



**ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
MINISTERIO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS
CENTRO INTERNACIONAL DE LA QUINUA**



MANUAL

**MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS EN LA
PRODUCCIÓN DE QUINUA ORGÁNICA**

Elaborado por:
CENTRO INTERNACIONAL DE LA QUINUA
MSc. Ing. Reymundo Blanco Caseres (Especialista en suelos UTO - FCAN)

Oruro - Bolivia
2023

MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE QUINUA ORGÁNICA

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal cultivado hace 5000 años en las zonas andinas de Bolivia y Perú, es una planta adaptada a diferentes condiciones agroclimáticas y edáficas, esta planta se adapta desde el nivel del mar hasta las zonas más altas de los Andes.

Mujica (2013), reporta que la quinua es una planta de la familia Chenopodeacea, género *Chenopodium*, sección *Chenopodia* y subsección *Cellulata*. El género *Chenopodium* es el principal dentro de la familia Chenopodeacea y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies.

Desde épocas anteriores de la colonia los habitantes andinos siempre tuvieron un gran aprecio por la quinua y predominio el sistema tradicional de producción. En el altiplano sur estaba restringido el cultivo en las laderas de las serranías circundante a los salares de Uyuni y Copasa, en los Altiplanos centro y norte se cultivaba en pequeñas extensiones como parte de sistema de rotación con la papa y forrajes, y en valles interandinos se acostumbraba sembrar como bordura o en asocio con maíz y leguminosas (Soraide, 2014).

El auge del cultivo de la quinua en los mercados internacionales se ha constituido en una alternativa interesante para mejorar la calidad de vida de los pobladores del altiplano sur, centro y norte del país. No obstante, la lógica del sistema actual de producción que responde a la demanda externa en expansión, con lleva a numerosas repercusiones de tipo social, económico y ambiental, como el aumento de la superficie cultivada de manera descontrolada, la presión por los recursos naturales, la disminución de las tierras en descanso, el cambio espacial del cultivo hacia la planicie con mecanización generalizada y otros (Jaldin, Q. 2010).

Los sectores con mejores condiciones de expansión de la frontera agrícola son los situados por debajo de los 3800 msnm principalmente donde las pendientes del terreno son menores a 5%, siendo esta áreas donde más expansión de frontera agrícola, esto principalmente por la facilidad de implementar maquinaria agrícola.

Con referencia a la tendencia de cambio de uso de suelos, se ha encontrado que los suelos con vegetación herbazal – arbustal moderado (tholas, añawayas, lampayas y pajonal) son los más susceptibles a ser nuevas zonas productoras de quinua, en este sentido los suelos con vegetación herbazal arbustal moderado son las zonas con prioridad uno seguido de las zonas con vegetación herbazal-arbustal denso

La producción y la productividad de la quinua en cuanto a calidad como la cantidad en el altiplano sur y otras zonas del país, por su ubicación geográfica está sujeto a la interacción de diversos factores comunes en todo el ciclo productivo, los mismos que van desde factores climáticos, de manejo, genéticos, técnicos, suelos, riego, fertilidad, etc., constituyéndose de esta manera las unidades de producción de la quinua, en un sistema de producción de "alta complejidad". Sin embargo, la producción de la quinua es la principal fuente de ingresos económicos para miles de familias de productores de quinua asentados en todo el altiplano de Bolivia.

La amplia variabilidad genética de la quinua establecida a lo largo del altiplano permite adaptarse a una diversidad de condiciones climáticas, en la mayoría de los casos adversos, demasiado difícil para alcanzar altos rendimientos, donde en la mayoría de las zonas existe ausencia de riego; en consecuencia, un déficit hídrico en algunas clases del ciclo productivo. Por otro lado, las bajas temperaturas (heladas) que en cualquier época del año causan daños en muchos casos irreversibles; además, los suelos en su mayoría de los casos han sido sobreexplotados durante años, sin considerar planes de manejo y fertilización adecuada, con serias posibilidades de quedar desertificados, si se continúa con la misma rutina de explotación.

A pesar, de estas condiciones de rusticidad del cultivo y la explotación tradicional practicado ampliamente durante años, existen amplias posibilidades de mejorar y alcanzar altos rendimientos de quinua por unidades de superficie, introduciendo tecnologías en diferentes aspectos del proceso productivo, principalmente el manejo adecuado de la fertilidad de los suelos. La explotación de estos suelos durante décadas de manera tradicional, han contribuido a reducir sustancialmente el contenido de los principales elementos nutritivos requeridos para la producción de quinua, entre ellos: el nitrógeno, fósforo y potasio, etc.; siendo mayor y más notable la deficiencia de nitrógeno en las diferentes fases del ciclo productivo.

Los bajos rendimientos del cultivo de la quinua se deben a la inadecuada "administración de la fertilidad de los suelos", principalmente al escaso abonamiento (estiércol) que pueda compensar la extracción de nutrientes como el nitrógeno.

Los resultados del análisis de laboratorio de una campaña de muestreo realizado durante la gestión 2023, nos muestran que los principales elementos nutritivos que determina la producción, principalmente el nitrógeno, está disponible para soportar un rendimiento hasta 15 qq./ha., a esto se complementa la variación cíclica de las precipitaciones pluviales con baja disponibilidad de agua que afecta de manera directa al desarrollo de las plántulas de quinua, principalmente durante la primera fase del ciclo productivo (de implantación) como en la fase de la floración, lo que limita aprovechar de manera adecuada los nutrientes disponibles en los suelos de cultivo.

A esto, se complementa la variación brusca de las temperaturas entre la noche y el día; es así, que el incremento de la temperatura durante el día facilita la pérdida del nitrógeno en forma de amoníaco y el descenso de las temperaturas, afecta a la baja absorción del nitrógeno y del fósforo, aspectos fundamentales que debemos considerar durante el ciclo productivo de la quinua.

De manera general, se puede afirmar que la producción de quinua en la actualidad es mixta rudimentaria y tradicional, no existe una tecnología apropiada que facilite y optimice todo el sistema productivo de manera innovativa empresarial; es decir, se requiere una verdadera *"revolución tecnológica"*. Considerando a la *"tecnología"* como un conjunto de conocimientos, procesos, insumos, equipos, etc., destinada a maximizar los rendimientos por unidad de superficie.

Para alcanzar un verdadero desarrollo se requiere una *"revolución tecnológica"*, que acelere un cambio profundo en todos los aspectos del proceso productivo, *"donde la tecnología se constituye en el motor del desarrollo y los conocimientos en el combustible"*.

En este sentido, los productores que quieren alcanzar altos rendimientos de quinua orgánica deben contar con suficientes conocimientos prácticos para administrar o manejar adecuadamente todo el ciclo productivo de la quinua, desde la preparación del suelo, siembra, la fertilidad de los suelos, manejo de suelos, control de plagas, riego, etc., discriminando positivamente hacia aquellas faenas o rutinas los rendimientos de la quinua.

Siendo el uso estiércol del ganado la columna vertebral de la fertilización orgánica, los productores deben contar con suficientes conocimientos acerca de la forma, la cantidad y la época adecuada para aplicar los abonos orgánicos al suelo (uso del estiércol), a fin de lograr un mejor aprovechamiento del cultivo; es decir, reponer los nutrientes extraídos para recuperar el potencial productivo del suelo.

Esta ausencia de conocimientos entre los productores va originando que se distorsione la sincronía entre los requerimientos nutritivos del cultivo, el aporte de nutrientes del suelo, como de los abonos orgánicos (balance nutritivo), principalmente la mineralización del nitrógeno en el proceso productivo de la quinua, es la señal más clara de la ausencia de una "tecnología apropiada e innovativa" para el cultivo de la quinua orgánica y se constituye en la principal barrera o limitante, que se traduce en los bajos rendimientos por unidad de superficie. Esta sincronía se puede lograr a través de un proceso de investigación, donde se planté generar una mineralización en el momento justo donde la quinua requiere de esos elementos nutritivos.

2. NUTRICIÓN VEGETAL (QUINUA).

La nutrición vegetal puede definirse como el suministro y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo; y los nutrientes como los compuestos químicos requeridos por un organismo. Los mecanismos por el cual los nutrientes se convierten en material celular o suministran energía son llamados procesos metabólicos. El término metabolismo comprende una serie de variadas reacciones que ocurren en una célula viva para mantener la vida y el crecimiento. Así, la nutrición y el metabolismo están cercanamente relacionados entre sí.

Los nutrientes esenciales requeridos por las plantas superiores son exclusivamente de naturaleza inorgánica. Este requerimiento exclusivo de nutrientes inorgánicos por las plantas superiores básicamente los distingue del hombre, de los animales y un sinnúmero de microorganismos que adicionalmente necesitan compuestos orgánicos. Para que un elemento sea considerado un nutriente esencial de las plantas deben satisfacerse tres criterios:

- a) Una deficiencia de este elemento hace imposible a la planta completar su ciclo de vida;
- b) La deficiencia es específica para el elemento en cuestión;
- c) El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta. Por ejemplo como constituyente de un metabolito esencial requerido para la acción de un sistema enzimático.

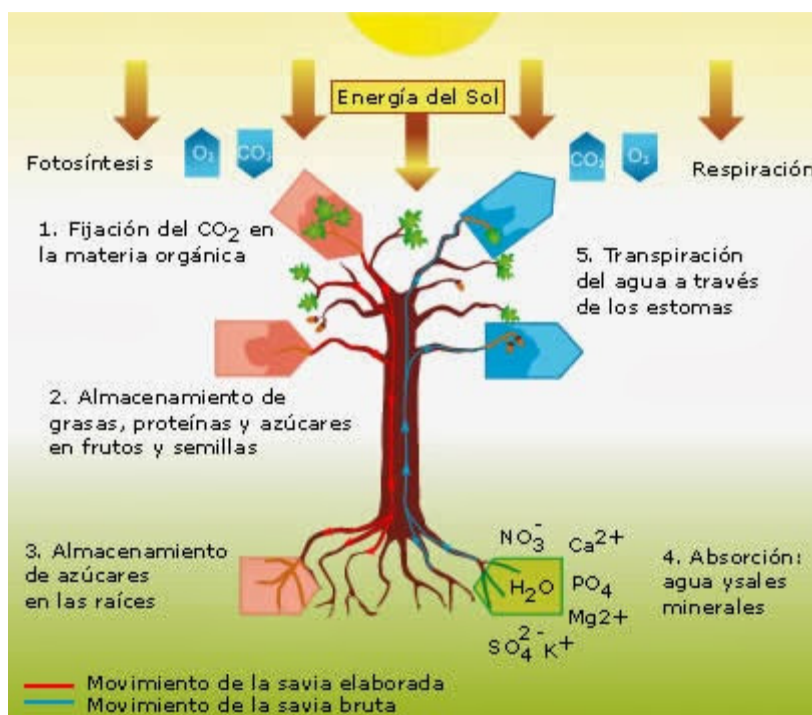


Figura 1: Ciclo de la nutrición vegetal

Los nutrientes vegetales pueden dividirse en macronutrientes y micronutrientes. Las plantas necesitan los macronutrientes en cantidades relativamente elevadas. El contenido del N como macronutriente en los tejidos de las plantas por ejemplo, es superior en varios miles de veces al contenido del micronutriente Zinc.

Bajo esta clasificación, basada en la cantidad del contenido de los elementos en el material vegetal pueden definirse como macronutrientes los siguientes elementos: C, N, H, O, S, P, K, Ca, Mg, Na y Si.

Los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl. Esta división de los nutrientes vegetales en macro y micronutrientes es algo arbitraria y en muchos casos las diferencias entre los macro y micronutrientes son considerablemente menores que en los ejemplos citados arriba. El contenido de magnesio y hierro en los tejidos de las plantas por ejemplo, es tan alto como el contenido de azufre y magnesio.

