valores obtenidos en cobertura foliar promedio mostró un diámetro de 60.09 cm (2835.9 cm²) que representa de 3.5 plantas/m² de densidad, siendo información útil para siembras futuras y manejo del lupino silvestre típica del Altiplano.

Las plantas de q'ila q'ila registraron el crecimiento acorde con la curva sigmoidea, con incrementos leves en la época fría y seca, pero con mayores incrementos en la época lluviosa.

En el número de inflorescencias no se obtuvo diferencias estadísticas ni tampoco en el rendimiento de grano, pero se observó la gran diversidad de insectos benéficos (abejas) atraídos por las vistosas flores que a su vez ayudaron a la polinización cruzada.

6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones a continuación para investigaciones futuras sobre la especie de tarwi silvestre q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) se presenta en consideración:

- La identificación taxonómica y caracterización de especies de *Lupinus* silvestres existentes en la región del Altiplano boliviano, para un mejor estudio y aprovechamiento, a fin de obtener resultados de baja variabilidad.
- Estudios sobre la germinación de semillas de q'ila q'ila y el tratamiento pre germinativo con métodos de escarificado que sean aplicables para las familias productoras.
- Mejorar el estudio de fertilización para los *Lupinus* silvestres, densidades de siembra y de cobertura vegetal como mulch después de la cosecha de otros cultivos.
- Investigar los métodos del trillado y de obtención de semillas de esta especie.
- Investigaciones sobre la incorporación de q'ila q'ila como abono verde.
- El estudio sobre plagas que se hospedan en plantas de q'ila q'ila para el uso como plantas trampa o de control en zonas de producción.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALCON, M.; RAMOS, P. y BONIFACIO, A. s.f. Las leguminosas nativas en la zona de producción de quinua. Disponible en www.proinpa.org

_____, M.; BONIFACIO, A.; RAMOS, P. y CHAMBI, L. 2013. El rol multipropósito de las leguminosas en el sistema de producción de quinua. En: Congreso Científico de la Quinua (Memorias), La Paz, Bolivia. Mario Vargas (Ed.). 682 p.

AYUZAWA, M., 2014. Fenología. Sin descripción. Disponible en www.prezi.com

AZCON, BIETO. J., y TALON, M., 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Mc Graw Hill – Interamericana de España. Primera Edición. Pg 345.

BARRANTES, M., s.f. Plagas de tarwi silvestre "q'ila q'ila" (*Lupinus sp.*). Informe técnico Fundación PROINPA. pp. 1 - 4.

BAUTISTA, H., y VALDÉS, M., (2008). Frankia y la simbiosis actinorriza. Revista latinoamericana de microbiología. Vol. 50, Nos. 3 y 4. Pp. 90 – 102. Disponible en <http://www.biblioweb.tic.unam.mx>.

BONIFACIO, A., 2015. Barbecho tradicional y resiliencia de los suelos arenosos. Disponible en: www.Agriculturesnetwork.htm

_____, ALARCON, M., RAMOS, P., ARONI, G., VILLCA, M., y CHAMBI, L., 2013. La diversidad genética de lupino silvestre (*Lupinus sp.*) en el Altiplano: Tras la huellas de la domesticación. PROINPA. La Paz, Bolivia. pp. 1 - 12.

_____, ARONI, G., VILLCA, M. ALCON, M., RAMOS, P., CHAMBI, L., 2014. Los arbustos nativos y las perspectivas de su contribución a la sostenibilidad de la producción de quinua. Revista de Agricultura. Número especial dedicado a la fundación PROINPA en el marco de trabajo con *Chepodium quinua* en Bolivia. pp. 73 - 83.

_____, ARONI, G., VILLCA, M., RAMOS, P., ALCON, M., GANDARILLAS, A., 2015. El rol actual de las q'ila q'ila (*Lupinus spp.*) en sistemas de producción sostenible de quinua. Revista de Agricultura. Número especial dedicado a la fundación PROINPA en el marco de trabajo con *Chepodium quinoa* en Bolivia. pp. 11 - 18.

CABALLERO, M., A., 2012. Comportamiento de Nitrógeno y Biomasa microbiana en suelos con diferente manejo, en la localidad de Villa Patarani (Altiplano Central). Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 136p.

