



Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano

Mario Vargas
Abigail Sandy



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

REPRESENTACIÓN DEL IICA EN BOLIVIA

Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano

Mario Vargas

Abigail Sandy



**Resultados,
nuestro
compromiso**

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017



Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons

Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO)

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Creado a partir de la obra en www.iica.int.

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: Santiago Vélez

Corrección de estilo: Santiago Vélez y Mario Vargas

Diagramación: GrafikaLeal

Diseño de portada: Mario Vargas y GrafikaLeal

Impresión: GrafikaLeal

Vargas, Mario

Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; Mario Vargas y Abigail Sandy. – Bolivia : IICA, 2017.

50 p.; 14 cm x 21,5 cm

ISBN: 978-92-9248-692-1

1. Manejo del suelo 2. Degradación de tierras 3. Zona árida
4. Características morfológicas suelo 5. Fertilidad del suelo 6.
Accidentes atmosféricos 7. Chenopodium quinoa 8. Adopción
de innovaciones 9. Bolivia (Estado Plurinacional de) I. IICA II.
Abigail Sandy II. Título

AGRIS
P30

DEWEY
641.484

La Paz, Bolivia
2017

Contenido

Presentación.....	5
1. Introducción	7
2. Características físicas de los suelos del Intersalar	9
2.1 Textura	9
2.2 Estructura.....	10
2.3 Horizontes del suelo	11
2.4 Densidad aparente.....	13
2.5 Profundidad efectiva	13
2.6 Humedad	13
3. Características químicas de los suelos del Intersalar.....	15
3.1 Capacidad de Intercambio Catiónico	15
3.2 Potencial de Hidrógeno.....	16
3.3 Conductividad Eléctrica	17
3.4 Materia orgánica	17
3.5 Nutrientes.....	18
3.5.1 Nitrógeno.....	18
3.5.2 Fósforo.....	19
3.5.3 Potasio.....	20
4. Factores relacionados con la fertilidad y el manejo de suelos	21
4.1 Clima.....	21
4.2 Temperatura	21
4.3 Precipitación pluvial	22
4.4 Vientos	23
5. Riesgos climáticos	25
5.1 Sequía	25
5.2 Heladas	25
6. Factores que inciden en la fertilidad del suelo	29
6.1 Erosión	29

6.2 Drenaje del suelo	30
6.3 Compactación del suelo.....	30
7. Prácticas de manejo de suelos	31
7.1 Abonamiento	31
7.2 Rotación de mantos.....	32
7.3 Descanso de parcelas	33
7.4 Implementación de barreras	33
7.4.1 Barreras vivas	34
7.4.2 Barreras muertas.....	34
8. Caracterización del sistema productivo de la quinua	35
8.1 Laboreo del suelo	35
8.2 Barbechado.....	35
8.3 Siembra.....	36
8.4 Labores culturales.....	36
8.5 Cosecha y poscosecha	37
8.6 Utilización de residuos de cultivo	38
9. Conclusiones	41
10. Bibliografía	43
11. Anexos	45
ANEXO 1: Descripción de horizontes y capas del suelo	45

Presentación

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) mediante su Proyecto Insignia “Productividad y sustentabilidad de la agricultura familiar para la seguridad alimentaria y la economía rural”, componente 2, sistematiza saberes locales en agricultura. En este proceso, conjuntamente con actores públicos y privados del sector agrícola y rural boliviano, se identificó la necesidad de contar con un documento que fortalezca el conocimiento existente sobre el recurso suelo, dado que muchos de los saberes locales identificados están relacionados con el manejo y conservación del mismo.

El conocimiento sobre la situación de los suelos que se describe en el documento es un referente de este recurso estratégico en el Intersalar, ante la necesidad expresada de contar con información que ayude a comprender los retos existentes ante la creciente demanda en los mercados externos por la Quinua Real, lo que ha generado que su producción se extienda significativamente haciendo que tierras con vegetación natural, que eran utilizadas para el pastoreo de Llamas, se conviertan en parcelas destinadas a la producción intensiva de este valioso grano Andino.

En algunos casos, el incremento de estas superficies se realiza sin considerar aspectos técnicos claves para el manejo y conservación de los suelos. Por ejemplo: la quema de la vegetación natural para habilitar tierras agrícolas; el excesivo uso de maquinaria agrícola, muchas veces de forma inadecuada; la siembra del cultivo de forma consecutiva por varios años, en la misma parcela y sin periodos de descanso. Estos factores, ocasionan problemas como la baja fertilidad de los suelos, la reducción de la vegetación nativa y la erosión eólica, cuyo efecto se refleja con bajos niveles de productividad.

El presente documento “Tecnologías de Manejo de Suelos Agrícolas en la Región del Intersalar del Altiplano Boliviano” busca: a) caracterizar las tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del

Intersalar en el Altiplano boliviano y b) sistematizar las experiencias sobre recuperación, manejo y conservación de suelos.

Este trabajo pretende apoyar en identificar algunas prácticas de manejo ante la necesidad de contar con información técnica sobre la situación de los suelos de la región del Intersalar, zonas con la mayor producción de quinua en Bolivia, y a partir de ellos formular estrategias tecnológicas, combinadas con saberes locales y promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

En el documento se incorpora resultados de los estudios realizados en la región por parte de instituciones reconocidas que ya identificaron la necesidad de contar con información técnica estratégica. A partir de una intensa revisión bibliográfica y trabajo de campo, se identifican los conocimientos generados, las principales variables consideradas en las investigaciones, además de las instituciones que lo desarrollaron. Se enfatiza en la fertilidad y tecnologías de manejo de suelos del Intersalar, desde el punto de vista de propiedades físicas se abordó la textura, estructura, horizontes del suelo, densidad aparente, profundidad efectiva y humedad del suelo, y con respecto a las propiedades químicas se describe la capacidad de intercambio catiónico, pH, nutrientes, conductividad eléctrica y la materia orgánica.

Esperamos que esta publicación, dirigida a profesionales de Ministerios de Agricultura, Medio Ambiente, Planificación y Desarrollo Económico, Alcaldes municipales, INIAF, Servicios departamentales Agropecuarios, académicos de universidades públicas y privadas, agricultores y estudiantes universitarios, sea de utilidad y pueda aportar en el valioso trabajo que desarrollan día a día.

Santiago Vélez León
Representante del IICA en Bolivia

1. Introducción

La región del Intersalar boliviano está ubicada al Sur-Oeste del Altiplano, entre los salares de Coipasa y Uyuni, es compartida por los departamentos de Oruro y Potosí, respectivamente, y al oeste delimita con la frontera chilena. Esta región es árida y se caracteriza por sus condiciones climáticas extremas, presenta entre 160 a 257 días de helada por año, las lluvias ocurren entre los meses de noviembre a marzo con precipitaciones anuales que van de 70 a 150 mm. Actualmente en esta región el principal problema es la sobre explotación del recurso suelo, pero también existen problemas causados por el cambio climático como la acentuación de sequías, heladas y los vientos. Estos aspectos afectan significativamente a la producción agropecuaria.

La principal actividad que tenían los campesinos de esta región era la crianza de camélidos (especialmente Llamas) y el cultivo de quinua, este último que estaba restringido en las laderas contiguas a los salares de Uyuni y Coipasa. Por las características particulares de grano grande, la quinua producida en esta región se denomina "Quinua Real". Estas actividades productivas guardan relación con las características climáticas mencionadas, situación que condiciona el potencial productivo y sus prácticas agrícolas que están vinculadas a optimizar la capacidad de retención de agua en los suelos, igualmente la fecha de siembra se realiza entre septiembre y octubre, periodo en el que los suelos presentan mejor humedad para la germinación de las semillas.

Debido a la creciente demanda en los mercados externos por la Quinua Real, su producción se extendió significativamente y esto hace que las tierras con vegetación natural, que eran utilizadas para el pastoreo de Llamas, se conviertan en parcelas destinadas a la producción intensiva de quinua, produciendo además granos más pequeños del que puede ser considerado como "Real". El incremen-

to de estas superficies se realiza sin considerar aspectos técnicos, por ejemplo: la quema de la vegetación natural para habilitar tierras agrícolas; el excesivo uso de maquinaria agrícola, muchas veces de forma inadecuada; la siembra del cultivo de forma consecutiva por varios años, en la misma parcela sin respetar un periodo de descanso. Estos factores, están ocasionando problemas como la baja fertilidad de los suelos, la reducción de la vegetación nativa y la erosión eólica, cuyo efecto se refleja con bajos niveles de productividad.