La concentración de micronutrientes es a menudo en exceso de sus requerimientos fisiológicos. Esto es frecuente en el caso del manganeso, demostrando que los contenidos de nutrientes en los órganos de las plantas (hojas, tallos, frutos y raíces) proveen escasa indicación de las cantidades necesarias de los nutrientes para cumplir sus procesos fisiológicos y bioquímicos. Las plantas aún contienen grandes concentraciones de elementos no esenciales algunos de los cuales pueden ser tóxicos (Aluminio, Níquel, Selenio y Flúor).

Considerando el medio de donde toman las plantas sus nutrientes, se puede mencionar tres tipos de nutrición: carbonada, hídrica y mineral.

2.1. Nutrición Carbonada (Fotosíntesis)

El proceso de nutrición carbonada consiste en la transformación del anhídrido carbónico (CO_2) que se encuentra en el aire, la acción directa de los rayos solares y el agua en carbohidratos (azúcares), generalmente con la liberación de oxígeno, proceso denominada fotosíntesis. Químicamente la fotosíntesis se puede explicar bajo la siguiente ecuación.

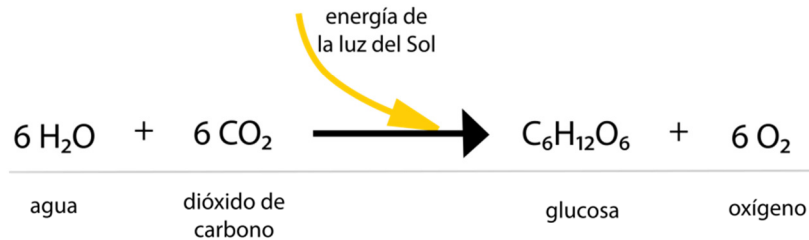


Gráfico 2: Ecuación de la Fotosíntesis.

La fotosíntesis es el proceso metabólico por el que las plantas verdes convierten sustancias inorgánicas (dióxido de carbono y agua) en sustancias orgánicas (hidratos de carbono) desprendiendo oxígeno, y lo hacen aprovechando la energía de la luz solar. Además, es el principal proceso de nutrición de las plantas y de otros organismos dotados de clorofila.

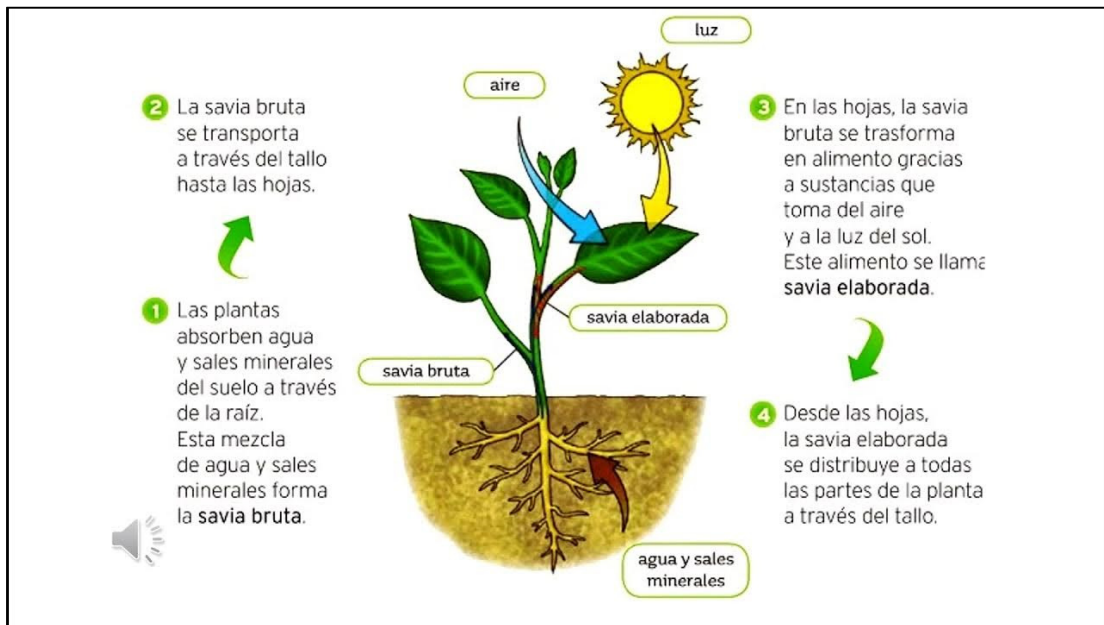


Figura 2: Proceso de fotosíntesis de las plantas

Es uno de los mecanismos bioquímicos más importantes del planeta, ya que implica la fabricación de nutrientes orgánicos que almacenan la energía lumínica del Sol en distintas moléculas útiles (carbohidratos). Por este motivo, su nombre proviene de las voces griegas foto, "luz", y synthesis, "composición".

Después, las moléculas orgánicas sintetizadas se pueden emplear como fuente de energía química para sostener procesos vitales, como la respiración celular y el metabolismo.

Para que se produzca la fotosíntesis de las plantas, es necesaria la presencia de clorofila, un pigmento sensible a la luz solar y que es aquel que les confiere a las plantas su característico color verde. Este pigmento se encuentra en los cloroplastos, estructuras celulares de diverso tamaño propias de las células vegetales.

2.2. Nutrición Hídrica

El proceso consiste en el suministro y/o nutrición del agua a las plantas; en este sentido, se necesita un suelo con buenas condiciones físicas para el almacenamiento del agua, ya sea a partir de las lluvias o por sistemas de riego. En consecuencia, es importante determinar y/o conocer exactamente los requerimientos del agua de las plantas del cultivo de la quinua en sus diferentes fases o etapas fenológicas, desde la siembra hasta la cosecha, la misma se describe en el siguiente gráfico.

15 días	70 días	120 días	180 días
↑	↑	↑	↑
Etapa sensible de establecimiento	Etapa tolerante vegetativo	Etapa sensible de floración y grano lechoso	Etapa tolerante de maduración y grano pastoso
Riego	No es necesario riego	Riego necesario con frecuencia de 5 a 8 días	No es necesario riego

Gráfico 2: Etapas de requerimiento de riego - quinua

2.3. Nutrición Mineral

Denominamos "nutrición mineral" de vegetales al proceso de la forma como las plantas obtienen y utilizan los nutrientes minerales en el medio donde viven. Esta área del estudio en la agricultura moderna es muy importante y determinante no solamente para obtener altos rendimientos, sino para la protección del medioambiente; es decir, alcanzar un equilibrio entre la maximización de los rendimientos de los vegetales como la quinua y el medio ambiente.

Un alto rendimiento de la producción de cualquier cultivo depende exclusivamente de una adecuada fertilización que contenga los nutrientes minerales necesarios más importantes. El rendimiento de la mayoría de los cultivos como la quinua se incrementa de manera lineal con la cantidad de fertilizantes que pueden absorber del medio donde se desarrollan.

La fertilización con nutrientes minerales, es el proceso más practicado en la producción de la quinua.

Lo más importante es que la mayoría de los elementos citados a parte del carbono, como el oxígeno y el hidrogeno se encuentran presente en el aire, los abonos orgánicos bien elaborados en la capa arable de los suelos.

Estos elementos minerales considerados como nutritivos para los vegetales son calificados como esenciales, porque:

- Su deficiencia hace imposible a las plantas completar su ciclo vegetativo y reproductivo. En consecuencia, es una de las primeras limitantes para alcanzar buenos rendimientos.
- La deficiencia es específica y solo se corrige aplicando este elemento. Generalmente esto ocurre con la deficiencia de los micronutrientes, que si no se la corrige afecta los rendimientos.
- El elemento está directamente implicado en el metabolismo de la planta. Si está relacionado con el metabolismo primario como la fotosíntesis, respiración, asimilación de nutrientes afecta directamente a la vida de las plantas.

Entre los principales minerales tenemos las siguientes:

Cuadro 1: Principales macro y micronutrientes

DIRECTO: Cuando forma parte de alguna molécula vital en el metabolismo de la planta	Macronutrientes	Nutrientes no minerales	90%	Carbono Oxígeno Hidrógeno
		Primarios	9%	Nitrógeno Fósforo Potasio
		Secundarios		Calcio Magnesio Azufre
INDIRECTO: Su deficiencia limita el ciclo vital de una planta, pero puede corregirse si se suministra el elemento	Micronutrientes		1%	Hierro Manganeso Zinc Boro Cobre Molibdeno

2.4. Función de los minerales

Las plantas utilizan los minerales y otros nutrientes para desarrollarse, mantenerse, producir frutos y semillas de manera adecuada. Cada mineral tiene una función específica, que a continuación detallamos:

2.4.1. Principales funciones del nitrógeno

El nitrógeno es unidad estructural básica de la vida vegetal. Las plantas lo absorben de la atmosfera en forma de CO₂. Mediante el proceso de la fotosíntesis, este elemento reacciona con el hidrogeno y el oxígeno para formar carbohidratos.

- El nitrógeno es el elemento más importante y fundamental en la nutrición de las plantas.
- Participa en la formación de la proteína y es el constituyente de cada uno de los aminoácidos que forma la proteína.
- El nitrógeno participa y estimula el crecimiento vegetativo del tallo y las hojas de las plantas.
- El nitrógeno junto con el magnesio forma parte del pigmento de la clorofila que proporciona el color verde a las plantas; además, es responsable del crecimiento de las hojas, como de la producción de los frutos y las semillas de manera adecuada.
- Además estimula la producción de proteínas en los frutos y granos y ayuda a que la planta utilice otros minerales nutrientes como fósforo y potasio.

2.4.2. Principales funciones del fósforo

El fósforo juega un papel vital en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADF) y de la ATF, son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta.

- La reacción química más importante en la naturaleza es la fotosíntesis. Esta reacción utiliza energía luminosa, en presencia de clorofila, para combinar el dióxido de carbono y el agua en azúcares simples.
- Es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas.
- Favorece y promueve el rápido crecimiento de las raíces, también en la maduración de los granos de la quinua, mejorando su calidad cuando ha sido suministrado adecuadamente.
- Tiene poca movilidad en el suelo y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades.

2.4.3. Principales funciones del potasio

El potasio mantiene el equilibrio iónico y el estatus hídrico dentro de la planta. Está involucrado en la producción y transporte de azúcares, activación enzimática, y síntesis de proteínas. El potasio también es necesario para la síntesis de pigmentos, sobre todo licopeno.

- Interviene en el equilibrio hídrico, turgencia celular, absorción y reducción de nitratos, es decir este mineral es muy importante para las épocas de sequía, porque regula la pérdida de agua.
- Favorece la resistencia a enfermedades, bajas temperaturas, salinidad, disminuye la transpiración.

- Los suelos sueltos tienen poca capacidad de retención de este mineral.
- Interviene en la estructuración del tejido de granos en la etapa de grano lechoso y pastoso.

2.4.4. Principales funciones del calcio

Es fundamental para la permeabilidad de la membrana y la absorción de elementos nutritivos. Forma parte de la estructura de las paredes y membranas de las células. Es responsable de mantener unidas las paredes celulares de las plantas en la forma de pectato de calcio.

- Este mineral proporciona la resistencia a los tejidos e interviene en el crecimiento de las raíces. Es un constituyente esencial del tallo y de las hojas.
- Es de gran importancia en la multiplicación y crecimiento celular de las células de las raíces.
- Regula la absorción del nitrógeno (sinergismo).
- El calcio tiene un papel importante en el suelo, permite tener y mantener en el suelo una buena estructura y un pH correcto, una buena y abundante fertilización permite obtener resultados satisfactorios.

2.4.5. Principales funciones del magnesio

Es muy móvil en la planta e importante para diferentes procesos del metabolismo de la planta. Es la base estructural de la molécula de clorofila y por ello, esencial en el proceso de la fotosíntesis y la fijación de CO₂ como coenzima.