CALZADA, J., B., 1982. Métodos Estadísticos para la Investigación. Cuarta Edición, Editorial Juridica. Lima, Perú. 645p.

CAMPILLO, R., 2001. Estimación de la Fijación Biológica de Nitrógeno en Leguminosas Forrajeras Mediante la Metodología del ^{15}N . Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Temuco, Chile. Disponible en: www.scielo.cl

CARHUAVILCA, M., 2015. Carreteras en la Amazonia un fuerte costo ambiental y social. La Revista Agraria - Los suelos en el Perú N°170 Ed. Especial. Publicación del Centro Peruano de Estudios Sociales (CEPES). 11 p.

CENTA – Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Consultado 25 mar 2014. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/sidia/inicio.html>

CHILON, C., EDUARDO, 1995. Manual de Edafología. Proyecto Unir-Universidad Mayor de San Andrés. 194 p.

_____, 1997. Manual de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. Practicas de Campo, Invernadero y Laboratorio. Centro de investigación y Difusión de Alternativas Tecnológicas para el Desarrollo (C.I.D.A.T.). Facultad de Agronomía – Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 99 p.

CHOQUE, D., 2012. Evaluación del cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes asociaciones con Tarwi (*Lupinus mutabilis*), en la comunidad de Patarani

- Patacamaya. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 105 p.

CRUZ, A., 1995. Efecto de la fertilización química y densidades de siembra sobre la nodulación en dos variedades de haba (*Vicia faba*). Tesis de Grado en Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. 104 p.

ECHEVERRIA, W., 2013. Usos de la teledetección y Sistemas de Información geográfica en la zonificación e identificación de praderas nativas e introducidas para su evaluación. Estudio de caso municipio de Calacoto, Provincia Pacajes, Departamento de La Paz. Trabajo dirigido. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz Bolivia. 141 p.

EDUMEC., s.f. Huertas y labores culturales. Disponible en: <http://www.edu.mec.gub.uy>

ENRIQUEZ, M., 2004. El potencial del “tarwi”. CIPCA. Consultado 14 abril 2014. Disponible en: <http://cipca.org.bo> 118 p.

FAO, s.f. Tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*). Consultado 05 mayo 2014. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/cap03>

FAO - FERTISUELOS, 1999. Los abonos verdes Ministerio de Agricultura, ganadería y en desarrollo rural GCPD/BOL/018 net Bolivia. 7 p.

FELIX, D. y VILLCA, C. 2009. Quinoa y Territorio – Experiencias de acompañamiento a la gestión del territorio y a la autogestión comunal en la zona Intersalar del Altiplano boliviano. Plural editores. La Paz – Bolivia.

GIRALDO, G. s.f.. Abonos verdes. CIAT – Centro Internacional de Agricultura Tropical.

GUERRA, R., 2012. Acumulación de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en asociación con tarwi (*Lupinus mutabilis*) en la comunidad de

Patarani – Provincia Aroma. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 140p.

GROSS, R., 1982. El cultivo y la utilización del Tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet). Producción y protección vegetal. Nº 36. Estudio FAO - Roma.

HERNÁNDEZ, J.E., y LEÓN, J., 1992. Cultivos Marginados otra perspectiva de 1942. Programa Etnobotánica, Jardín Botánico de España Andalucía 139 p.

HUGHES C., y EASTWOOD, R. 2006. Island radiation on a continental scale: Exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. PNAS 103(27): 10334-10339.

<http://www.es.thefreedictionary.com/surcada>, consultado en abril 2015.

INE, 2016. Mapa de municipios, Viacha primera sección Provincia Ingavi. Disponible en: www.ine.gob.bo.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS, IICA., INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGIA AGRICOLA, IBTA., (1979). Manual de Agricultura Andina. Informes de conferencias y reuniones nº189. 40 p.

JALDIN, R., 2010. Producción de Quinoa en Oruro y Potosí. Estados de Investigación temática. Fundación PIEB - La Paz, Bolivia. pp. 44, 45.

KALAM, A., 2003. Ecología para Carreras Agronómicas y Afines. S. Ed. La Paz, Bolivia. pp. 62, 95.