Considerando los aspectos mencionados, el presente documento busca: a) caracterizar las tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del Intersalar en el Altiplano boliviano y b) sistematizar las experiencias sobre recuperación, conservación y manejo de suelos. El marco metodológico en el que se sustenta este documento es el análisis sobre el estado de investigación en esta temática. Esta metodología permitió identificar los diferentes estudios realizados en la región y que fueron publicados, a partir de ello se pudo identificar los conocimientos generados, las principales variables consideradas en esas investigaciones, además de las instituciones que lo desarrollaron. Se enfatiza en la fertilidad y tecnologías de manejo de suelos del Intersalar, desde el punto de vista de propiedades físicas se abordó la textura, estructura, horizontes del suelo, densidad aparente, profundidad efectiva y humedad del suelo, y con respecto a las propiedades químicas se describe la capacidad de intercambio catiónico, pH, nutrientes, conductividad eléctrica y la materia orgánica.

2. Características físicas de los suelos del Intersalar

2.1 Textura

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales, su clasificación se refiere a la proporción relativa de la arena, limo y arcilla, a partir de esta proporción se consideran tres grandes grupos de suelos: arenosos, francos, arcillosos e intermedios entre estos tres.

Estas características de la textura también están relacionadas con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, los macro y micro poros donde se alojan el agua y aire, la cantidad de agua que pueden retener, la velocidad de infiltración del agua en el suelo, así como la retención y disponibilidad de nutrientes y oxígeno en el suelo.

Según los datos de la Tabla 1, las clases texturales que predominan en el Intersalar que son la Arena franca y Arena. Los suelos Arena franca (47,15%) contiene proporciones de arcilla entre 3,1 a 10,9%; limo 7,6 a 28,1% y arena de 67,5 a 88,6%, normalmente estos suelos poseen moderados contenidos de materia orgánica y capacidad de retención de humedad y baja capacidad de intercambio catiónico. Por otra parte, los suelos arenosos (43,9%), esta clase textural presentan de 1,4 a 5,1% de arcilla; limo de 1,7 a 11,5% y arena de 85,7 a 96,6%, tienen baja capacidad de retención de humedad, al igual que en el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

De acuerdo al tipo de suelo se pueden distinguir dos zonas en el altiplano: en la parte norte suelos franco arcillosos con cobertura vegetal de gramadales (*Calamagrostis rigens*) y jankial (*Frankenia triandra*), favorable para la producción de pastos nativos destinados a la alimentación de llamas.) y en la parte sur los suelos son Arena

francosos por sus propiedades se constituyen como áreas con condiciones favorables para el cultivo de la quinua (Vallejos, 2011).

Tabla 1. Características de textura de los suelos en el Intersalar boliviano

Escalas de clasificación	Nº de muestras	Porcentaje
Arcilla	1	0.81
Arcillo arenoso	1	0.81
Arena	54	43.90
Arena franca	58	47.15
Franco arenoso	9	7.32
Total muestras	123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

Según FAUTAPO citando a Tapia 1976 “el cultivo de la quina requiere para un mejor desarrollo y producción suelos drenados de textura franco arenosa a arenosa. El uso actual de la tierra muestra que las áreas productoras se caracterizan por tener suelos con estos atributos y se localizan principalmente en las pendientes de las serranías, montañas y piedemontes donde existe una mayor humedad y la incidencia de heladas no es tan extrema y severa”.

2.2 Estructura

Se conoce como estructura del suelo a la forma en la que se agrupan las partículas de limo, arcilla y arena, cuando estas partículas individuales se unen forman partículas mayores las cuales son denominadas agregados. Por otra parte, la evolución natural del suelo produce una estructura vertical estratificada a la que se conoce como perfil. Las diferentes capas que se observan en el perfil se llaman horizontes y su diferenciación se debe a su dinámica interna como al transporte vertical. La estructura y la porosidad del suelo influyen sobre el abastecimiento de agua y de oxígeno a las raíces, y esto lo hace sobre la disponibilidad de nutrientes que

requieren estar disueltos en la fase líquida del suelo (FAUTAPO, 2008).

Según Cárdenas et al. (2015) citando a Taboada y Álvarez (2008) la estructura del suelo de la zona del Intersalar es de tipo granular. Por lo tanto, estos suelos se caracterizan por no poseer ninguna cohesión y presentan una conformación de arena, limo, roca y grava.

Con las actividades que requieren los cultivos agrícolas, los suelos son expuestos a sucesivas presiones mediante el uso de implementos agrícolas para la preparación del suelo, lo que tiende a compactarlos. La resistencia del suelo en mantener su forma actual o adquirida define la estabilidad estructural. Por ejemplo, la recuperación de la estabilidad estructural es por lo menos dos veces más rápida en suelos arenosos que en suelos arcillosos. La estabilidad estructural también está inversamente asociada a la frecuencia e intensidad de remoción del suelo.

2.3 Horizontes del suelo

Se conoce como horizontes del suelo a una serie de estratos horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que representan diferentes caracteres de composición, color, textura, estructura, consistencia y adherencia. A cada uno de estos horizontes se les simboliza con una letra mayúscula. La presentación y comprensión de los horizontes del suelo requieren de un uso correcto de cada símbolo.

Considerando la nomenclatura de la FAO, las letras mayúsculas H, O, A, E, B, C, R, I, L y W representan a los horizontes mayores y capas mayores existentes en el suelo y la descripción de esta nomenclatura se presenta en la Tabla 2.

Según FAUTAPO, los suelos de esta región no presentan prácticamente evolución genética de sus horizontes, que son fuertemente alterados con presencia de material volcánico transportado por erosión eólica, además de la presencia de sales en exceso. En el Anexo 1 se describe más detalles sobre los diferentes tipos de horizontes y capas del suelo.

Tabla 2. Características de los horizontes y capas del suelo

Horizonte	Características
H	Es la capa en la cual existe material orgánico, el cual puede o no encontrarse descompuesto. Todos los horizontes H están saturados con agua por tiempo extensos, este horizonte puede encontrarse en suelos minerales o en la profundidad de la superficie del suelo si fuese un horizonte enterrado.
O	Es también conocido como capa superficial del horizonte A, es la parte más superficial del suelo, ya que está conformado por material orgánico como hojas, ramas y restos vegetales.
A	Es el más superficial y en él se enraíza la vegetación herbácea, es un horizonte mineral que se forma en la superficie del suelo o por debajo del horizonte O. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus. Conocida también como zona de lavado.
B	A este horizonte también se lo denomina zona de precipitado, carece prácticamente de humus por lo que su color es más claro (pardo o rojo). Este horizonte ha sido formado por debajo de un horizonte A, E, H u O, en el que el rasgo principal es la estructura rocosa.
C	Es un horizonte el cual excluye a la roca madre y ha sido afectado por los procesos pedogenéticos de manera mínima y no posee la propiedades de los horizontes H, O, A, E o B. En este horizonte se incluyen los sedimentos, saprofitas y la roca madre en estado no consolidado.
E	Es un horizonte mineral y su principal característica es la pérdida de arcilla silicatada, hierro, aluminio y por consecuencia deja una concentración de arena y partículas de limo, y la mayor parte de la estructura rocosa ha sido desintegrada.
Capa R	Contiene lechos de roca dura como granito, basalto, cuarcita y caliza. Esta capa puede ser excavada, aunque en algunos casos se puede desmenuzarse con el uso de equipo pesado.
Capa I	Son cristales y cuñas de hielo que contienen al menos 75% de hielo, estos cuerpos de hielo pueden crecer y formar cristales de cuñas que separan capas de suelos
Capa L	Está compuesta por materiales orgánicos e inorgánicos, también conocidos como material límnic.
Capa W	Son capas de agua en los suelos, algunos de estos suelos son orgánicos y flotan sobre el agua. En otros casos el agua superficial no mayor a 1 metro de profundidad llega a cubrir el suelo definitivamente como los lagos superficiales

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Densidad aparente

La densidad del suelo es la relación de la masa de las partículas de suelo seco con el volumen combinado de las partículas y los poros, se expresa en g/cm^3 o t/m^3 . Es un indicador importante sobre las características del suelo como porosidad, grado de aireación, capacidad de infiltración y compactación.