- Constituyente esencial de la clorofila, por lo que es indispensable para la fotosíntesis.
- El magnesio junto al fósforo se encuentra principalmente en las partes de crecimiento de las plantas y en las semillas, a diferencia del calcio, el magnesio es más móvil y puede emplearse por segunda vez en las plantas.
- Las extracciones del magnesio del suelo son bajas y los abonos son suficientes para compensar las pérdidas por lixiviación, importante en suelos ligeros, o la eventual absorción en suelos ácidos

2.4.6. Principales funciones del azufre

Tiene funciones que sirven a la planta como sistema de defensa y detoxificación. El azufre es importante en la protección de las células, ya que evita la deshidratación por calor y sequía y también juega un papel en la protección de los daños de las células por frío.

- Participa en la síntesis de aminoácidos, unidades de todas las proteínas; además, en la síntesis de vitaminas.

- o El azufre es parte integral de dos aminoácidos la cisteína y metionina. Constituye parte importante de los puentes desulfuró, y por tanto de la conformación de la estructura de las proteínas.

3. DEFICIENCIA DE NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE LA QUINUA

La deficiencia de cualquiera de los elementos nutritivos en el cultivo de la quinoa, genera una serie de señales muy diferenciadas que se puede percibir a simple vista, que a continuación detallamos:

3.1. Deficiencia de Nitrógeno

La falta de nitrógeno significa una falta de contenido de clorofila en las plantas, y la clorofila da a la vegetación su vibrante color verde. Por ello, el principal síntoma de deficiencia de nitrógeno en las primeras etapas se manifiesta en verdes más claros.

La manifestación más clara de la deficiencia del nitrógeno, es cuando las plantas muestran un crecimiento muy retardado, lo más notable es que las plantas quedan enanas y/o pequeñas, con tallos cortos y delgados; además, se observa hojas de color amarillo en la parte inferior, hojas viejas, luego estas hojas se secan.



Figura 3: Deficiencia de nitrógeno

3.2. Deficiencia de Fósforo

La deficiencia de fósforo tiene a inhibir el crecimiento del tallo. Las hojas se tornan oscuras, de aspecto apagado, color azul-verdoso y pueden volverse pálidas en deficiencias severas. El color rojizo, o rojo-violeta se desarrolla a veces por la síntesis de antocianinas.

Las plantas muestran un crecimiento retardado con hojas de color azulado, morados, también este color se puede observar en los tallos. Las raíces tienen un desarrollo pobre; en cuanto al llenado de granos son también deficientes.



Figura 4: Deficiencia de fosforo

33. Deficiencia de Potasio

Plantas con deficiente crecimiento, hay un amarillamiento en los bordes y ápices de las hojas. Las plantas son susceptibles al encamado, no hay resistencia a situaciones de estrés como heladas y sequías, en cuanto a los frutos son muy pequeños.

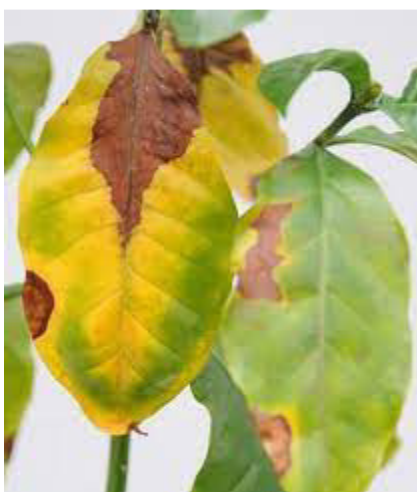


Figura 5: Deficiencia de potasio

3.4. Deficiencia de Magnesio

Hay amarillamiento en los espacios que no son venas de las hojas, llamada también amarillamiento de franjas, los bordes de las hojas son encartuchados y los tallos delgados.



Figura 6: Deficiencia de magnesio

3.5. Deficiencia de Azufre

Se puede observar un amarillamiento completo de la planta, incluso las hojas nuevas, el crecimiento se reduce, hay mejor número de glomérulos en la panoja; es decir, se observan espacios muy notables en la panoja.

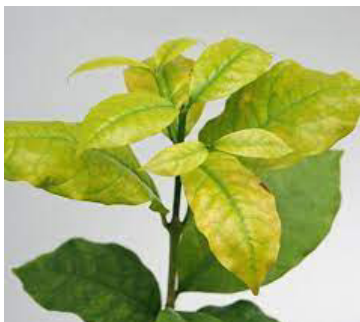


Figura 7: Deficiencia de azufre

3.6. Deficiencia de calcio

La hoja presenta curvaturas, hay defoliación prematura de hojas basales, las raíces no tienen buena formación. Se observan ramas pequeñas con hojas apretadas y deformada.



Figura 8: Deficiencia de calcio

4. ABONAMIENTO Y/O FERTILIZACIÓN ORGÁNICA DE SUELOS

La administración de abonos, denominado comúnmente como abonamiento o fertilización orgánica, se refiere al conjunto de prácticas planificadas para añadir y/o restituir de manera adecuada el abono o estiércol del ganado al suelo, la misma desarrollada de

manera organizada, con el fin de disponer para las plantas de manera eficiente y económica todos los nutrientes de los abonos orgánicos, como el estiércol.



Fotografía 1: Ganado camélido, fuente de abono orgánico en las parcelas de quinua (Comunidad Opoco)

El proceso implica necesariamente la toma de decisiones importantes en la unidad productiva familiar, el mismo considerado durante la etapa de planificación, entre los aspectos importantes a considerar tenemos:

La fertilización depende del manejo del estiércol si se deja por mucho tiempo expuesto a la intemperie (sol, lluvia, viento) se pierde entre el 65 al 75% de sus principales nutrientes.

- o Se debe tener muy clara la decisión de aplicar la dosis (cantidad) de fertilizante orgánico o estiércol a la parcela de cultivo, generalmente esta dosis debe ser establecido o formulado (calculado) en base a los resultados de un análisis de laboratorio de suelo. De esta decisión depende el éxito que se pretende alcanzar con los rendimientos de la quinua por unidad de superficie.
- o Otra decisión importante que se debe tener clara, es la fuente de nutrientes a ser utilizada; es decir, de donde obtenemos los principales nutrientes requeridos para fertilizar los suelos de cultivo. En nuestro caso, tomamos como fuente de nutrientes el estiércol de ganado (ovino, camélido o bovino). Pero es importante aclarar que el estiércol de cada especie no tiene el mismo contenido de nutrientes; es así, que el estiércol de ovinos no tiene el mismo contenido de nutrientes que el estiércol de llamas o el de bovinos. Por otro lado, el estiércol fresco no es lo mismo en contenido nutritivo que el estiércol de arios, difieren el contenido nutritivo por el tipo de alimento que han recibido y/o pastado el ganado.
- o La forma de aplicación, es otra de las decisiones importantes durante el proceso de abonamiento; por ejemplo, se puede tomar la decisión de aplicar el estiércol de manera directa a la parcela sin previo tratamiento o puede tomarse la decisión de aplicar el estiércol, una mitad de manera directa y la otra tratada en forma de compost o también se puede tomar la decisión de aplicar en su totalidad el

estiércol transformado en compost. Esta forma de aplicación depende del rendimiento que se pretende alcanzar.

- o La época de aplicación del estiércol o compost a la parcela de cultivo, es otro de los aspectos de decisión de suma importancia. Considerando el tipo de explotación, se puede tomar la decisión de aplicar el estiércol o el compost de manera directa durante la época de barbecho o también se puede decidir aplicar una mitad durante la época de barbecho y la otra mitad durante la siembra o finalmente aplicar totalmente durante la siembra.

En palabras simples, el abonamiento o fertilización es la práctica destinada a la reposición de los elementos nutritivos extraídos por el cultivo de la quinua durante los años de producción, a través de la aplicación de bono orgánicos (estiércol de ganado) a los suelos de cultivo, con el fin de mejorar su fertilidad, de esta manera dejar los principales nutrientes a disponibilidad de las plantas de quinua, a fin de que ellas puedan producir cerca de su potencial productivo.

En las zonas productoras de quinua del altiplano sur, centro y norte del país, durante décadas se ha extraído de los campos de cultivo toneladas de quinua para la venta en los mercados locales y al exterior; lo más grave es que no se ha logrado restituir todos los principales elementos nutritivos extraídos de estos suelos, lo que actualmente se traduce en bajos rendimientos de quinua por unidad de superficie.

5. ABONOS ORGANICOS - EL ESTIERCOL.

Se denomina abonos orgánicos a todo material, elemento o sustancia de origen animal (estiércol), vegetal o una mezcla de ambos, generalmente destinados para incorporar a los suelos cultivables, con la finalidad de mejorar su fertilidad, principalmente para restituir las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Es importante aclarar, que existen innumerables ventajas del uso de abonos orgánicos en los cultivos, entre los más importante tenemos: mejora las características de los suelos, otorgándole mayor capacidad para la retención del agua, provee los principales elementos nutritivos necesarios; además, favorece el crecimiento de la micro flora y fauna de los suelos, lo que es otra base importante para el crecimiento armónico de las plantas.

Mejora las propiedades físicas del suelo, como la mayor capacidad de retención de humedad		Favorece el desarrollo de los microorganismos del suelo
	Provee los principales nutrientes, necesarios para el desarrollo de las plantas	

Figura 9: Ventajas del uso de abonos orgánicos - estiércol

Los abonos orgánicos más importantes para el cultivo, provienen de residuos orgánicos, como el estiércol de diferentes especies de animales, los biosólidos, los residuos de las cosechas y las compostas que pueden considerarse como abonos o también como fertilizantes orgánicos.

La incorporación de abonos orgánicos a los suelos cierra un ciclo de la naturaleza, ya que se devuelve al suelo gran parte de lo que se extraído de él.

El abonado orgánico constituye una de las técnicas tradicionales más eficientes para mejorar los cultivos, por ello los agricultores lo emplean desde tiempos inmemoriales hasta la fecha.

Los fertilizantes orgánicos, transformados en compost presentan algunas ventajas que a continuación se detalla:

- Permiten aprovechar todos los residuos orgánicos tanto de vegetales (hojas, tallos, brosa, residuos de cosecha, etc.) como de animales (heces, orina, etc.), cuando estos son acopiados y tratados adecuada y oportunamente.
- Permiten recuperan la materia orgánica del suelo y la fijación del carbono en el suelo, así como la mejora de su capacidad de absorción del agua, pues permite mejorar su estructura física.
- Los bonos orgánicos requieren menos recursos para su elaboración, generalmente se producen en la unidad productiva familiar y están disponibles con relativa facilidad, sin incurrir en costos adicionales.

También presentan algunas desventajas:

- Si no han sido manipulados, conservados o tratados adecuadamente pueden constituirse en una fuente importante de contaminación de patógenos o de malezas.

Puede que no se logre alcanzar una adecuada sincronización entre la liberación de nutrientes y el momento exacto de necesidad de la planta, debido a que se requiere de complejos procesos de mineralización, que dependen del ambiente donde se elabora el compost, principalmente la temperatura y la humedad.

5.1. Pérdida de Nutrientes de Abonos Orgánicos (Estiércol)

Uno de los abonos orgánicos más importantes utilizados para el cultivo de la quinua es el estiércol de ganado (ovino, camélido, etc.). Generalmente adicionado al suelo de manera directa sin considerar algunos aspectos cruciales de manejo o de tratamiento previo a la aplicación al suelo, con el imaginario de que todos los elementos de estiércol se añaden al suelo al momento de adicionar el estiércol. Sin embargo, no todos los principales elementos nutritivos como el nitrógeno, fósforo y potasio del estiércol, están disponible para las plantas al momento de adicionar el estiércol.

Según estudios, en la realidad la gran mayoría de los elementos nutritivos más o menos entre el 65 al 75 % se pierde (en el aire por volatilización como amoniaco durante el almacenamiento o al momento de aplicar en el campo y en el agua como nitratos por lixiviación si no es utilizado por las plantas).