KOBOYASHI, K., OKADA, M., MIURA, S., LIEFFERING, M., KIM, H., 1999. Growth and nitrogen uptake of CO₂-enriched rice field conditions. New Phytologist, Wiley online library. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2001.00111.x/full>. Consultado en mayo 2015.

LIDEMA y PIEB, 2010. Estado Ambiental de Bolivia 2010. LIDEMA, La Paz, Bolivia. Disponible en www.pieb.com.bo

LÓPEZ, J., y BORONAT, R., 2016. Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de las bacterias. Estudio en laboratorio en educación secundaria. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Pp. 203 – 209. Disponible en <http://hdl.hadle.net/10498/18024>

MENESES, R., WAIJENBER, H., y PIEROLA, L., 1996. Las leguminosas en la agricultura boliviana, Proyecto Rhizobiología Bolivia. Cochabamba, Bolivia.

MUJICA, A., y JACOBSEN, S., 2006. Botánica Económica de los Andes Centrales. El Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. Ed. Morales R. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. pp 458, 559, 460.

MONTES DE OCA, I., 1995. Geografía y recursos naturales de Bolivia, 3º Ed. La Paz, Bolivia. 360 p.

OCHOA, R. 2009. Diseños Experimentales. La Paz – Bolivia.

OLIVARES, P., J., 2008. Fijación biológica de nitrógeno. Estación experimental del Zaidin, CSIC Granada. Disponible en <http://www.2eez.csic.es>. Consultado en 2015

ORSAG, V., 2009. Degradación de suelos en el Altiplano boliviano. Causas y medidas de mitigación. Análisis – IBEPA. Vol. 1, Nº 3. pp. 27 – 30.

_____, CASTRO, E., LEON, M., PACOSACA, O. y MAMANI, F., 2011. Evaluación de la fertilidad de los suelos en la zona intersalar – Producción sostenible de quinua. Programa de Investigación Estratégica en Bolivia - PIEB. La Paz – Bolivia. 256 p.

_____, OROZ, R., JARANDILLA, V., 2006. Características edáficas de los cauchiales en el Altiplano Central de Bolivia y algunas consideraciones para su manejo sostenible. Revista “Ciencia y Tecnología Agropecuaria”. Vol. 1, Nº 1, Revista de la Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 18 p.

PASCUALI, J., OCHOA, R., QUINO, E., s.f. Manual de Fertilidad de los Suelos. Apuntes y Ejercicios.

PEÑARANDA, O., 2007. Cultivo asociado de Quinoa con Haba y Tarwi. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. p 154.

PROINPA, 2014. Revista de Agricultura. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, "Martín Cárdenas" UMSS. Centro de Investigaciones en forrajes "la Violeta" (CIF-UMSS). Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA). N° 54. pp. 11 – 18, 74, 75.

QUENALLATA, J., 2008. Evaluación de variables agronómicas de cinco ecotipos de Tarwi (*Lupinus mutabilis* swett.) en dos comunidades del municipio de Ancoraimes. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 101p.

QUISPE, L. 2010. Comportamiento agronómico de cinco variedades de festuca alta (*Festuca arundinaceae*), bajo condiciones de fertilización nitrógeno en el Instituto Benson Letanías, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 106 p.

RODRIGUEZ, J., 2000. Plantas herbáceas semileñosas y leñosas - Usos y beneficios. 1ra. Edición, Proyecto Unir. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 7p.

RODRIGUEZ, M. 2000. Morfología y Anatomía Vegetal. Tercera Edición. Imprenta Colorgraf. Cochabamba Bolivia. Pp. 333, 345.

SENAMHI, 2015. Unidad de pronóstico, Sismet. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/> consultado en mayo 2015.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN. SEGARPA., s.f. Abonos Verdes. Sub secretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Texcoco, México. Pp. 1 - 8.

SIVILA, C., y HERVÉ, D., 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de una restauración de la fertilidad. Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. Instituto de Ecología UMSA, IBTA - ORSTOM. La Paz, Bolivia. 197 p.

_____, 2006. Efecto de las leguminosas nativas en terrenos en descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa (Altiplano central boliviano). *Ecología en Bolivia*, Vol. 41 (3). pp. 154 - 166.