La densidad aparente de los suelos en la región del Intersalar está relacionada con su textura, estructura y presencia de materia orgánica, es así que el 91% de los suelos con textura Arena franco y Arena tienen una densidad aparente que varía de 1,4 a 1,9 g/cm^3 . Por su densidad aparente se clasifican como suelos con densidad aparente de mediana a alta. La materia orgánica tiende a reducir la densidad suelo/masa debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad (FAUTAPO, 2008).

2.5 Profundidad efectiva

La profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces y de la disponibilidad de humedad y nutrientes para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza. Puede variar de unos pocos centímetros a varios metros. Cuanto más superficial es un suelo, más limitados son los usos que se le puede dar y el desarrollo de sus cultivos.

Mediante calicatas o barrenamientos en los suelos del Intersalar FAUTAPO (2008) reporta profundidades efectivas que varían desde 100 cm a más de 120 cm, clasificándose como suelos profundos a muy profundos, y no presentan ningún tipo de material que pueda impedir el crecimiento de las raíces. Se registran observaciones de raíces de Thola a más de 150 cm de profundidad.

2.6 Humedad

La humedad relativa promedio del ambiente, según los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), es de

46,5 % y la quinua crece sin mayores inconvenientes desde el 40 % en el altiplano hasta el 100 % de humedad relativa en la costa (FAU-TAPO, 2008).

Por otra parte, los contenidos de humedad en los suelos del Intersalar están íntimamente relacionados a las precipitaciones pluviales, como en gran parte del Altiplano (Orsag, 1990). Por otro lado, el almacenamiento y la disponibilidad de agua en los suelos están en función a sus características físicas, químicas y biológicas.

3. Características químicas de los suelos del Intersalar

3.1 Capacidad de Intercambio Catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles en las superficies de los minerales de arcilla y componentes orgánicos del suelo y es un indicador potencial del suelo sobre la retención e intercambio de nutrientes (Ca, Mg, Na, K y micronutrientes). Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes y es por lo general pobre en materia orgánica (FAO, 2008).

El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo, los cationes cambiabiles influyen en muchas propiedades de los suelos. Los siguientes cationes cambiabiles son los más importantes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} e H^+ , estos forman el “enjambre” de iones que cubren el complejo coloidal.

En la Tabla 3, con respecto al CIC, se observa la tendencia de los suelos del Intersalar que según la clasificación se encuentran entre muy bajos a moderado, así que el 8.94%, el 39.84% y el 30.89% se hallan con contenidos de muy bajo, bajos y moderados, respectivamente.

Tabla 3. Clasificación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos del Intersalar.

Escala de clasificación	CIC (meq/100g)	Nº de muestra	Porcentaje
Muy baja	< 6.0	11	8.94
Baja	6.1 – 12.0	49	39.84
Moderada	12.1 – 25.0	38	30.89
Alta	25.1 – 40.0	12	9.76
Muy alta	> 40.1	13	10.57
Total muestras		123	100.00

Fuente: FAUTAPO, 2008.

3.2 Potencial de Hidrógeno

El potencial de Hidrógeno (pH) de la solución del suelo afecta a la solubilidad de los diferentes iones presentes y de este modo varía la asimilabilidad de los mismos, además su importancia es mayor si consideramos que la quinua sólo puede absorberlos en solución. Por otro lado, si hablamos de la reacción del suelo nos referimos principalmente a las condiciones del mismo en relación con su acidez o su alcalinidad. A pesar de que el concepto de pH se desarrolló para soluciones, sus bases teóricas permitieron utilizarlo para determinaciones en suspensiones coloidales del suelo.

Con estas consideraciones, tal como se muestra en la Tabla 4, en la región del Intersalar el 27.6% de los suelos se hallan en el rango de suavemente alcalino, el 40.6% en el rango de moderadamente alcalino y el 5.7% en el rango de fuertemente alcalino, es decir, aproximadamente el 73.9% de los suelos se hallan en un pH que varía de suave a fuertemente alcalino (FAUTAPO, 2008).

Tabla 4. Grado, frecuencia numeral y porcentaje del pH de suelo del Intersalar

Grado	pH	Nº de Muestras	Porcentaje
Muy fuertemente ácido	< 4.5	0	0
Fuertemente ácido	4.5 – 5.2	0	0
Moderadamente ácido	5.3 – 5.9	1	0.8
Suavemente ácido	6.0 – 6.5	7	5.8
Neutro	6.6 – 7.0	24	19.5
Suavemente alcalino	7.1 – 7.5	34	27.6
Moderadamente alcalino	7.6 – 8.0	50	40.6
Fuertemente alcalino	> 8.1	7	5.7
TOTAL		123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

3.3 Conductividad Eléctrica

Todos los suelos contienen sales solubles en diferentes proporciones. Cuando un suelo tiene exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la Conductividad Eléctrica (CE) del suelo permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se realiza para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar el desarrollo de las plantas (germinación de las semillas, crecimiento de las plantas) o la absorción del agua por parte de las mismas.

Según FAUTAPO (2008), el 42,28% de los suelos del Intersalar son no salinos, el 42,28% ligeramente salinos, seguidos de suelos modernamente salinos con un 8,13%, y en porcentajes bajos están los fuertemente salinos y muy fuertemente salinos con un 0,81% y 6,50%, respectivamente.

Tabla 5. Escala, frecuencia numeral y porcentaje de muestras de suelos del Intersalar con relación a la Conductividad Eléctrica

Escala de clasificación	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nº de muestras	% de muestras
No salino	< 200	52	42,28
Ligeramente salino	200 – 400	52	42,28
Moderadamente salino	400 – 800	10	8,13
Fuertemente salino	800 – 1600	1	0,81
Muy fuertemente salino	> 1600	8	6,50
Total muestras		123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

3.4 Materia orgánica

Los suelos del Intersalar presentan contenidos de materia orgánica de muy bajo a bajo. Los aspectos que influyen para esta condición, son los siguientes (FAUTAPO, 2008):

- Los bajos contenidos de arcilla reportados en la clasificación textural, no permiten un efecto de estabilización de la materia orgánica y un aumento en su contenido.
- La reacción del suelo (pH, que varía de 7.1 a 8.1) influye en la mineralización y humificación.
- Las prácticas tradicionales del cultivo de quinua influyen en el aporte bajo de restos vegetales al suelo, las plantas son arrancadas desde la raíz, entonces una vez trillado el grano, la mayoría de los restos vegetales (raíces, tallos, hojarasca y cáscara) son empleados para la alimentación animal y para producir lejía.
- Asimismo, el aporte de estiércol a los suelos es muy limitado por los costos altos que supone esta práctica, dada la disminución significativa de la población de camélidos y otras especies de animales. La incorporación de estiércol se realiza cada tres años y en cantidades muy limitadas (10 tn/hectárea).
- El estiércol de Llama (principalmente) y ovino, incorporado es pobre en nutrientes por el mal manejo a la intemperie en los corrales, en montones en las parcelas, además, la pérdida de nutrientes en el transporte.

3.5 Nutrientes

Con relación a la evaluación de nutrientes (considerando N, P, K) en la zona del Intersalar, tanto en parcelas con cultivos de quinua y en descanso dentro del sistema convencional, Orsag (2011) realizó comparaciones tomando en cuenta los estudios realizados por FAU-TAPO (2008), que se explican a continuación.

3.5.1 Nitrógeno

La cantidad de nitrógeno en estos suelos está íntimamente relacionada con el contenido de materia orgánica y que además es influenciado por: a) los cambios en las propiedades físicas del suelo por el uso indiscriminado de maquinaria agrícola; b) los restos vegetales como la Thola, paja, broza y *jipi* de quinua, son pobres en proteínas y biomasa, lo que influye negativamente en el proceso de mineralización; c) la erosión permanente de los suelos; y d) cambios en el ambiente microbiológico del suelo.

El nitrógeno que está presente en el suelo no es estático, al contrario es dinámico, la cantidad existente de nitrógeno en el suelo está controlado por las condiciones climáticas y por la vegetación. Los suelos con mayor contenido de arcilla contienen más nitrógeno que otro tipo de suelos.

Bajo estas condiciones, y teniendo en cuenta la textura de los suelos del intersalar, es de esperar que el porcentaje de nitrógeno en los suelos del Intersalar sea muy bajo, en la Tabla 6 se observa que el 97.56% se hallan por debajo del 0.20% de N, clasificándose su contenido como muy bajo, el porcentaje restante 2.44% de las muestras se clasifica como bajo (FAUTAPO, 2008).