Figura 10: La forma más adecuada del manejo del estiércol

Los elementos nutritivos están disponibles una vez que el estiércol ha sido agregado al suelo o se ha elaborado compost, donde ha sufrido un proceso de descomposición y mineralización, hasta que el nitrógeno este en forma inorgánica (amonio o nitratos), elementos aptos para ser utilizados por las plantas, sin embargo, la mayoría del nitrógeno del estiércol se incorpora y se mezcla con la materia orgánica del suelo (en forma de nitrógeno bacteriano). En esta fase ocurre algo interesante que las bacterias del suelo compiten con las plantas actúa como una reserva a largo plazo.

La finalidad del compost es transformar el nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico, elemento disponible para la absorción de la raíces de las plantas.

5.2. Descomposición del Estiércol

La descomposición del estiércol se inicia inmediatamente se entierra en el suelo, por la acción de los microorganismos, principalmente hongos, levaduras, y sobre todo bacterias, sin olvidar gusanos y otros animales. Estos microorganismos humificadores transforman la materia orgánica en productos cada vez más sencillos. En este proceso de transformación se produce la descomposición que sería la ruptura de la materia orgánica a cargo de bacterias y hongos, para cambiar la apariencia de la estructura química y física de la materia orgánica y la mineralización la conversión de un elemento de un estado orgánico a un estado inorgánico, a través de la acción microorganismos.

De manera más sencilla, la descomposición es la alimentación de los suelos con materia orgánica para que los microorganismos allí presentes puedan asimilar esta materia orgánica y el mineral incorporado y al mismo tiempo transformar los nutriente en forma más asimilable, para que las raíces de las plantas puedan absorberlas, para generar su desarrollo y fructificación. La incorporación de materia orgánica puede ser de origen vegetal o animal como el estiércol, residuos de cosechas, humus, cenizas, compost, etc.

La calidad de compost depende de un buen manejo de la humedad y la temperatura.

6. ASPECTOS RELEVANTES DE LA RELACIÓN NITRÓGENO Y HUMEDAD DEL SUELO

Es importante destacar algunos trabajos de investigación desarrollado para el aprovechamiento del nitrógeno con relación a la disponibilidad de humedad del suelo:

- A pesar de que la aplicación de riego no es rutinaria en el cultivo de la quinua, diversas investigaciones han demostrado recientemente la importancia de aplicar

riego suplementario y complementario, en etapas claves y sensibles del cultivo, específicamente durante la germinación y la floración.

- El año 2003 en una investigación específica con quinua, De Latorre Herrera en Chile alcanzaron rendimientos de hasta 5000 kg/ha, cuando lograron una combinación adecuada entre la fertilización nitrogenada con riego por goteo.



Figura 11: Rendimiento optima de quinua con riego y fertilización

- Otro trabajo de investigación desarrollado el año 2008 por Geerts et al., en el Altiplano Central, concluyen que la aplicación de diferentes dosis, de nitrógeno, hasta 10 Tn/ha, no produjo ninguna diferencia en el rendimiento cuando el cultivo se desarrolló principalmente a secano.
- En un experimento en condiciones controladas el año 2013, se demostró que al aplicar un nivel alto de abono (30 Tn/ha) con reducida cantidad de agua en el suelo (30% CC), la actividad de microorganismo como el de la mineralización del nitrógeno fue menor que el nivel menor de abono (10 Tn/ha), pero con mayor disponibilidad de agua (50% CC).

Lo contrario significa, en muchos casos, una pérdida de recursos valiosos ya sea en mano de obra y dinero, el uso de abono que no producirá los resultados esperados, se perderá el nitrógeno en la atmósfera por volatilización o, en el mejor de los casos, se mantendrá en el suelo para el uso del cultivo de la siguiente gestión agrícola.



Figura 12: Diferencia de dos parcelas de quinua, con y sin riego

- Por otro lado, bajo los mismos niveles de abonamiento señalados, la aplicación de una lámina de riego de 60 mm en la etapa de floración y grano lechoso, incremento el rendimiento en un 45 % con respecto al tratamiento al que no se aplicó riego suplementario confirmando los resultados antes encontrados. El rendimiento de quinua respondió mejor a la aplicación de 15 Ton/ha. de estiércol bajo riego deficitario, alcanzando un rendimiento de 1500 kg de grano/ha. y no existió diferencia con la aplicación de 30 Ton/ha. de estiércol. Las diferentes condiciones de manejo, no incidieron en el porcentaje de nitrógeno acumulado en el grano que se encontró entre 1.7 a 1.8%.

Estos experimentos nos demuestran que para alcanzar altos rendimientos de quinua es imprescindible garantizar el agua en la etapa de implantación como de la floración.

De los trabajos de investigación descrito podemos deducir que, para una buena productividad de quinua relacionada con la eficiencia del uso del nitrógeno del estiércol u otro abono orgánico, se hace necesario contar con suficiente humedad en el suelo y una temperatura adecuada, como se muestra en la siguiente gráfica.

Este requerimiento del agua de riego es crítico considerando la reducida precipitación durante el periodo de siembra y la elevada probabilidad de enfrentar periodos secos en aquellas etapas cercanas a la floración. Adicionalmente bajo las condiciones futuras previstas de la zona productora de quinua, esta probabilidad podría incrementarse, razón lo que se intensifica aún más la necesidad de optimizar el uso de agua combinada con una adecuada provisión de nutrientes; pues en el futuro, la inadecuada provisión de uno de estos factores reducirá fuertemente la eficiencia del otro, provocando un malgasto de recursos escasos.

Por tanto, el manejo del suelo deberá tomar en cuenta el manejo de los fertilizantes orgánicos y del agua en el suelo, por lo cual es importante planificar la aplicación de riego, especialmente en el Altiplano Sur pues son las áreas de máxima producción de quinua y donde la probabilidad de enfrentar periodos sin lluvia durante los periodos más sensibles a la falta de agua por parte de la quinua, son elevadas. Esto debe ir combinado con un adecuado cronograma de aplicación de estiércol en función de sus tasas y tiempos de mineralización.



Figura 13: Cultivo de quinua con sistema de riego por goteo

La máxima eficiencia técnica de la producción de quinua se alcanzará incorporando una dosis adecuada de estiércol y complementada necesariamente con agua de riego, garantizando de esta manera la germinación, el desarrollo y los periodos de floración de las plantas de quinua.

7. PROCESO PARA DESARROLLAR UN PLAN DE FERTILIZACIÓN Y/O ABONAMIENTO

Para desarrollar un eficiente plan de fertilización o abonamiento y administrar adecuadamente la fertilidad de los suelos, se hace necesario contar con información referida a la calidad de los suelos y las exigencias del cultivo. Por tanto, es importante y necesario diseñar un programa de abonamiento de suelos, en el marco de una serie de procedimientos, los mismos se detallan a continuación:

7.1. Muestreo de Suelos

El muestreo de suelos, es la primera y la principal etapa de un plan de evaluación de la fertilidad del suelo, en base a las características físicas y químicas del suelo establecido se definen la dosis de abonamiento orgánico. Sin embargo, para alcanzar resultados productivos satisfactorios siempre se debe considerar dentro del plan que existe suficiente cantidad de agua en el suelo para asegurar el flujo de nutrientes hacia la planta.

7.2. Consideraciones Generales Previo al Muestreo de Suelo.

La fertilidad del suelo varia de un lugar a otro (variable en el espacio), puede ser de una cuenca o una subcuenca a otro, además varia con los arlos que se viene cultivando el mismo suelo (en el tiempo), por lo que se hace necesario previo a la toma de muestra, realizar una serie de observaciones y reunir toda la información necesaria acerca de la parcela, sitio o lugar que se quiere implantar el cultivo con el fin de aplicar un programa de fertilización específico. Es importante considerar algunos aspectos, previo a la toma de muestra, entre los más importantes:

7.2.1. Reconocimiento del Terreno.

Para desarrollar un buen plan de fertilización es preciso delimitar la parcela, la subcuenca o la cuenca que se pretende muestrear, esto con el fin de establecer un área homogénea (unidades de muestreo) con características físicas, topográficas y de manejo similares. Es aconsejable separar las áreas o zonas que podrían interferir el muestreo de suelos, como: arroyos, bordes, serranías, lomas, postes, caminos, etc. Además, es importante que las zonas rocosas o suelos con manchas de diferente color, poco representativas, áreas desiguales no se consideren en la toma de muestras, porque podrían afectar en los resultados de análisis de laboratorio.

7.2.2 Elaborar un Plano o un Croquis

Para evitar errores y/o equivocaciones en la toma de muestras de suelo, es preciso definir o establecer áreas o subáreas en el que se dividirá la parcela o el terreno a muestrearse, mejor si es con medidas o referencias precisas como planos o un croquis (si es posible, incluir las coordenadas satelitales de referencia).

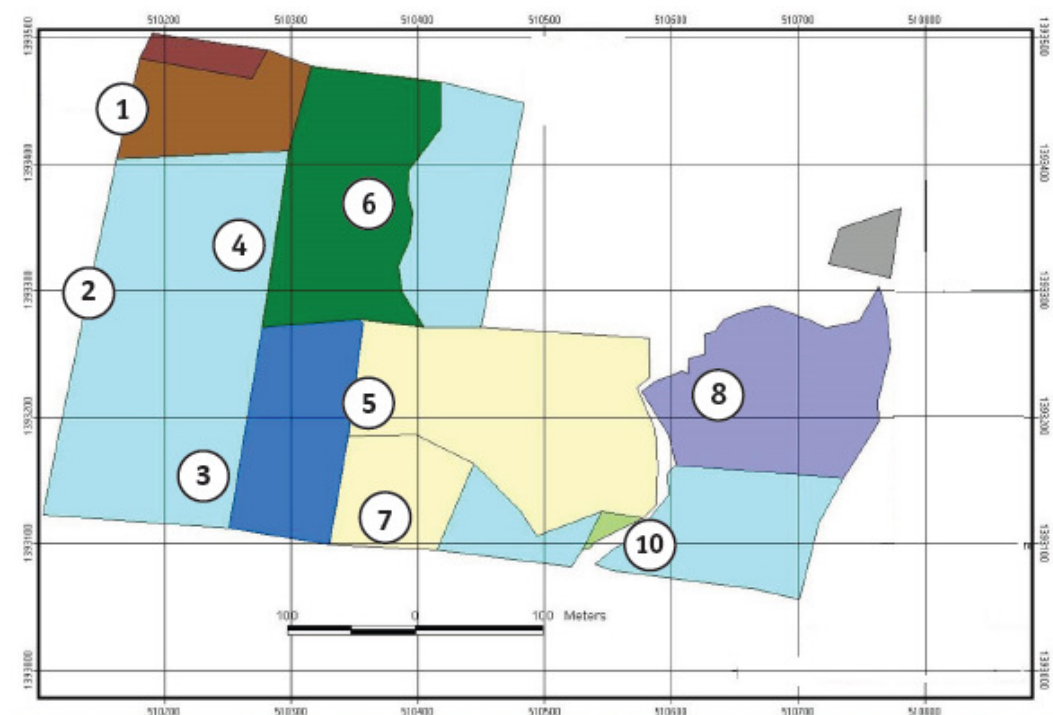


Figura 14: Croquis para el muestreo de suelos

7.2.3. Definir el Método de Muestreo y el Plan de Fertilización

Para definir el método de muestreo y el plan de fertilización es necesario la recopilación y ordenamiento de cierta información del área o la parcela, teniendo en mente el programa de fertilización, el tipo de manejo de cultivo y el área donde se pretende practicar. Con este fin y para mejorar la toma de decisiones, es necesario y útil registrar una serie de datos que nos ayuden a desarrollar un seguimiento a los cambios que ocurrirán en la parcela o el área, como:

- Rendimiento de la quinua, que la misma debe ser muestreada por sectores o áreas muy homogéneas; además, debe repetirse en cada ciclo agrícola, esto con el fin de identificar las áreas donde requieren mayor materia orgánica.
- Resultados de análisis de suelo, siendo aconsejable realiza este análisis periódicamente entre dos o tres años por sectores o áreas homogéneas, si se quiere tener mayor precisión y obtener altos rendimientos de quinua es aconsejable anualmente por campaña agrícola. También puede ayudar un registro de los resultados de análisis de la masa foliar, particularmente en las etapas críticas del cultivo, así también el análisis de agua de riego en caso necesario.
- Aplicación de fertilizantes o abonos orgánicos, como también las labores de manejo de los abonos y suelos que se realicen (lugar, fecha y material aplicado, etc.).
- Los puntos de muestreo, estos deben contar con referencia física en la parcela para poder localizarlos (preferiblemente con geo referencias).