SMIL, V., 2000. Cycle of life. Scientific American Library. Enciclopedia libre. Disponible en www.wikipedia.html

TAPIA, G. 1997. La quinua un cultivo de los andes altos. Academia nacional de ciencias de Bolivia. Ed. Talleres- Esc. Artes graficas "Don Bosco" La Paz, Bolivia 20-21 p.

TAPIA, M., 2003. De la Chaquitajilla a la Biotecnología. Historia, situación actual de los cultivos andinos. Congreso de Cultivos Andinos. Cochabamba, Bolivia. pp. 3, 6.

TAPIA, M. y FRIES, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima – Perú. 222 p.

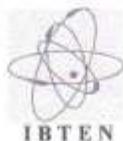
VALLE, M., 2013. Evaluación de dos técnicas de colección de semen en llamas (*Lama glama*) en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 162 p.

YZARRA, W.J., Y LOPEZ F.M., s.a. Manual de observaciones fenológicas. SENAMHI, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú. 98 p.

ZRAZHEVSKYI, D., s.f. Planta tarwi. Santa Cruz, Bolivia. p 1, 2. Disponible en: www.bolivianland.net. Consultado en abril 2015.

ANEXOS

Anexo 1. Clase textural del suelo de la parcela experimental.



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMIA*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia INGAVI,
KIPHA KIPHANI (PROINPA)

NO SOLICITUD: *172B/2015*
FECHA DE RECEPCIÓN : *29/ Julio/ 2015*
FECHA DE ENTREGA : *31/ Agosto/ 2015*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método	
719-01 /2015	T E X T U R A	ARENA	26	%	Hidrómetro de Bouyoucos
719-02 /2015		ARCILLA	37	%	Hidrómetro de Bouyoucos
719-03 /2015		LIMO	37	%	Hidrómetro de Bouyoucos
719-04 /2015		CLASE TEXTURAL	FY	-	Hidrómetro de Bouyoucos
719-05 /2015		GRAVA	0,0	%	Gravimetría
719-06 /2015	CARBONATOS LIBRES	P	-	Reacción ácida	
828-01 /2015	pH en agua 1:5	6,71	-	Potenciometría	
828-02 /2015	Conductividad eléctrica en agua, 1:5	0,141	dSm	Conductancia	

OBSERVACIONES,- CARBONATOS LIBRES, A: Ausente, P: Presente, PP: Presente en gran cantidad

CLASE TEXTURAL

F : Franco Y : Arcilloso FA : Franco Arenoso. YL : Arcilloso Limoso
L : Limoso YA : Arcilloso Arenoso AF : Arenoso Franco FYL : Franco Arcilloso Limoso
A : Arenoso FYA : Franco Arcilloso Arenoso FY : Franco Arcilloso FL : Franco limoso



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 2. Porcentajes de materia orgánica del suelo al inicio de la emergencia y al final después de tres meses de la incorporación al suelo



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

*2 INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL*

ANALISIS QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMIA*
 PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia INGAVI,
KIPHA KIPHANI (PROINPA)

Nº SOLICITUD: *172 / 2015*
 FECHA DE RECEPCION : *29 / Julio / 2015*
 FECHA DE ENTREGA : *31 / Agosto / 2015*

Nº Lab.	CODIGO	Materia orgánica	Unidad	Metodología
718 /2015	3 - 9 - 14	1,794	%	Walkley Black
720 /2015	M 15 - 7 - TEST	1,170	%	Walkley Black
721 /2015	M 15 - 7 - CARP	1,327	%	Walkley Black
722 /2015	M 15 - 7 - SUR	1,325	%	Walkley Black

OBSERVACIONES,-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA

Anexo 3. Porcentaje final de materia orgánica después de cinco meses después de la incorporación



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSE MERCADO CHUQUIMIA*
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*
Provincia: INGAVI,
KIPHA KIPHANI - VLACHA

NO SOLICITUD: *217A / 2015*
FECHA DE RECEPCION : *05 / Octubre / 2015*
FECHA DE ENTREGA : *29 / Octubre / 2015*

PROINPA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : CODIGO 30 - 9 - 15 - SUR*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
828-01 /2015	Materia Orgánica	2,652	%	Walkley Black

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : CODIGO 30 - 9 - 15 - CARP*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
827-01 /2015	Materia Orgánica	2,341	%	Walkley Black