Tabla 6. Clasificación del contenido de Nitrógeno en suelos del Intersalar

Escala de clasificación	Nitrógeno (%)	Nº de muestras	Porcentaje
Muy baja	< 0.20	120	97,56
Baja	0.21 – 0.30	3	2,44
Moderada	0.31 – 0.40	0	0,00
Alta	0.41 – 0.50	0	0,00
Muy alta	> 0.51	0	0,00
Total muestras		123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

3.5.2 Fósforo

El fósforo es relativamente estable en los suelos, a diferencia del nitrógeno, tiene un aporte importante al grupo inorgánico, los suelos del Intersalar tienen reacciones predominantes de pH de 7.1 a 8.1, de suavemente alcalino a fuertemente alcalino, con predominancia de suelos arenosos o franco arenosos.

En la Tabla 7 se muestra que el contenido de fósforo varía en los suelos del Intersalar de bajo a muy alto, aproximadamente el 75% de los suelos se hallan en el rango de moderado a alto contenido de fósforo (FAUTAPO, 2008).

Tabla 7. Clasificación del contenido de Fósforo en los suelos del Intersalar

Escala de clasificación	Fósforo (ppm)	Nº de muestra	Porcentaje
Muy baja	< 3.0	0	0,00
Baja	3.1 – 7.0	26	21,14
Moderada	7.1 – 15.0	66	53,66
Alta	15.1- 25.0	26	21,14
Muy alta	> 25.1	5	4,07
Total muestras		123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

3.5.3 Potasio

Según FAUTAPO (2008) los suelos de la zona del Intersalar son de origen volcánico, estos suelos derivados de arenas y cenizas volcánicas presentan niveles altos de Potasio intercambiable (Parra, 1960). Asimismo, como se detalla en la Tabla 8, aproximadamente el 41% de estos suelos presentan contenidos moderados de potasio intercambiable y el 42% reportan contenidos altos, es decir el 83% tienen contenidos moderados y altos de Potasio.

Tabla 8. Contenido de Potasio intercambiable en los suelos del Intersalar

Escala de clasificación	Potasio (meq/100g)	Nº de muestras	Porcentaje
Muy baja	< 0.10	0	0,00
Baja	0.11 – 0.30	4	3,25
Moderada	0.31 – 0.70	50	40,65
Alta	0.71 – 1.20	52	42,28
Muy alta	> 1.21	17	13,82
Total muestras		123	100

Fuente: FAUTAPO, 2008.

4. Factores relacionados con la fertilidad y el manejo de suelos

4.1 Clima

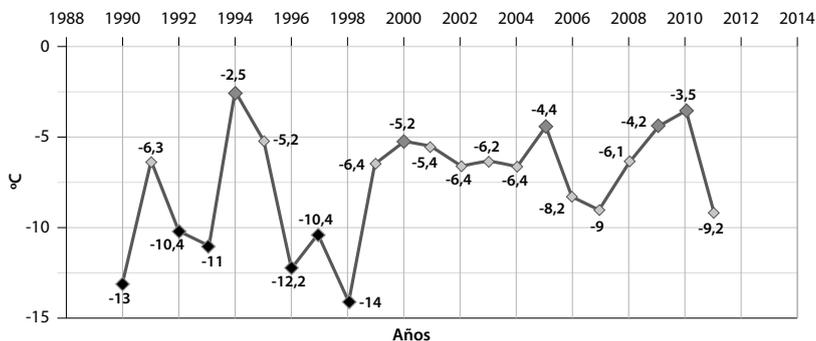
La región del Intersalar se caracteriza por las severas limitaciones impuestas por el frío, baja humedad del ambiente y las variaciones de temperaturas, es así que la vegetación va reduciendo tanto en su tasa de crecimiento como en su densidad, sumándose a estas limitaciones las condiciones de extrema aridez en lo que respecta a la humedad del suelo.

Es interesante destacar las bruscas variaciones de temperatura durante el año, seguidas de la escasa e irregular distribución periódica de las precipitaciones pluviales.

4.2 Temperatura

Según Gonzales (2014) la temperatura media anual es de 8,3°C, la temperatura media mínima anual es de aproximadamente -0,3°C, pero entre abril y julio es de -11,5°C lo que significa un rápido enfriamiento durante la noche con temperaturas nocturnas que descienden gran parte del año a valores inferiores a cero grados centígrados.

Durante los meses más fríos de junio y agosto las temperaturas pueden bajar hasta -17,8 °C, asimismo, en los meses secos y calurosos de septiembre a diciembre puede llegar hasta 23,4°C. En el Gráfico 1 se puede observar la distribución histórica de la temperatura mínima.

Gráfico 1. Distribución histórica de la temperatura mínima (°C)

Fuente: Gonzales, 2014.

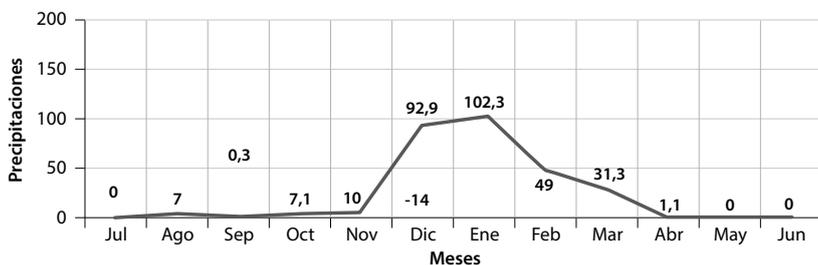
De la misma manera Miranda *et al* (2013) citando a García *et al* (2006) afirman que en los meses de mayo, junio, julio y agosto existe una variación térmica registrando valores que oscilan en los -10°C en las noches, hasta 15°C durante el día.

Por otra parte Gandarillas *et al.* (2013) citado por Risi *et al* (2015) indican que la temperatura media anual llega a $5,7^{\circ}\text{C}$, durante la estación de cultivo en los meses de diciembre a marzo llega a 11°C , la temperatura máxima media en el último periodo agrícola llega a 18°C y la mínima media entre los meses de abril y julio llega a -11°C .

4.3 Precipitación pluvial

Las lluvias son escasas en el Intersalar y presentan una distribución irregular entre los meses de diciembre a marzo, la precipitación media anual de acuerdo a los reportes del SENAMHI es de 304.8 mm y se reporta como promedio anual 25 días con lluvia. En el Gráfico 2, según FAUTAPO (2008), se presenta la precipitación media de cinco años para el Intersalar.

Gráfico 2. Precipitación media de cinco años (mm)



Fuente: FAUTAPO, 2008.

Sin embargo García *et al* (s/a) sostiene que el periodo lluvioso es de diciembre a febrero en el que se concentra hasta un 85% de la precipitación que oscila entre 150 a 300 mm anuales. Por otro lado Risi *et al* (2015) afirman que la cantidad de lluvia que se registra varía entre 50 a 200 mm.

Durante los últimos años los volúmenes de precipitación disminuyeron significativamente y se concentran en periodos cortos, a pesar de esta situación la quinua aún prospera.

4.4 Vientos

Como promedio los vientos tienen una velocidad anual de 2,3 km/hora, los vientos son muy intensos durante casi todo el año, pudiendo alcanzar velocidades superiores a 80 km/hora, con una dirección predominante del Noreste al Sureste, y de Sud a Norte.

5. Riesgos climáticos

En el Intersalar predomina el monocultivo de quinua, y debido a sus condiciones climáticas y edafológicas los riesgos naturales principales en la producción de este cultivo son las sequías y heladas. La erosión y degradación de tierras son aceleradas principalmente por las actividades agrícolas (FAUTAPO, 2008).

5.1 Sequía

La ausencia de lluvias o la disminución de la precipitación por debajo de la normal ya es considerado como una constante, en las últimas décadas este riesgo natural se presenta o se asocia con el cambio climático.

Cuando se presenta una sequía o un año seco afecta principalmente a la emergencia y el desarrollo de la quinua, en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, es así, que desde el inicio de la siembra hasta el mes de noviembre la quinua dispone del 8 % de la precipitación pluvial, aproximadamente 24,1 mm, para emerger y desarrollarse vegetativamente, más el agua almacenada en el suelo después del barbecho, entre enero y febrero (FAUTAPO, 2008).