7.2.4. Diseño del Muestreo de Suelos

Hay diferentes técnicas o métodos para tomar una muestra representativa del área de interés, pero en cualquiera de ellas, debe considerarse la importancia de la homogeneidad de la(s) muestra(s) que se tomara(n) para enviar al laboratorio para su análisis. De manera general, las muestras pueden tomarse:

- a) Al azar,
- b) Muestreo de áreas de referencia,
- c) Muestreo sistemático, por medio de un diseño en cuadrícula o
- d) Muestreo dirigido.

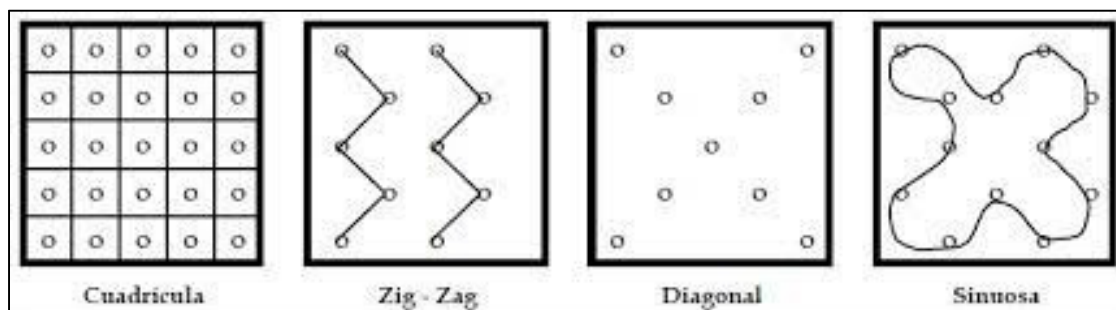


Figura 15: Técnicas y métodos de muestreo de suelos

En el caso de los suelos para la producción de quinua considerando que son homogéneos las subcuencas es aconsejable utilizar el patrón de muestreo al azar, que consiste en tomar submuestras en toda el área de la parcela (s) o la subcuenca, mezclarlas muy bien, cuartearlas y tomar una muestra de aproximadamente 1 kg de suelo para su análisis en laboratorio. Para realizarlo, se toman submuestras que pueden variar entre 5 a 8, descartando siempre áreas atípicas; en muchas oportunidades se planifica seguir un camino en zigzag.

Una variación de esta práctica, se puede planificar un muestreo al azar estratificado, considerando un croquis y una división por áreas realizada con anterioridad, lo más importante es que se tome en cuenta las características físicas del terreno, topografía, color y otras unidades de muestreo. De cada división se obtiene una muestra compuesta de submuestras tomadas al azar, de la misma manera que se explicó anteriormente. Este procedimiento incrementa la precisión, sin subir demasiado el costo.

7.2.5. Toma de Muestras

De una manera sencilla muestreo de suelo podemos definir al acto o la acción de tomar un puñado de tierra (dependiendo del fin) del lugar y la profundidad (para la quinua 15 a 20 cm.) de donde se quiere analizar y determinar su fertilidad o su contenido de nutrientes u otros elementos que hacen a la fertilidad del suelo, variando este proceso, por el tipo de cultivo que se quiere implantar. Para el cultivo de la quinua, la toma de la muestra de suelo varía en cuanto a profundidad como el área donde se pretende implantar la producción de quinua.

Un aspecto fundamental es que las muestras sean representativas del área que quiere analizarse, ya que la exactitud (similitud del valor obtenido con el valor real) y la precisión (reproducibilidad) de los resultados obtenidos del análisis, dependen en gran medida de la homogeneidad y representatividad de la muestra analizada. El cliente lleva al laboratorio para analizar una cantidad entre 500 a 1000 g de suelo que representa a una hectárea o algo más de tierra. En cambio, el laboratorio utiliza entre 0,5 g a 10 g aproximadamente de esa muestra para realizar los análisis requeridos correspondiente; de ahí la importancia de obtener una buena muestra del suelo para el diagnóstico de fertilidad.

7.2.6. Época, Frecuencia y Profundidad de las Muestras.

El análisis físico - químico de los suelos se debe realizar entre uno o dos años, con suficiente antelación para poder definir las medidas de manejo del cultivo. Se recomienda unos dos meses antes de la siembra o de cada fertilización. No se debe muestrear después de realizar una quema (en casos en que se practique), aplicar fertilizantes o encalar, ya que alteraría el resultado. Se aconseja muestrear cuando el suelo tiene un contenido de humedad equivalente a capacidad de campo (un día después de lluvia o riego intenso) para poder mezclar las submuestras y obtener una muestra homogénea. Conviene que las submuestras sean tomadas a una misma profundidad, para el caso de la quinua entre 10 a 20 cm.

7.2.7. Material y Equipo

Para desarrollar un buen muestreo de suelos, es preciso contar con una serie de materiales y equipos específicos, como:

- Un croquis del área o parcela de muestreo de suelos.
- Un barreno o pala muestreadora, o palín.
- Cuchillo con punta filoso para suelos arcillosos.
- Balde o bolsa plástica para la recolección de las sub muestras.
- Envases de plástico específico para empacar las muestras de suelo.
- Marcadores de tinta permanente o etiquetas de identificación.
- Una cámara fotográfica.



Figura 16: Material, equipo y accesorios para muestreo de suelos

Algo importante que debemos considerar, todos los equipos a utilizarse para el muestreo deben estar completamente limpios, deben evitarse que los materiales y equipos estén con restos de materia orgánica u otro contaminante químico y deben limpiarse las manos para tomar cada submuestra.

Si bien se indica una serie de materiales y equipos específicos; sin embargo, se puede utilizar otros materiales, siempre y cuando estén limpios y libres de contaminantes.

7.3. Recolección de Muestras de Suelo

- a) El lugar identificado para tomar las submuestras debe ser representativo y libre de restos vegetales, de abono u otro material extraño. Si se dudara por la existencia de algún otro material, el lugar elegido debe limpiarse superficialmente, pero sin eliminar el suelo.
- b) Utilizando una pala o un barreno se introduce verticalmente en el suelo para tomar una submuestra del mismo volumen como también de la misma profundidad.
- c) La profundidad para tomar una muestra varía para los diferentes cultivos, además con el plan de fertilización. En el caso de la quinua, por ser un cultivo anual, es aconsejable tomar muestras entre 10 a 20 cm., siendo lo más recomendable tomar muestras a 15 cm, porque a esta profundidad se encuentra la mayor cantidad de raíces.
- d) Considerando el área y la precisión del análisis, se deben tomar entre 5 a 8 submuestras, acopiando del mismo volumen de tierra y de la misma profundidad en una bolsa de plástico u balde.
- e) Todas las sub muestras de suelo tomadas deben vaciarse en una loma de plástico para posteriormente mezclarse, hasta lograr total uniformidad de la tierra. Si en la tierra muestreada existiera terrenos deben mullirse totalmente y las piedras, raíces u otros materiales extraños retirarse.



Figura 17: Cuarteo muestreo de suelos

- f) La muestra de suelo envasada debe ser identificada inmediatamente, considerando en la etiqueta la siguiente información, también se puede utilizar un marcador indeleble para registrar los datos en el mismo envase.

Código de la muestra: _____
Nombre del propietario: _____
Nombre la Finca: _____
Uso del suelo: _____
Fecha del muestreo: _____
Profundidad de muestreo: _____
Ubicación de la muestra en la parcela o paisaje: _____

Figura 18: Datos de una etiqueta

8. ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS EN LABORATORIO

8.1. Análisis Físico de Suelos

Los parámetros que se deben determinar en el laboratorio de suelos para análisis físico son:

- Textura
- Estructura
- Densidad Aparente (Da)
- Capacidad de Campo (CC)
- Punto de Marchitez Permanente (PMP)

8.2. Análisis Químico de Muestras de Suelo

Los parámetros que se deben determinar en el laboratorio de suelos para análisis químico son:

- pH
- Conductividad Eléctrica (CE)
- Materia Orgánica (M.O.)
- Nitrógeno Total (N)
- Fosforo Disponible (P)
- Cationes Intercambiables
 - Calcio
 - Magnesio
 - Sodio
 - Potasio
- Aniones
 - Carbonatos
 - Bicarbonatos
 - Cloruros
 - Sulfatos
- Boro

Los resultados del Laboratorio de suelos deben ser interpretados por el Edafólogo.

9. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

La interpretación de los resultados del análisis de suelos en laboratorio, se desarrolla inevitablemente utilizando tablas de fertilidad que contienen los valores de referencia de los nutrientes, bajo el concepto del nivel crítico de nutrientes. El diseño de estas tablas fue construido con información derivada de investigaciones desarrollada en invernadero y campo con calibración y correlación de análisis de suelos, y con experiencias acumuladas por laboratorios y especialistas en el tema. Estas tablas usualmente clasifican los contenidos de nutrientes en varias categorías: bajo o deficiente, medio o suficiente, óptimo o adecuado, y alto o excesivo, según el análisis de información requerida.

9.2. Profundidad del Suelo

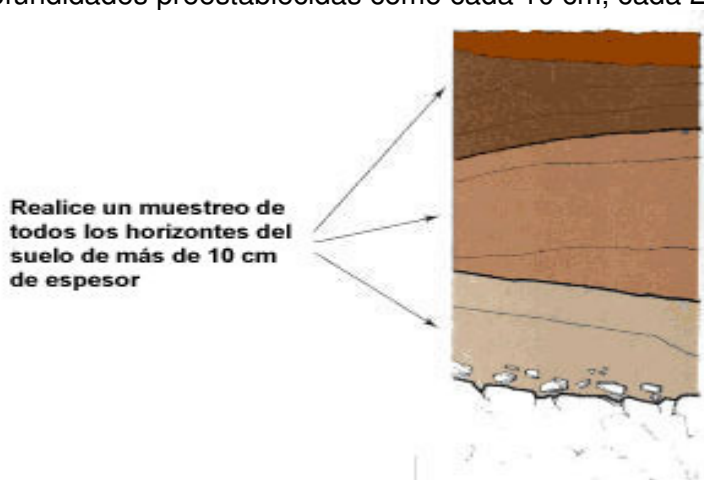
Es importante determinar la profundidad del suelo para el cultivo de la quinua, debido a que la profundidad de los suelos determina la penetración de las raíces de la planta; en consecuencia, uno de los factores que determina el rendimiento de la quinua. Los suelos muy favorables para la producción de los cultivos son aquellos suelos profundos, de buen drenaje y con estructura y adecuada.

Cuadro 2: Profundidad de los suelos

Profundidad (cm)	Clases
<15	Efímero
15-25	Muy superficial
25 - 50	Superficial
50 — 100	Moderada
100 — 150	Profunda
>150	Muy profunda

En la zona productora de quinua si bien la profundidad de los suelos va de modera a profundo en su mayor parte, algunos superficiales, lo que sucede es que, con el uso del arado de disco durante años, se ha formado una capa dura llamado “pie de arado” ente los 25 a 30 cm., que dificulta el enraizamiento. Está capa dura, hace que los suelos sean muy superficiales y efímeros, uno de los primeros problemas que debemos resolver.