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : CODIGO 30 - 9 - 15 - TEST*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
826-03 /2015	Materia Orgánica	2,34	%	Walkley Black

OBSERVACIONES,-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 4. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio al inicio del proceso experimental



ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON MERCADO CHUQUIMIA*
 PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia: INGAVI
KIPHA KIPHANI - VIACHA

NO SOLICITUD: *190A / 2014*
 FECHA DE RECEPCION : *4 / Septiembre / 2014*
 FECHA DE ENTREGA : *30 / Septiembre / 2014*
 N° Factura : *7879 / 14*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Código: M1 - T - 7*

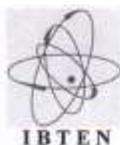
N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
530-01 /2014	Potasio intercambiable	0,78	meq/100 g	Emisión atómica
530-02 /2014	Nitrógeno total	0,081	%	Kjeldahl
530-03 /2014	Fósforo asimilable	8,14	ppm	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES,- ** Potasio intercambiable extraído con acetato de amonio 1N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO
 JORGE CHUNGARA C.

Anexo 5. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio en la etapa de rebrote



MINISTERIO DE EDUCACION

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON MERCADO CHUQUIMIA*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia: INGAVI
KIPHA KIPHANI - VIACHA

NO SOLICITUD: *190B / 2014*
FECHA DE RECEPCION : *4 / Septiembre / 2014*
FECHA DE ENTREGA : *30 / Septiembre / 2014*
Nº Factura : *7879 / 14*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Código: M 2 - T - 8*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
532-01 /2014	Potasio intercambiable	0,92	meq/100 g	Emisión atómica
532-02 /2014	Nitrógeno total	0,115	%	Kjeldahl
532-03 /2014	Fósforo asimilable	10,93	ppm	Espectrofotometría UV-Visible

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Código: M 2 - A - 8*

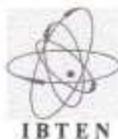
Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
531-01 /2014	Potasio intercambiable	0,96	meq/100 g	Emisión atómica
531-02 /2014	Nitrógeno total	0,123	%	Kjeldahl
531-03 /2014	Fósforo asimilable	10,92	ppm	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES,- ** Potasio intercambiable extraído con acetato de amonio 1N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 6. Análisis de nitrógeno, fósforo y potasio en la etapa de floración



MINISTERIO DE EDUCACION

9 INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSE MERCADO CHUQUIMIA* NO SOLICITUD: *036B / 2015*
 PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,* FECHA DE RECEPCION : *05 / Febrero / 2015*
Provincia INGAVI, FECHA DE ENTREGA : *13 / Marzo / 2015*
Comunidad : KIPHA KIPHANI
Lugar . FUNDACION PROINPA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : M 15 - 2 Sure*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
120-01 /2015	Potasio intercambiable	1,211	meq/100 g	Emisión atómica
120-02 /2015	Fósforo asimilable	9,351	ppm P	Espectrofotometría UV-Visible
120-03 /2015	Nitrógeno total	0,127	%	Kjeldahl

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : M 15 - 2 Carp*

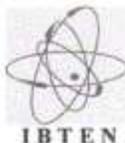
N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
121-01 /2015	Potasio intercambiable	1,196	meq/100 g	Emisión atómica
121-02 /2015	Fósforo asimilable	8,391	ppm P	Espectrofotometría UV-Visible
121-03 /2015	Nitrógeno total	0,150	%	Kjeldahl

OBSERVACIONES,-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Continuación anexo 6



MINISTERIO DE EDUCACION

II INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSE MERCADO CHUQUIMIA*

NO SOLICITUD: *0364 / 2015*

PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*

FECHA DE RECEPCION : *05 / Febrero / 2015*

Provincia INGAVI,

FECHA DE ENTREGA : *13 / Marzo / 2015*

Comunidad : KIPHA KIPHANI

Lugar . FUNDACION PROINPA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : M15 - 2 Test*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
119-01 /2015	Potasio intercambiable	1,237	meq/100 g	Emisión atómica
119-02 /2015	Fósforo asimilable	9,119	ppm P	Espectrofotometría UV-Visible
119-03 /2015	Nitrógeno total	0,116	%	Kjeldahl