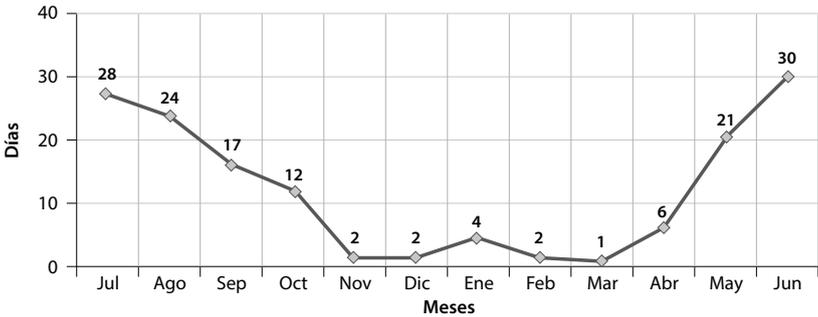
5.2 Heladas

De acuerdo a los reportes climatológicos del SENAMHI como promedio anual se tiene 152 días con heladas, la ocurrencia de heladas para el Intersalar varía entre 160 a 257 días/año, con un promedio de 206 días/año.

En el Gráfico 3 se observa los días con heladas en los meses de noviembre (2), diciembre (2), enero (4), febrero (2) y marzo (1). Estas

heladas pueden provocar la pérdida total o parcial de los cultivos (FAUTAPO, 2008).

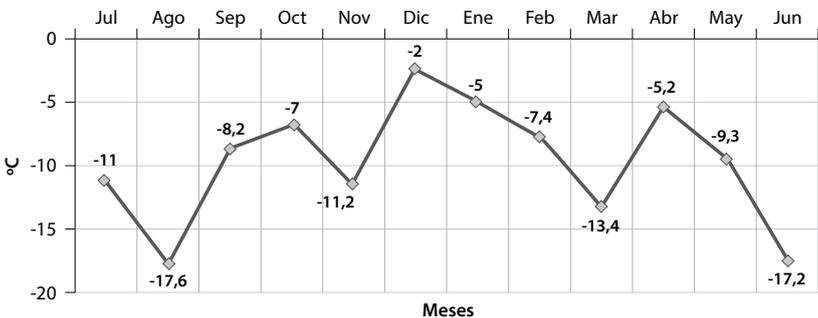
Gráfico 3. Presencia de heladas (promedio de cinco años)



Fuente: FAUTAPO, 2008.

Como se observa en el Gráfico 4, durante el ciclo de cultivo en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo se tienen -11.2 , -2 , -5 , -7.4 -13.4 °C como temperatura mínima externa, respectivamente. Estas bajas temperaturas pueden provocar la pérdida total o parcial de los cultivos.

Gráfico 4. Temperatura mínima extrema promedio de cinco años



Fuente: FAUTAPO, 2008.

Según García et al (s/n) las heladas se presentan con mayor rigor en las zonas bajas del Altiplano (llanuras aluviales, llanuras fluviolacus-

tres) afectando las áreas cultivadas y esto reduce fuertemente la productividad de las áreas de expansión de quinua.

El suelo se constituye en el recurso natural básico y un patrimonio para los agricultores, es un recurso renovable si se cuenta con un manejo adecuado. Las malas prácticas agrícolas causan erosión y por ende la pérdida de fertilidad del suelo al reducir la capa arable, afectando significativamente al deterioro del medio ambiente. En este capítulo abordaremos los aspectos vinculados con la erosión, drenaje y compactación del suelo.

6. Factores que inciden en la fertilidad del suelo

6.1 Erosión

La erosión es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la tierra, la erosión tiene como consecuencia alteraciones ecológicas en la fauna y flora. Los suelos erosionados generalmente presentan bajos contenidos de materia orgánica y tiene consecuencias *in situ*, es decir en el lugar desde donde el suelo es movido y *ex situ* los lugares que son afectados por el suelo erosionado. En el Tabla 9 se presentan los tipos de erosión.

Tabla 9. Tipos de erosión

Erosión	Descripción
Natural	Es la que ocurre lentamente
Inducida por el hombre	Resultado del mal manejo del suelo, malas prácticas agrícolas y extracción de vegetación natural.
Hídrica	Remoción del suelos por efectos de las lluvias.
Eólica	Remoción del suelo por acción del viento

Fuente: Elaboración propia.

En la región del Intersalar se observa una explotación intensiva de sus suelos mediante los cultivos de quinua, además zonas que tradicionalmente eran consideradas como ganaderas han sido convertidas para la producción de quinua debido a la demanda internacional y los precios altos ofertados por este grano andino. Por lo tanto, la sobre explotación del suelo está ocasionando grandes problemas, por ejemplo el arrastre de partículas de arena por el viento está generando dunas y por otra parte en los suelos erosionados la regene-

ración de la vegetación es muy lenta por lo mismo se presenta un déficit de forrajes en las zonas que aun cuentan con llamas.

6.2 Drenaje del suelo

Según la FAO, el drenaje es un importante factor en la definición para comprender la situación de los suelos. Los suelos con un buen drenaje por lo general tienen un mejor rendimiento cuando los cultivos crecen en sistemas con muchos residuos. Asimismo, los suelos con textura limosa arenosa tienen un buen drenaje interno y los suelos de textura arcillosa proporcionan un buen drenaje superficial.

En la región del Intersalar, como se vio anteriormente, los suelos son pobres en cuanto a materia orgánica y su textura predominantemente es arena francoso y arena, por lo mismo que son propensos a una rápida infiltración del agua, siendo baja su capacidad de retención.

6.3 Compactación del suelo

La compactación del suelo ocurre por el uso de maquinaria pesada y esta se puede observar cuando el suelo es lavado por fuertes tormentas. Sin embargo, la mayoría de los suelos agrícolas están compactados o tienen problemas de compactación, esta compactación del suelo es invisible ya que ocurre por debajo de la superficie y esta podría ser determinada si se abre una calicata en el suelo, la cual no debe exceder del 1.5 m ya que se corre el riesgo de que los laterales se derrumben (FAO, 1994 - 1995).

Considerando que en el Intersalar se viene empleando maquinaria agrícola para las diferentes labores de roturado del suelo, siembra y cosecha es posible que esos suelos presenten elevados grados de compactación.

La aplicación de técnicas de manejo de suelos es determinante para mantener los niveles de fertilidad de los mismos. En el caso de la quinua el abonamiento con estiércol, la rotación en mantos y el descanso de parcelas son prácticas ancestrales y las más recomendadas.

7. Prácticas de manejo de suelos

7.1 Abonamiento

El estiércol de ganado en el Altiplano boliviano, es una de las fuentes de abono orgánico más accesible para los productores. Los agricultores de esta región incorporan estiércol entre 2 a 4 toneladas por hectárea en el momento de la siembra o durante el roturado en los meses de febrero y marzo, siete meses antes de la siembra, la calidad del estiércol utilizado varía de acuerdo a la zona y la alimentación de camélidos (Miranda, *et al*, 2013).

Por otra parte, FAUTAPO (2008) menciona que la cantidad de estiércol aplicado por hectárea es de 6 a 9 toneladas en la mayoría de las comunidades, el intervalo de aplicación de estiércol es entre 2 a 3 años, según la cantidad de mantos con las que cuentan las comunidades. La cantidad recomendada de estiércol es de 10 a 12 t/ha.

El abonamiento es una técnica aplicada sólo por una proporción de los productores; en la mayoría de las comunidades ni siquiera alcanza al 50% de los productores. Una de las causas que incide en ello, es el arduo trabajo que se requiere para la recolección, transporte y aplicación de estiércol en las parcelas, por otra parte la escasa tenencia de ganado y la falta de mano de obra o dedicación a las actividades de producción de quinua.

También se menciona que existen agricultores que realizan la incorporación del estiércol en los hoyos junto con la semilla, esto permite una mayor retención del agua y además favorece a que exista una buena mineralización y liberación de los nutrientes, pero cabe mencionar que el aporte de estiércol en los suelos es limitado por los costos altos.

7.2 Rotación de mantos

El cultivo de quinua en el Intersalar está en general bajo un sistema de monocultivo, por lo tanto en la mayoría de los casos no se practica la rotación de cultivos (las características agroambientales hacen imposible la rotación de cultivos en gran parte del Altiplano sur), a excepción de la zona del Santuario de Quillacas (en terrenos de piedemonte). Esta rotación dura entre cuatro y cinco años continuos (1^{er} año papa, 2^{do} año papa, 3^{er} año quinua, 4^{to} año quinua y/o maíz o cebada), para luego entrar a un periodo de descanso de dos a cinco años.