Cuando el propósito del muestreo sea con fines estrictamente académicos el muestreo puede fijarse a profundidades preestablecidas como cada 10 cm, cada 20 cm, etc.



Una de las primeras medidas si existiera “el pie de arado”, es romper esta capa dura utilizando para esta faena arados subsoladora de cincel que tenga una profundidad mayor a 25 cm., posteriormente adicionar materia orgánica en esta capa profunda del suelo.



Figura 19: Arado subsolador.

Con esta práctica se facilita el enraizamiento de las plantas de quinua, buena aireación, se mejora la microflora y fauna del suelo, una mayor disposición de materia orgánica; en consecuencia, mayor disponibilidad de nutrientes para la producción de los cultivos, etc.

9.2. Textura del Suelo

La textura del suelo indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

En función de su tamaño, podemos distinguir entre suelos pedregosos (compuestos de fragmentos rocosos), arenosos (partículas de arena), limosos (predomina el lodo) y arcillosos (destaca principalmente la arcilla).

La textura del suelo es una propiedad que influye en la velocidad de infiltración del agua en el mismo (permeabilidad). Los suelos se clasifican en distintas clases texturales. Estas clases texturales dependen de la cantidad de Arena, Limo y Arcilla del suelo.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos definió doce clasificaciones principales de la textura del suelo: arenoso, arenoso-franco, franco-arenoso, franco, franco-limoso, limoso, franco-arcillo-arenoso, franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso, arcillo-arenoso, arcillo-limoso y arcilloso.

Cuadro 3: Textura, densidad aparente y porosidad típica de los suelos

Textura	Densidad aparente (Mg/m ³)	Porosidad (%)
Arenosa	1,65 (1,55 - 1,80)*	38 (32 - 42)
Franca	1,40 (1,35 - 1,50)	47 (43 - 49)
Franco arcillosa	1,35 (1,30 - 1,40)	49 (47 - 51)
Arcillosa	1,25 (1,20 - 1,30)	53 (51 - 55)

*Valores entre paréntesis corresponden al rango

Los suelos del altiplano sur, principalmente los suelos productivos de las parcelas de investigación de las comunidades de Oruro, Potosí y La Paz, según el análisis de laboratorio nos presenta una densidad aparente que van entre 1,4 a 1.5 g/cm³, que corresponde a suelos de textura franco a franco arenoso.

Los suelos francos a franco arenoso, presenta algunas características muy importantes como ventaja y desventaja, que se detalle en el siguiente cuadro.

Cuadro 4: Textura del suelo; ventajas y desventajas en la producción

Propiedades	Textura del Suelo			
	Arcilloso	Limoso	Arenoso	Franco
Infiltración de agua	Baja	Baja	Alta	Media
Aireación	Baja	Baja	Alta	Media
Retención de Agua	Alta	Media	Baja	Media - Alta
Erosión	Alta	Alta	Media - Baja	Media
Retención de nutrientes	Alta	Media - Baja	Baja	Media - Alta
Mineralización de la materia Orgánica	Baja	Baja	Alta	Media
Facilidad para formar buena estructura	Alta	Baja	Media - Baja	Media - Alta

9.2.1. Análisis de la Textura de los Suelos Visual y Sensorial

El análisis de la textura es el conjunto de acciones para determinar las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presenta un suelo. Existen diversas técnicas para determinación de texturas. En laboratorio la más común es por volumen de sedimentación y otros. A través de estos análisis los suelos pueden clasificarse como arenoso, franco arcilloso, franco limoso, etc.

El objetivo del análisis textura! es proporcionar a los productores una serie de criterios y una metodología para estimar de manera práctica la textura de un suelo sin necesidad de utilizar instrumentos de laboratorio ni técnicas complicadas, para que, con un poco de práctica, puedan determinar de manera adecuada la textura a través de percepciones organolépticas, principalmente a través del "tacto" y la "vista", bajo el siguiente guía.

Cuadro 5: Deter minación de la textura con el tacto y la vista

Textura	Apariencia y Sensación	
	Suelo Seco	Suelo Húmedo
1. Arenosa	Suelta granos simples que se sienten ásperos al tacto. Cuando se aprieta el suelo entre los dedos, la masa se desintegra.	No se puede formar una bola (se disgrega). No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. La sensación al tacto es muy áspera.
2. Franco arenosa	Al tacto es áspero, pero con la sensación de presencia de partículas más finas. Si se deja caer se dispersan partículas muy finas que las vuela la brisa o el viento.	Forma una bola que se disgrega cuando se toca. No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. Al tacto es áspero. Al secarse el suelo en los dedos se observa un color beige o blanquecino.
3. Franco	Los terrones pueden ser firmes. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto no es ni suave ni áspera que se torna arenosa a medida que se frota.	Forma una bola que puede ser manipulada suavemente sin que se desintegre. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Al tacto no se percibe ni suave ni áspero.
4. Franco limoso	Los terrones son de fumes a duros. Cuando el suelo es pulverizado, la sensación al tacto es suave similar al talco o la harina.	Forma una bola que puede ser manipulada sin que se rompa. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Cuando se frota entre el pulgar y el índice la sensación es suave.
5. Franco arcilloso	Agregados muy fumes y duros, resistentes a romperse con la mano. Cuando se pulveriza, el suelo presenta una sensación áspera al tacto, debido a los pequeños agregados que persisten.	Un molde de este suelo es muy maleable, se puede formar una cinta de hasta 5 cm de largo. Cuando se frota entre el pulgar y el índice, forma una cinta que no se siente ni suave ni áspero.
6. Arcilloso	Los bloques de consistencia dura, muy resistentes para romper con la mano. Cuando se pulverizan se perciben muy suaves.	Un molde de este material resiste considerablemente la manipulación. Se pueden formar cintas flexibles de más de 5 cm de largo sin romperse. Cuando se frota el índice la sensación es muy suave al tacto.

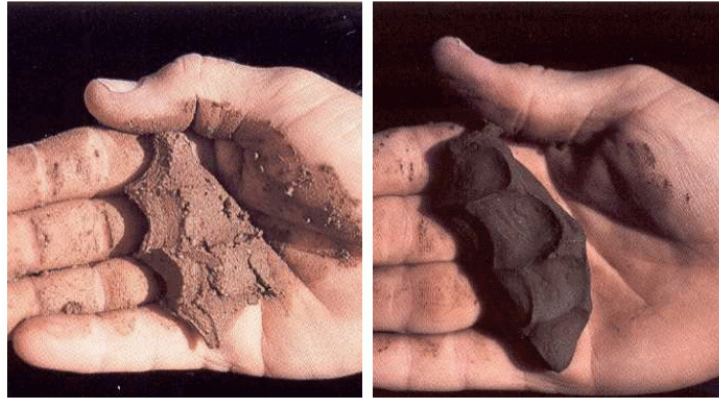
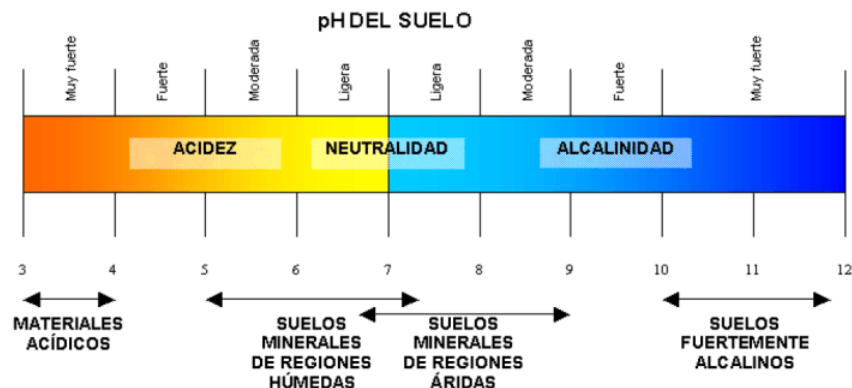


Figura 20: Estimación de la clase de textura con la mano

Los suelos francos a franco arenoso son los suelos más aptos para la producción de la quinua como los suelos de Salinas, Opoco, Playa Verde.

9.3. Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrógeno se define como la disponibilidad de iones libres de hidrógeno presentes en el suelo, lo que determina el grado de acidez, alcalinidad de un suelo y va en una escala de 1 al 14, donde siete es la mitad y significa un pH neutro. Cuando el pH es neutro, el contenido de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos (OH^-). Cuando el pH está por abajo de siete, el suelo es ácido y, en la medida que el pH desciende, el suelo se va volviendo aún más ácido. Cuando el pH está por encima de siete, el suelo es alcalino o básico y se volverá más alcalino en la medida que el pH incrementa.



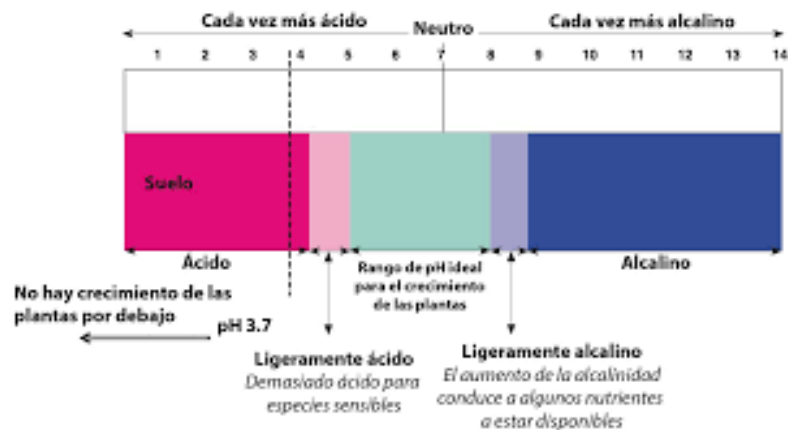


Figura 21: pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas

La importancia de la determinación del pH radica porque nos indica en el diagnóstico del suelo, el estado de la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, aunque existen ciertas especies de plantas cultivadas que tienen cierta diferencia del pH para desarrollarse mejor. De manera general, existe mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas en un pH del suelo que entre 6 y 7, como se muestra en la figura anterior.

En síntesis, el pH es el principal indicador sobre la disponibilidad de los principales nutrientes para las plantas, donde se incluye la solubilidad, movilidad y disponibilidad de otros constituyentes del suelo, como también de principal es contaminantes inorgánicos presentes.

9.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH) Ácido

Cuando el pH está por debajo de 5,5 los niveles de acidez son tan altos que los nutrientes como el calcio, magnesio, molibdeno y fósforo pueden que no estén tan disponible para las plantas, existiendo una deficiencia nutricional. Además, algunos nutrientes y otros elementos del suelo pueden volverse tóxicos para las plantas como el hierro aluminio y manganeso.

9.3.2. Potencial de Hidrógenos (pH) Alcalino o Básico

En la medida que el pH aumenta por encima de 7, el suelo se vuelve más alcalino, donde la disponibilidad de nutrientes como hierro, zinc, boro, manganeso y fósforo se reduce notablemente, limitando fuertemente el crecimiento de las plantas. El elemento nutritivo más afectado por la alcalinidad el suelo es el fósforo. Este elemento nutritivo es aprovechado mejor por las plantas cuando el rango de pH del suelo está entre 6 y 6,5. Por arriba y por debajo de este rango, gran parte del fósforo forma compuestos no absorbibles para las plantas.

Para lograr que las plantas cultivadas absorban algo de este nutriente; en consecuencia, mejoren los rendimientos, se tiene que hacer altas aplicaciones de fertilizantes fosforados. Muchos cultivos sembrados en suelos con un pH fuera de este rango carecen deficiencia de este elemento.