OBSERVACIONES,-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 7. Análisis de nitrógeno fósforo y potasio después de la incorporación



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMLA* NO SOLICITUD: *133C / 2015*
 PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,* FECHA DE RECEPCIÓN : *11 / Junio / 2015*
Provincia INGAVI, FECHA DE ENTREGA : *17 / Julio / 2015*
Comunidad KIPHA KIPHANI - VIACHA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : M 15 - 4 - Surc*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
520-01 /2015	Potasio intercambiable	0,93	meq/100 g	Absorción atómica
520-02 /2015	Fósforo asimilable	11,10	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
520-03 /2015	Nitrógeno total	0,15	%	Kjeldahl

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : M 15 - 4 - Carp*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
518-01 /2015	Potasio intercambiable	1,06	meq/100 g	Absorción atómica
518-02 /2015	Fósforo asimilable	15,85	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
518-03 /2015	Nitrógeno total	0,11	%	Kjeldahl

OBSERVACIONES.- ** Potasio intercambiable extraído con acetato de amonio 1N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

IV INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *WILSON JOSÉ MERCADO CHUQUIMIA*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia INGAVI,
Comunidad KIPHA KIPHANI - VIACHA

NO SOLICITUD: *133B / 2015*
FECHA DE RECEPCIÓN : *11 / Junio / 2015*
FECHA DE ENTREGA : *17 / Julio / 2015*

PROINPA

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO: M15 - 4 - Test*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
519-01 /2015	Potasio intercambiable	1,23	meq/100 g	Absorción atómica
519-02 /2015	Fósforo asimilable	11,76	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
519-03 /2015	Nitrógeno total	0,10	%	Kjeldahl

OBSERVACIONES,- ** Potasio intercambiable extraído con acetato de amonio 1N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 8. Promedio de raíces laterales (secundarias y raicillas)

	Nº Raíces secundarias		Nº Raicillas
Testigo	11.6	Testigo	16.5
Surcado	11.4	Carpido	15.0
Carpido	12.13	Surcado	16.6
Promedio	11.71		12.47

Anexo 9. Resultados de pesos de semilla contenidas en 10 ml en laboratorio

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masa semilla (g)	8.21	7.93	8.145	8.24	8.235	8.295	7.935	7.835	8.28	8.3

Operaciones para la obtención del peso hectolítrico:

Nº	Xi	(Xi-X)²
1	8.21	0.0049
2	7.93	0.0441
3	8.145	2.5E-05
4	8.24	0.01
5	8.235	0.009025
6	8.295	0.024025
7	7.935	0.042025
8	7.835	0.093025
9	8.28	0.0196
10	8.3	0.0256
$\sum =$	81.405	2.72×10^{-1}

Media: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{n} = \frac{81.405}{10} = 8.1405 \text{ g}$ Es decir;

$$\bar{x} = \frac{81.4 \text{ kg de semilla}}{100 \text{ l}}$$

Varianza: $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{2.72 \times 10^{-1}}{10-1} = 0.03 \text{ g}^2$

Desviación estándar: $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.03} = 0.173 \text{ g}$ o bien; $1.7 \times 10^{-4} \text{ kg}$

Anexo 10. Fotografías tomadas al inicio de experimento



Parcela experimental con tarwi silvestre q'ila (*Lupinus sp.*) en la estación de invierno, después de la cosecha de quinua.



Parcela experimental a comienzos de la época de lluvias

Anexo 11. Fotografías de q'ila q'ila en estado de floración y estado de nodulación



Parcela experimental de q'ila q'ila (*Lupinus sp.*) en estado de floración.



Planta de q'ila q'ila marbeteada



Corte de nódulos de q'ila q'ila y su estado fenológico en la que se encuentra



Muestra de suelo debidamente etiquetada para el análisis de laboratorio IBTEN

Anexo 12. Tratamientos empleados en la parcela experimental



Anexo 13. Flor de q'ila q'ila atrayente de insectos benéficos por el polen en sus anteras



Flor de la q'ila q'ila acercamiento 10 X



Presencia de dípteros benéficos

Anexo 14. Vista panorámica de la estación de K'ipha K'iphani en época de verano



Estación de K'ipha K'iphani – FUNDACIÓN PROINPA