De acuerdo a Bragagnolo (1995), citado por Orsag (2011), los fundamentos en los que se basa la rotación de cultivo son:

- Sucesión de cultivos con diferentes exigencias de nutrientes y diferentes tipos de raíces.
- Sucesión de cultivos susceptibles a determinadas enfermedades o plagas con otros resistentes.
- Sucesión de cultivos que agotan el suelo con aquellos que mejoran la fertilidad y/o la mantienen.
- Cultivos con diferentes necesidades de mano de obra, tipo de preparación del suelo, uso de maquinaria, requerimiento de fertilizantes orgánicos, agua, etc.

Entre los beneficios que se pueden obtener con la aplicación de la rotación de cultivos de acuerdo a Bragagnolo (1995), citado por Orsag (2011), se tiene:

- Genera un aumento de la productividad.
- La rotación de cultivos otorga mejores rendimientos de los cultivos que los monocultivos.
- Tiende a disminuir el uso de fertilizantes, principalmente nitrógeno.
- Utilización más adecuada de los suelos.

La rotación en mantos es practicada por algunas comunidades, en otras no existe esta organización de mantos, al contrario utilizan un

sistema individual – familiar, por ejemplo en la comunidad de Puqui, desde hace 20 años que no se utiliza los mantos con lo cual hubo una disminución del ganado camélido.

En la Marka Aroma y en la comunidad de Rodeo la práctica de la rotación de mantos es parte de sus normas comunales, por lo mismo son practicadas por todos los agricultores de la comunidad, de esta manera posibilitan el descanso anual de sus tierras de cultivo, durante el descanso del manto generalmente se introducen a los camélidos para posibilitar un abonamiento durante todo el año.

7.3 Descanso de parcelas

Respecto al descanso de la tierra, esta era una práctica antigua que la mayoría de los productores la realizaba de manera interanual, es decir, un año está en producción y luego está en descanso, en algunas comunidades de los ayllus – cantones como Tres Cruces, Palaya el tiempo de descanso de las parcelas aún se extiende hasta por tres años ya que en estas zonas se tienen de 3 a 4 mantos para la rotación (FAUTAPO, 2008).

7.4 Implementación de barreras

En la zona del Intersalar se está implementando la utilización de barreras vivas para frenar la acción de los vientos y ayudar a la conservación del suelo y del agua en la parcela.

Las barreras son prácticas que utilizan arbustos, como las Tholas, o piedras, y son establecidas de forma transversal a la pendiente principal del terreno con el objetivo de reducir la velocidad del agua e incrementar su infiltración en los horizontes del suelo, también hay partículas de suelo que son arrastradas por el agua y pueden ser atrapadas por la barrera.

Según Tracy y Pérez (1986) citado por Orsag (2011), las barreras presentan las siguientes ventajas:

- Costos relativamente bajos (en vista de que se utilizan materiales locales, mano de obra local y no requieren muchas herramientas).
- Se adaptan perfectamente a los sistemas de producción que utilizan los campesinos, en razón de que no les son completamente ajenas.
- Permiten obtener beneficios secundarios como flores, materia orgánica, forrajes, madera, leña, frutos, etc.

7.4.1 Barreras vivas

En el Altiplano existen muchas especies vegetales nativas con cualidades para diferentes usos. Según Alandía (2013), estas especies se pueden emplear en la protección del suelo contra la erosión, albergue y alimento de enemigos naturales de plagas de cultivos, actividad simbiótica con micro organismo entre otros usos.

Para conformar barreras vivas, en las laderas se utilizan preferentemente plantas perennes y de crecimiento denso sembradas en hileras transversales a la pendiente del terreno, las mismas que deben caracterizarse por su alto macollamiento y resistencia a la fuerza del agua.

Por ejemplo en la comunidad Rodeo del Municipio de Salinas de Garci Mendoza, las barreras vivas de su Manto 1 están constituidas por tholares que fueron plantadas en hileras de 2,5 a 3 metros entre cada parcela.

7.4.2 Barreras muertas

Otra forma de evitar el escurrimiento del agua de lluvia y la erosión de suelos es cortar la longitud de las parcelas demasiado largas con ayuda de muros de piedra, los mismos que deben ser construidos de manera transversal a la pendiente del terreno.

8. Caracterización del sistema productivo de la quinua

8.1 Laboreo del suelo

En las últimas décadas, el laboreo del suelo en el Intersalar se realiza en general de manera mecanizada, con un tractor y arado de discos, esta maquinaria se utiliza para el barbechado y la siembra del cultivo de quinua (Orsag, 2011).

Según Cossío (1995), citado por Risi *et al* (2015), la preparación mecanizada en el altiplano sur es limitada en terrenos con pendiente en las laderas, sin embargo, en terrenos planos de las pampas se realiza la roturación para la habilitación de terrenos vírgenes o *purumas* con topografía irregular que por la naturaleza del clima, son suelos frágiles sin mayor estructura y de textura arena a arena francosa con una baja capacidad de retención de agua.

Al respecto Aroni, Sunagua *et al* (2010) citado por Risi *et al* (2015) mencionan que la preparación del suelo con el uso de tractor y arado de disco está siendo utilizada por más del 90% de los productores de quinua de esta región.

8.2 Barbechado

Orsag (2011) menciona que el barbechado del suelo se realiza comúnmente en los meses de enero a marzo, generalmente empleando maquinaria agrícola hasta una profundidad aproximada de 30 cm principalmente en terrenos de piedemonte y planicies.

El barbecho se lleva a cabo cuando se presentan lluvias o nevadas en los meses de mayo a agosto y esta operación es fundamental para favorecer el almacenamiento del agua en los suelos en descanso.

Por otro lado, Risi *et al* (2015) afirma que el barbechado se realiza en los meses de febrero a marzo coincidente con las últimas lluvias, con el objeto de almacenar el agua en el suelo y de esa forma facilitar su utilización por las plantas desde el momento de la siembra y parte de su desarrollo hasta que se inicien las precipitaciones del siguiente año agrícola.

8.3 Siembra

La siembra de quinua se lleva a cabo por los agricultores con la ayuda de maquinaria agrícola (tractor y arado de discos). Esta actividad empieza a finales del mes de Agosto (Irpani) o después del 14 de septiembre (Quillacas) y se extiende generalmente hasta el mes de octubre (Orsag, 2011).

La siembra tradicional es una labor que aún se practica en las laderas, por ejemplo en la comunidad Cerro Grande en el Municipio de Salinas de Garci Mendoza. Esta siembra se la realiza con una taquiza y una pala pequeña, herramientas que permiten la apertura de hoyos hasta alcanzar la tierra húmeda donde se deposita entre 80 a 140 semillas por hoyo, luego se cubre con tierra con un espesor que varía entre 4 a 10 cm, la distancia entre hoyo y hoyo varia de 1 a 1,12 m. Por otra parte, la siembra mecanizada alcanza por lo menos al 70% de las familias, se emplea la sembradora denominada Satiri que fue desarrollada en 1983 por el Taller de Investigación y Mecánica de Tecnología Agrícola Andina (TIMTAA), su rendimiento es de 1,5 horas por hectárea, ahorrando hasta el 96% del tiempo en comparación a la siembra manual (Risi *et al*, 2015).

8.4 Labores culturales

Entre las labores culturales que se utilizan en la zona del Intersalar están el desyerbe, aporque y control de plagas, que son descritos en la Tabla 10.

Tabla 10. Descripción de labores culturales

Labor cultural	Descripción
Deshierbes	Esta práctica llega a ser diferente en cada una de las zonas de estudio y está muy relacionada a la época de siembra.
Aporques	Esta práctica se desarrolla en los terrenos ubicados en piedemonte (por ejemplo en Quillacas), es necesaria porque los terrenos son arenosos y se necesita reforzar el soporte de las plantas por los fuertes vientos de los meses de enero y febrero.
Control de plagas	Se realiza con compuestos químicos y orgánicos cuando el cultivo de la quinua es afectado por diversas especies de insectos en sus distintas fases de desarrollo, según Saravia y Quispe (2005) citado por Risi <i>et al</i> (2015) entre las plagas de mayor importancia económica se encuentran la polilla de la quinua y el complejo ticonas, las pérdidas ocasionadas por estas plagas pueden oscilar entre un 5 a 67%, con un promedio de 33,37% en el altiplano sur y entre 6 a 45% en el altiplano centro, con un promedio de 21,31%.

Fuente: Elaboración propia.

8.5 Cosecha y poscosecha

En cuanto a la cosecha, el corte de las plantas maduras es una técnica recomendada por las normas de producción ecológica con el fin de dejar las raíces y parte de los tallos como materia orgánica en los suelos, sin embargo, pocos productores aplican el corte de plantas, ya que consideran que es más trabajoso que el arrancado de plantas, además en terrenos muy arenosos al momento del corte la raíz sale más fácilmente. El corte de las plantas es afluido por el tipo de suelo, la humedad y la temperatura.