El cultivo de la quinua puede desarrollarse en el suelo con un pH que va entre 4-9, el problema que se presenta en este rango de pH, es que algunos elementos nutritivos no pueden ser absorbidos por las plantas.

9.4. Materia Orgánica

La materia orgánica son todos aquellos residuos de origen natural que pueden "echarse a perder". Algunos ejemplos son: cáscaras de fruta o verdura, restos de comida, cascarones de huevo, pan, tortillas, filtros para café, bolsitas de té, heces de animales, lácteos (sin recipiente), huesos, semillas, flores, pasto y hojarasca.

La materia orgánica es la que compone los cuerpos, sustancias y derivados de los seres vivos. Es decir, es aquella que está vinculada con la química de la vida. El elemento fundamental de la materia orgánica es el carbono, y químicamente está compuesta en torno a él.

Definimos materia orgánica al conjunto de materias o compuestos diversos (con base de carbono 60 % del total), principalmente de materia de origen animal (estiércol de diferentes animales, cascara de huevo, etc.) y vegetal (hojas, raíces, frutos, cascaras, etc.) en continuo estado de descomposición, proceso que puede variar, dependiendo del clima, el tipo de suelo, temperatura, humedad, etc. La materia orgánica cumple una función importante en la fertilidad de los suelos, los procesos ecológicos, la productividad de las plantas y la sobrevivencia humana.

Comparando los resultados del análisis de laboratorio de materia orgánica de suelos de las tres comunidades con los rangos establecidos, los tres resultados están en un rango menor a 2 de materia orgánica, lo que nos permite deducir que la mayoría de los suelos de estas tres comunidades presentan un contenido bajo de materia orgánica.

Esto quiere decir que estos suelos presentan una escasa fertilidad; en consecuencia, contribuye a bajos rendimientos de quinua por unidad de superficie, lo que nos permite afirmar que se requiere trabajar bastante para restituir primero la materia orgánica a estos suelos, con el fin de mejorar su fertilidad.

Al mejorar y mantener un suelo cultivable con un rango de materia orgánica que va entre 2 a 4 (medio a alto) se consiguen los siguientes beneficios:

- La materia orgánica contribuye a que las partículas individuales de arena limo y arcilla formen agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo.
- Favorece la formación de buena porosidad, mejorando el proceso de aireación del suelo, como la penetración del agua.
- La materia orgánica aumenta la capacidad de retención del agua en el suelo y disminuye los riesgos de erosión.
- Proporciona partículas de tamaño coloidal con carga negativa (humus), que tiene alta capacidad de retener e intercambiar cationes nutritivos; es decir, facilita la absorción de nutrientes.
- Actúa como agente amortiguador al disminuir la tendencia a un cambio brusco del pH del suelo, cuando se aplican sustancias de reacción ácida o alcalina.

- Hace posible la formación de complejos Órgano - metálicos, estabilizando así los micronutrientes en el suelo, que de otro modo no serían aprovechables.
- Es una fuente de elementos nutritivos, que son aprovechables por las plantas después de que la materia orgánica ha sido descompuesta por los microorganismos.

Es posible incrementar la materia orgánica del suelo mediante varias prácticas, tales como incorporación de rastrojos de algún cultivo, establecimiento de rotación de cultivos que consideren leguminosas, abonos verdes, cubiertas vegetales, fabricación y aplicación de compost, entre otros.

9.5. Conductividad Eléctrica.

El cultivo de la quinua y de manera general cualquier otro cultivo, esta condicionado por muchos factores, bióticos (flora y fauna del suelo) como abióticos, aquellas que no tienen vida como son las propiedades fisicoquímicas de los suelos y en esto se encuentran la conductividad eléctrica del suelo.

La conductividad eléctrica mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, aprovechando la propiedad de las sales que son buenos conductores de la electricidad; por lo tanto, la conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una elevada concentración de sales. Las unidades utilizadas para medir son el dS/m (decisiemens por metro). Esta medida es equivalente a la unidad utilizada con anterioridad: mmhos/cm.

Es importante determinar la conductividad eléctrica porque el contenido de sales presentes determina la "calidad y fertilidad" de un suelo agrícola. La calidad y fertilidad de los suelos se ven afectados porque la presencia de estas sales reduce el potencial osmótico (el movimiento del agua hacia las raíces) de la solución del suelo, reduciendo de esta manera al mismo tiempo la disponibilidad de agua para las plantas, a pesar de que el suelo muestre niveles razonables de humedad.

9.6. Determinación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio

Uno de los grandes problemas de los suelos del altiplano sur, orientado exclusivamente a la producción de quinua es el desconocimiento de los productores de los principales elementos nutritivos que contienen estos suelos, como: nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos menores.

Sin embargo, para desarrollar un buen plan de abonamiento y/o fertilización es preciso conocer las principales propiedades químicas de estos elementos nutritivos presentes en el suelo antes de aplicar cualquier tipo de abono.

Esta información necesaria se ha obtenido de los análisis de laboratorio de suelos y sus resultados, discutidos en párrafos anteriores. Estos resultados nos permitirán conocer la presencia en cantidades los principales elementos nutritivos en el suelo, para que posteriormente determinemos la dosis de abono y/o fertilizante a aplicarse de manera adecuada, conociendo cuanto de nutrientes se provee al suelo donde se trabaja.

9.7. Sistematización de los Resultados de Laboratorio.

Para los análisis físico-químicos básicos las muestras de suelos de las seis parcelas de investigación del Centro internacional de la Quinua, fueron enviadas a los laboratorios de la Facultad de Agronomía de la UTO.

Mientras que para estudiar la variación de la materia orgánica (N, P y K), cationes y aniones mayores, las muestras conservadas se enviaron al laboratorio LIMASOL.

La reacción de los suelos estudiados es de neutro a moderadamente alcalina (menor a 8,8), lo que incide de gran manera en la disminución de la disponibilidad de nutrientes como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Nitrógeno (N). Son suelos sin problemas de acumulación de sales por lo que son considerados como no salinos, ya que su Conductividad Eléctrica (CE) es menor a 471 $\mu\text{S/cm}$. Esto debido a que como son suelos de textura gruesa con alta permeabilidad y ubicados en piedemonte, no acumulan sales.

Cuadro 6: Características químicas de los suelos - San Pedro de Opoco

Parámetro	Unidades	Muestra-1	Interpretación
		659-1	
pH de pasta	-	6,90	Neutro
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	471,00	
Materia Orgánica	%	2,92	Medio
Calcio	meq/100g	3,84	
Magnesio	meq/100g	1,35	
Sodio	meq/100g	0,64	
Potasio	meq/100g	0,70	Alto
Nitrógeno Total	%	0,13	Medio
Fosforo Disponible	mg/kg	54,14	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	244,00	
Carbonatos	mg/kg	60,00	
Cloruros	mg/kg	146,40	
Sulfatos	mg/kg	7,67	
Sodio Soluble		10,92	
Índice magnesio		26,02	
Salinidad Efectiva		0,05	
Salinidad Potencial		6,79	

Fuente: Informe de Ensayo Físico N° 603, 2023

Cuadro 7: Características químicas de los suelos - Playa Verde

Parámetro	Unidades	Muestra-2	Interpretación
		659-2	
pH de pasta	-	8,80	Moderadamente alcalino
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	120,00	
Materia Orgánica	%	2,92	Medio
Calcio	meq/100g	14,28	
Magnesio	meq/100g	1,05	
Sodio	meq/100g	0,19	
Potasio	meq/100g	0,50	Optimo
Nitrógeno Total	%	0,13	Medio

Fosforo Disponible	mg/kg	48,92	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	122,00	
Carbonatos	mg/kg	<1	
Cloruros	mg/kg	43,00	
Sulfatos	mg/kg	<0,2	
Sodio Soluble		1,21	
Índice magnesio		6,88	
Salinidad Efectiva		0,02	
Salinidad Potencial		1,23	

Fuente: Informe de Ensayo Físico N° 603, 2023

Cuadro 8: Características químicas de los suelos - Ayamaya

Parámetro	Unidades	Muestra-3	Interpretación
		659-3	
pH de pasta	-	6,70	Neutro
Conductividad	μS/cm	125,00	
Materia Orgánica	%	2,16	Medio
Calcio	meq/100g	1,94	
Magnesio	meq/100g	1,34	
Sodio	meq/100g	0,41	
Potasio	meq/100g	0,50	Optimo
Nitrógeno Total	%	0,14	Medio
Fosforo Disponible	mg/kg	70,93	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	122,00	
Carbonatos	mg/kg	<1	
Cloruros	mg/kg	94,60	
Sulfatos	mg/kg	<0,2	
Sodio Soluble		11,14	
Índice magnesio		40,89	
Salinidad Efectiva		0,03	
Salinidad Potencial		2,67	

Fuente: Informe de Ensayo Físico N° 603, 2023

Cuadro 9: Características químicas de los suelos - Cañaviri

Parámetro	Unidades	Muestra-4	Interpretación
		659-4	
pH de pasta	-	6,30	Ligeramente acido
Conductividad	μS/cm	101,00	
Materia Orgánica	%	2,29	Medio
Calcio	meq/100g	2,95	
Magnesio	meq/100g	1,36	
Sodio	meq/100g	0,19	
Potasio	meq/100g	0,40	Medio
Nitrógeno Total	%	0,14	Medio
Fosforo Disponible	mg/kg	59,41	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	366,00	
Carbonatos	mg/kg	<1	
Cloruros	mg/kg	43,00	

Sulfatos	mg/kg	73,90	
Sodio Soluble		4,16	
Índice magnesio		31,64	
Salinidad Efectiva		0,02	
Salinidad Potencial		1,98	

Fuente: Informe de Ensayo Físico N° 603, 2023

Cuadro 10: Características químicas de los suelos - Salinas

Parámetro	Unidades	Muestra-5	Interpretación
		659-5	
pH de pasta	-	7,10	Neutro
Conductividad	μS/cm	76,00	
Materia Orgánica	%	2,40	Medio
Calcio	meq/100g	2,96	
Magnesio	meq/100g	0,84	
Sodio	meq/100g	0,02	
Potasio	meq/100g	0,20	Bajo
Nitrógeno Total	%	0,03	Extremadamente pobre
Fosforo Disponible	mg/kg	61,68	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	31,00	
Carbonatos	mg/kg	<1	
Cloruros	mg/kg	5,20	
Sulfatos	mg/kg	4,60	
Sodio Soluble		0,59	
Índice magnesio		22,12	
Salinidad Efectiva		0,01	
Salinidad Potencial		0,19	

Fuente: Informe de Ensayo Físico N° 603, 2023

Cuadro 11: Características químicas de los suelos – Sau Sau

Parámetro	Unidades	Muestra-6	Interpretación
		659-6	
pH de pasta	-	8,50	Moderadamente alcalino
Conductividad	μS/cm	340,00	
Materia Orgánica	%	1,80	Ligeramente bajo
Calcio	meq/100g	4,32	
Magnesio	meq/100g	1,27	
Sodio	meq/100g	0,05	
Potasio	meq/100g	0,20	Bajo
Nitrógeno Total	%	0,11	Medio
Fosforo Disponible	mg/kg	56,05	Medio
Bicarbonatos	mg/kg	24,00	
Carbonatos	mg/kg	<1	
Cloruros	mg/kg	12,10	
Sulfatos	mg/kg	9,60	
Sodio Soluble		0,93	
Índice magnesio		22,64	
Salinidad Efectiva		0,01	
Salinidad Potencial		0,44	

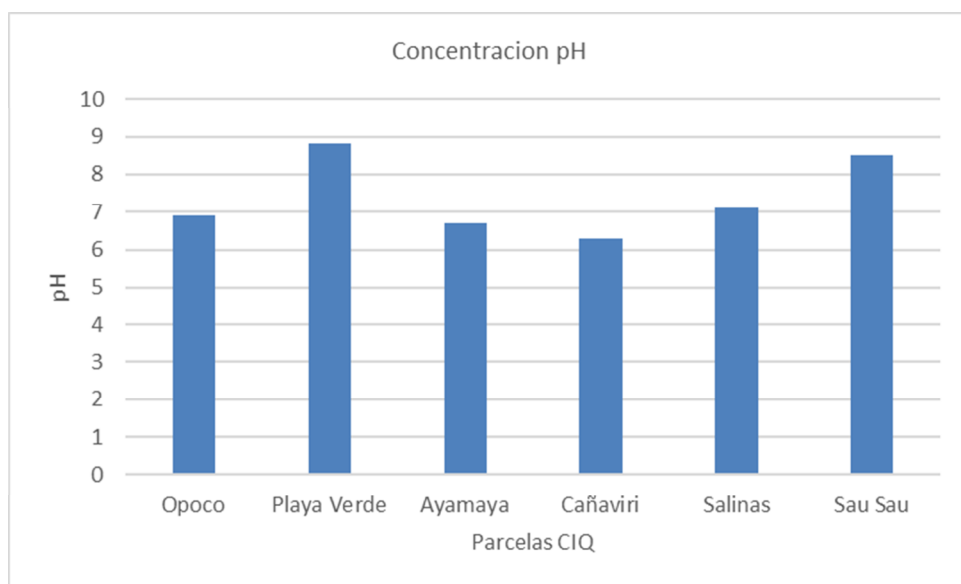


Figura 22: Variación concentración de pH parcelas de investigación

La variación de la concentración de pH se encuentra en el rango de neutro, a excepción de Playa Verde y Sau Sau, con un rango de moderadamente alcalino.