Según Aroni (2005), citado por Risi *et al* (2015), las hojas de la planta de la quinua se tornan de una coloración amarillenta a rojiza dependiendo de la variedad, y en la panoja es posible ver los granos por la apertura que realiza el perigonio, característico en esta fase de madurez fisiológica.

Existen tres formas de obtener las plantas: arrancado tradicional que consiste en arrancar las panojas maduras de cada hoyo o surco, la desventaja de este método es que no se deja la raíz en el suelo perdiéndose así una fuente de materia orgánica, además contribuye a la erosión y deterioro del suelo, corte manual con hoz consiste en cortar la planta a una altura que va de 10 a 15 cm del suelo, dejando el rastrojo en el mismo suelo lo cual ayuda a la conservación de este y el corte semimecanizado la introducción de esta tecnología en el sistema de producción de quinua del altiplano sur se realizó en 1993, según el estudio de FAUTAPO (2009) se reporta que en el municipio de Salinas de Garci Mendoza el 6% de los productores lo aplican, esta labor consiste en cortar las plantas con una segadora con sierra mecánica y su aplicación se facilita cuando las plantas están distribuidas en surcos o en hoyos.

La cosecha y poscosecha comprenden las labores de corte, secado, trilla, venteo y almacenamiento del grano. Esta actividad es de alta importancia en todo el proceso productivo del cultivo de la quinua y depende de esta la calidad del grano, la incorporación de materia orgánica al suelo y la reducción de los costos de procesamiento del grano.

8.6 Utilización de residuos de cultivo

Según FAUTAPO (2008), los principales residuos del cultivo de la quinua son la broza (restos de tallo y hojas) que salen en el proceso del trillado de granos y el *jipi* (restos de hojas) que salen en el proceso del venteo. La broza mayoritariamente se destina para su incorporación durante el barbecho debido a que el trillado se hace en las mismas parcelas de producción; en pequeñas proporciones se utilizan para la elaboración de la lejía y la alimentación del ganado:

- Para el barbecho se destina el 77% aproximadamente.
- Para la elaboración de lejía el 16%.
- Para la alimentación del ganado el 7%.

Por el contrario el *jipi* en su mayoría es utilizado para la obtención de ceniza y luego la lejía y en poca cantidad para el barbecho y alimen-

tación del ganado. El venteo normalmente se realiza en predios alejados a las viviendas de los productores y que generalmente están alejados de las parcelas de producción y pastoreo:

- Para el barbecho se destina el 10% aproximadamente.
- Para la elaboración de lejía el 87%.
- Para alimentación del ganado el 3%.

9. Conclusiones

- La mayoría de los suelos en el Intersalar son de textura arenosos a areno – franco, con un pH predominante de ligeramente a moderadamente alcalino.
- La disminución de la población ganadera y oferta de estiércol como fuente de reposición de nutrientes para el suelo ha ocasionado la ruptura de la complementación tradicional de la ganadería (camélida) y la agricultura en la zona
- Los sistemas productivos en la zona del estudio no son homogéneos, existen particularidades en cuanto a los aspectos socioeconómicos y técnicos que indican en la fertilidad del suelo que merecen ser tomadas en cuenta para la implementación de estrategias de desarrollo diversificados.
- La mecanización de los cultivos de quinua tiene sus efectos en la estructura y compactación del suelo.
- Existe una variación significativa en los volúmenes de precipitación y una concentración en tres a cuatro meses.
- Las prácticas de conservación de suelos no son realizadas por la mayoría de los agricultores.
- Las barreras vivas son mecanismos importantes para disminuir la erosión eólica y generar microclimas para los cultivos y la regeneración de la fauna microbiana.

10. Bibliografía

- Comunidad de Rodeo. 2016.** Norma Comunal. Oruro, Bolivia. IICA. 36 p.
- Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. 2014.** Manejo y Proyección de riesgos climáticos en la agricultura de la zona andina con relación al uso del conocimiento tradicional. Publicado por la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 130 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016.** Estructura del suelo. Consultado el 12 de octubre de 2016. ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016.** Levantamiento de suelos. Consultado el 12 de octubre de 2016. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1995.** Evaluación del suelo. Consultado el 7 de diciembre de 2016. www.fao.org/ag/ca/Training_Materiales/soil_assessment.
- FAUTAPO, UTO y Prefectura de Oruro. 2008.** Fertilidad, uso y manejo de suelos en la zona del Intersalar, departamentos de Oruro y Potosí. Oruro, Bolivia. FAUTAPO. 69 p.
- García, M., Miranda, R., Fajardo, H. s/a.** Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el Altiplano boliviano. La Paz, Bolivia. UNESCO-CAZALAC-LAC, Proyecto SUMAMAD, UMSA. 107 p.
- Gonzales, M., 2014.** Identificación y caracterización de tecnologías campesinas e indígenas usadas en sistemas productivos de

altura vulnerables a eventos climáticos extremos en las Regiones Andina y Mesoamericana. Oruro, Bolivia. IICA, UTO. 52p.

MDRyT, Ministerio de Desarrollo Rural y Agropecuario, INIAF, IICA. 2013. Congreso Científico de la Quinua. Mario Vargas. La Paz, Bolivia. IICA. 658 p.

Orsag, V., et al. 2011. Evaluación de la fertilidad de los suelos en la zona Intersalar. La Paz, Bolivia. PIEB. 174 p.

Risi J, et al. 2015. Producción y Mercado de la quinua en Bolivia. La Paz, Bolivia. IICA. 315 p.

Vallejos P., et al. 2011. Medio ambiente y Producción de quinua. La Paz, Bolivia. PIEB. 242 p.

Yapu, M., et al. 2015. Pautas Metodológicas para investigar en ciencias sociales y humanas. La Paz, Bolivia. PIEB. 333 p.

11. Anexos

ANEXO 1: Descripción de horizontes y capas del suelo

Horizonte H

Es la capa en la cual existe material orgánico, el cual puede o no encontrarse descompuesto. Todos los horizontes H están saturados con agua por tiempo extensos, este horizonte puede encontrarse en suelos minerales o en la profundidad de la superficie del suelo si fuese un horizonte enterrado.

Horizontes o capas O

Estos son estratos o capas dominadas por material orgánico que consiste de desechos intactos y parcialmente descompuestos, como hojas, ramas, musgos y líquenes, que se han acumulado sobre la superficie; se pueden encontrar sobre suelos minerales u orgánicos. Los horizontes O no se encuentran saturados con agua por periodos prolongados. La fracción mineral de este tipo de material es sólo un porcentaje del volumen de material y es generalmente la mitad del peso total.

Un horizonte O debe estar en la superficie de un suelo mineral o a cualquier profundidad de la superficie si este fuese enterrado. Un horizonte A formado por iluviación de material orgánico en un subsuelo mineral no es un horizonte O, aunque algunos horizontes formados de esta manera contengan mucha materia orgánica.

Horizontes A

Estos son horizontes minerales que se formaron en la superficie del suelo o por debajo de un horizonte O, en el que toda o parte de la

estructura de la roca original ha sido desintegrada y están caracterizados por uno o más de los siguientes puntos:

- Una acumulación de materia orgánica humificada íntimamente mezclada con la fracción mineral y que no despliega propiedades características de los horizontes E o B.
- Propiedades resultado de la labranza, pastoreo, o tipos similares de perturbación.
- Una morfología que es diferente del horizonte B o C subyacente, resultado de los procesos relacionados con la superficie.

Si un horizonte superficial (o epipedón) tiene propiedades de ambos horizontes A y E, pero el rasgo dominante es la acumulación de materia orgánica humificada, se lo denomina horizonte A. En algunos lugares, cuando prevalecen climas calientes y áridos, el horizonte superficial no disturbado es menos oscuro que el horizonte subyacente y contiene pequeñas cantidades de materia orgánica. Tiene una morfología distinta del horizonte o capa C, aunque la fracción mineral puede ser inalterada o sólo levemente alterada por intemperización. Este tipo de horizonte se designa como A porque se encuentra en la superficie. Ejemplo de epipedones que tienen estructura o morfología diferente que deben esa característica a procesos superficiales son: los Vertisoles, suelos en panes o playas con vegetación escasa, y suelos de los desiertos. Sin embargo, los depósitos aluviales o eólicos recientes que retienen estratificación fina, no son considerados como horizonte A, al menos que estos sean labrados.

Horizontes E

Estos son horizontes minerales donde el rasgo principal es la pérdida de arcilla silicatada, hierro, aluminio, o la combinación de estos, dejando una concentración de arena y partículas de limo, y en el que la mayor parte de la estructura rocosa original ha sido completamente desintegrada.

Un horizonte E es usualmente, pero no necesariamente, más claro en color que el horizonte subyacente B. En algunos suelos, el color es aquel de las partículas de arena y limo, pero en muchos suelos, los revestimientos de óxido de hierro u otros compuestos enmasca-

ran el color de las partículas primarias. Un horizonte E se diferencia comúnmente de un subyacente B en el mismo perfil: por el color de un alto valor o bajo croma, o ambos; por la textura más gruesa; o por la combinación de esas propiedades. Un horizonte E se encuentra comúnmente cerca de la superficie, por debajo de un horizonte O o A y por encima de un horizonte B.

Sin embargo, el símbolo E puede ser usado sin tener en cuenta la posición dentro el perfil por cualquier horizonte que reúna los requerimientos y que haya sido resultado de la génesis del suelo.

Horizontes B

Estos son horizontes que han sido formados por debajo de un horizonte A, E, H u O, y en el que los rasgos o elementos dominantes son la obliteración o desintegración de toda o la mayoría de la estructura rocosa original, junto con una o la combinación de:

- Concentración aluvial, individual o en combinación de arcilla silicatada, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso o sílice;
- Evidencia de remoción de carbonatos;
- Concentración residual de sesquióxidos;
- Revestimientos de sesquióxidos que hacen al horizonte conspicuamente bajo en valor, más alto en croma, o más rojo en el matiz que los horizontes suprayacente y subyacente sin aparente iluviación de hierro;
- Alteración que forma silicatos de arcilla o libera óxidos o ambos, y que forma una estructura granular, blocosa o prismática, si los cambios de volumen acompañan cambios en el contenido de humedad
- Fragilidad

Todos los tipos de horizontes B son o fueron originalmente horizontes subsuperficiales. Incluidos como horizontes B se encuentran las capas de concentración iluvial de carbonatos, yeso o sílice que son resultado de procesos pedogenéticos (estas capas o estratos pueden o no estar cementados) y capas frágiles que tienen otra eviden-

cia de alteración, como la estructura prismática o la acumulación iluvial de arcilla.

Algunos ejemplos de capas o estratos que no son horizontes B, son: capas en las que las películas de arcilla recubren fragmentos rocosos o se encuentran sobre sedimentos estratificados finos no consolidados, cuando las películas fueron formadas *in situ* o por iluviación; capas o estratos donde los carbonatos han sido iluviados pero que no son contiguos a un horizonte genético suprayacente; y capas con propiedades gleyicas pero sin otros cambios pedogenéticos.

Horizontes o capas C

Estos son horizontes o capas, excluyendo la roca madre dura, que han sido afectados por los procesos pedogenéticos de manera mínima y no poseen las propiedades de los horizontes H, O, A, E o B. La mayoría son estratos o capas minerales; sin embargo, se incluyen algunos estratos silicios y calcáreos como conchas marinas, residuos corales y diatomáceos. El material de los horizontes C puede o no ser parecido a aquel que se formó en el solum. Un horizonte C puede haber sido modificado aún si no existe evidencia de ningún proceso pedogenético.

Las plantas de las raíces pueden penetrar los horizontes C, proveyendo un medio de crecimiento importante.

Se incluyen como horizontes C, los sedimentos, saprofitas y la roca madre en estado no consolidado, así como otros materiales geológicos que se saturan comúnmente dentro de 24 horas cuando el aire se seca o cuando se sitúan trozos de secado dentro del agua y cuando el material rocoso en condición húmeda puede ser atravesado por una pala. Algunos suelos forman material que ya se encuentra altamente intemperizado; este material no reúne los requisitos de los horizontes A, E o B, por lo que se lo designa como horizonte C.

Los cambios que no se consideran pedogenéticos, son aquellos no relacionados con los horizontes suprayacentes. Los horizontes o capas que contienen sílice, carbonatos o yeso, aun si están cementados pueden ser incluidos como horizontes C, al menos que el ho-

rizonte este afectado por procesos pedogenéticos; caso en el que sería considerado horizonte B.

Capas R

Estos consisten de lechos de roca dura que subyacen al suelo. Ejemplos son: granito, basalto, cuarcita y caliza endurecida. Cualquier trozo de un estrato R que sea introducido en agua, nunca se saturara dentro de 24 horas. La capa R es lo suficientemente coherente para ser excavada, aunque se puede mellar o astillar.

Algunas capas R se pueden desmenuzar con equipo pesado. El lecho de roca puede contener grietas, pero estas son muy pocas y pequeñas para que las raíces puedan penetrar. Las grietas pueden estar revestidas o rellenas con arcilla u otro material.

Capas I

Estos son cristales y cuas de hielo que contienen al menos 75% de hielo (por volumen) y que separan distintivamente las capas orgánicas o minerales en el suelo.

El hielo va y viene en suelos afectados por permafrost. Los cuerpos de hielo en el suelo pueden crecer a tal punto que forman cristales de cuas que separan capas de suelos completas. En el caso en que las concentraciones de hielo ocurran dentro la profundidad de descripción del suelo, se pueden designar como una capa I. El símbolo I no se utiliza en la designación de horizontes de transición.

Capas L

Estos son sedimentos depositados en cuerpos de agua (sub-acuoso) compuesto de materiales orgánicos e inorgánicos, también conocidos como material límnic. El material límnic es aquel: (i) depositado por precipitación o a través de la acción de los organismos acuáticos, como algas o diatomeas; o (ii) derivado bajo el agua y de las plantas acuáticas flotantes y modificadas subsecuentemente por los animales acuáticos (*USDA Soil Survey Staff, 2003*). Las capas L incluyen material coprogeno o turba sedimentaria (mayormen-

te orgánica), material diatomáceo (en su mayoría silícico), y marga (mayormente calcárea). El símbolo L no se usa en la designación de horizontes de transición.

Capas W

Estas son capas de agua en los suelos o el agua sumergiendo suelos, ya sea permanente o cíclicamente dentro el periodo de tiempo de 24 horas. Algunos suelos orgánicos flotan sobre el agua. En tales casos, el símbolo W se puede utilizar al final de la descripción de suelos para indicar el carácter flotante. En otros casos, el agua superficial (es decir, no mayor de 1 m de profundidad) puede cubrir el suelo permanentemente, como es el caso de los lagos superficiales, o cíclicos, como en áreas de marea. El símbolo W se usa para indicar la profundidad de sumergimiento al inicio del horizonte o secuencia de capas. La ocurrencia de agua de marea puede ser indicada como (W).

Hace 75 años un grupo de visionarios identificó la necesidad de contar con un organismo especializado en agricultura para el continente americano, con un propósito que aún hoy mantiene vigencia: promover el desarrollo agrícola y el bienestar rural.

Así nació el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), que a lo largo de todo ese tiempo ha sido capaz de identificar retos y oportunidades, y lo más importante, de evolucionar como un organismo de cooperación técnica internacional que permanentemente responde a las nuevas demandas del sector agrícola.

Desde nuestra fundación, hemos acumulado vasta experiencia en temas como tecnología e innovación para la agricultura, sanidad agropecuaria e inocuidad de los alimentos, agronegocios, comercio agropecuario, desarrollo rural y capacitación.

El Instituto brinda su cooperación mediante el trabajo cotidiano, cercano y permanente con sus 34 Estados Miembros, cuyas necesidades se atiende oportunamente, con el fin de lograr una agricultura cada vez más inclusiva, competitiva y sustentable.

El IICA inició sus actividades en Bolivia en 1969 y desde entonces, desarrolla acciones de cooperación técnica para los diferentes actores del agro boliviano, buscando no solo la integración, coherencia y excelencia en el trabajo del Instituto, sino que además, le da un enfoque proactivo a su accionar.

La organización de nuestro trabajo en todos los ámbitos se refleja en la estrategia del IICA en Bolivia, que permite atender las prioridades señaladas por el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), principal contraparte oficial y mandante, buscando convertirnos en un actor clave en apoyo de las demandas del sector agropecuario y siguiendo los lineamientos definidos en el Plan de Mediano Plazo (PMP) del IICA y las políticas nacionales.