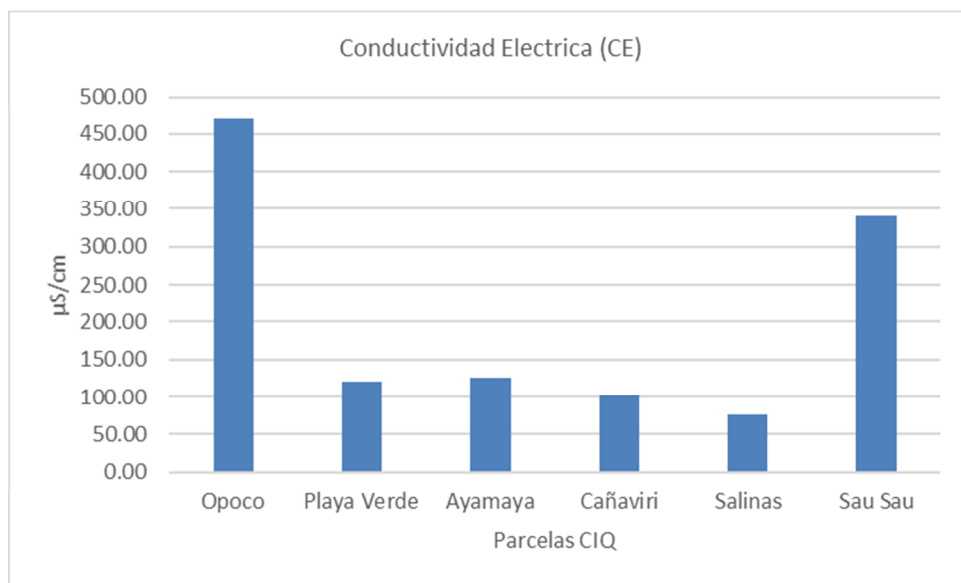


Figura 23: Variación Conductividad Eléctrica (CE) parcelas de investigación

La variación de la concentración de Conductividad Eléctrica (CE), se encuentra en el rango medio, a excepción de Opoco, con un rango ligero de incremento.

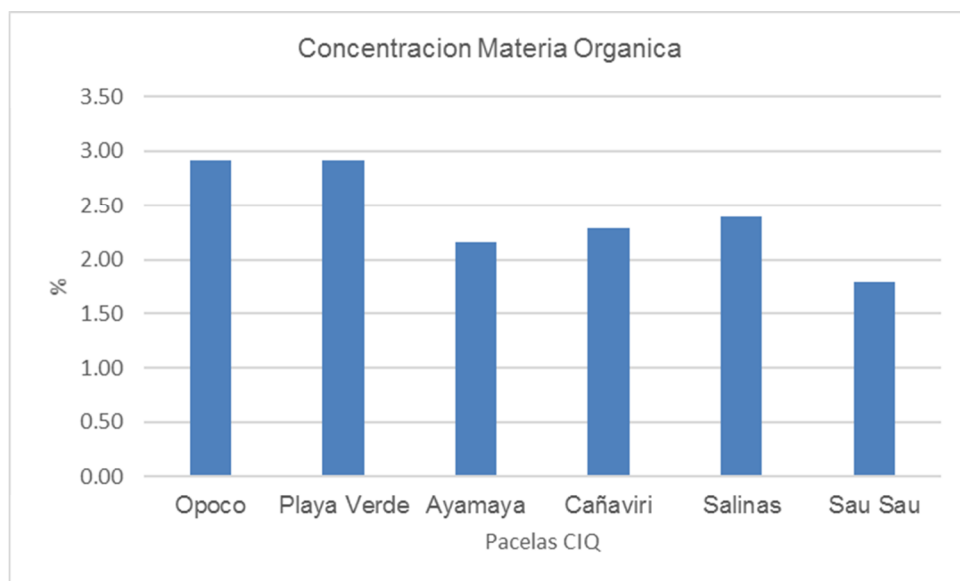


Figura 24: Variación Materia Orgánica (MO) parcelas de investigación

La variación de la concentración de Materia Orgánica (MO), se encuentra en el rango medio, a excepción de Sau Sau, con un rango ligeramente bajo.

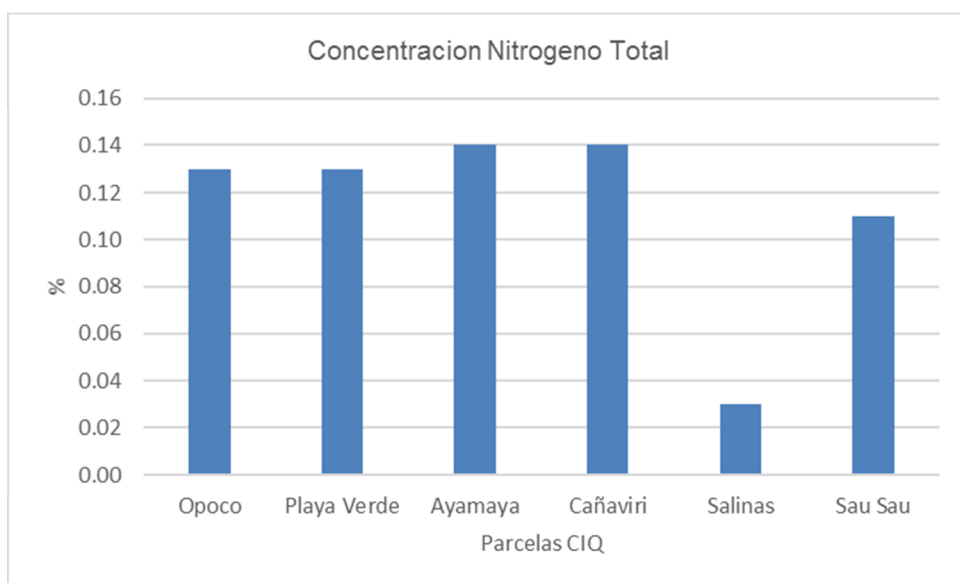


Figura 25: Variación Nitrógeno Total (N) parcelas de investigación

La variación de la concentración de Nitrógeno Total (N), se encuentra en el rango medio, a excepción de Salinas, con un rango de extremadamente pobre.

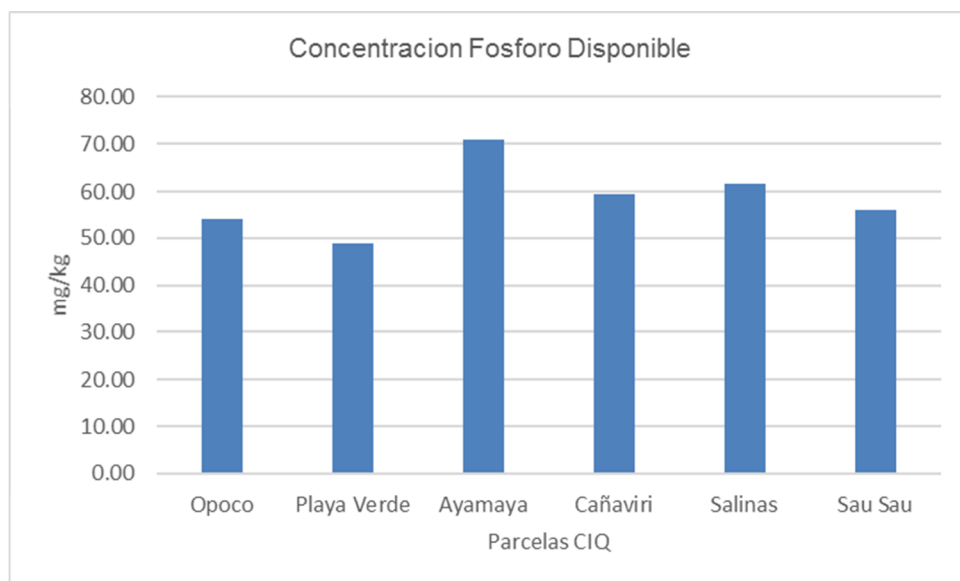


Figura 26: Variación Fosforo Disponible (P) parcelas de investigación

La variación de la concentración de Fosforo Disponible (P), se encuentra en el rango medio, sin ninguna anomalía.

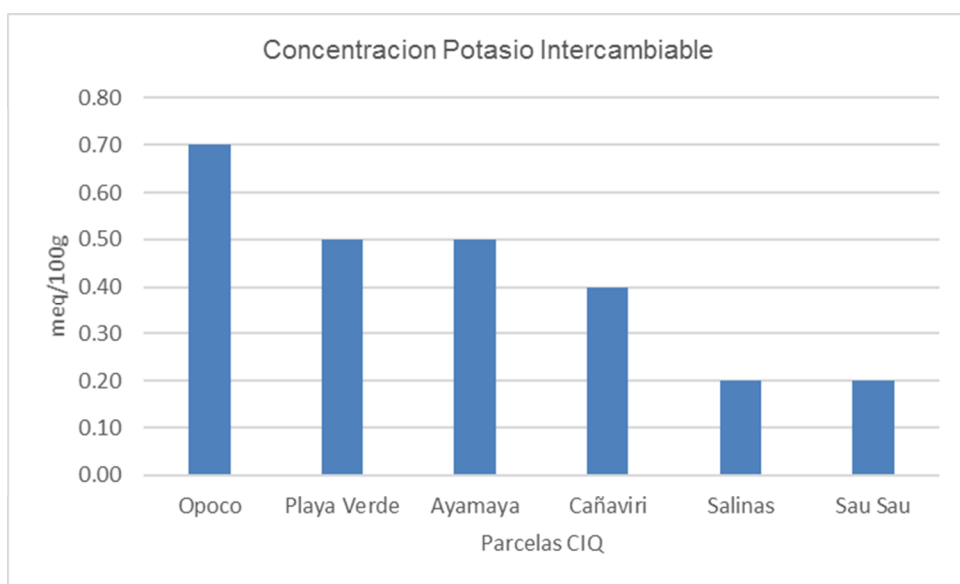


Figura 27: Variación Potasio Intercambiable (K) parcelas de investigación

La variación de la concentración de Potasio Intercambiable (K), se encuentra en el rango alto en Opco, optimo en Playa Verde y Ayamaya, medio en Cañaviri, y con un rango bajo en Salinas y Sau Sau.