

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DEL ELEMENTO FALTANTE EN EL CULTIVO DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa Willd.*) EN SUELOS DEL INTERSALAR EN LA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE COTA COTA.**

Sandra Ruth Quisbert Velasquez

La Paz – Bolivia

2019

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

EVALUACIÓN DEL ELEMENTO FALTANTE EN EL CULTIVO DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa Willd.*) EN SUELOS DEL INTERSALAR EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL DE COTA COTA.

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

SANDRA RUTH QUISBERT VELASQUEZ

**Tutor:**

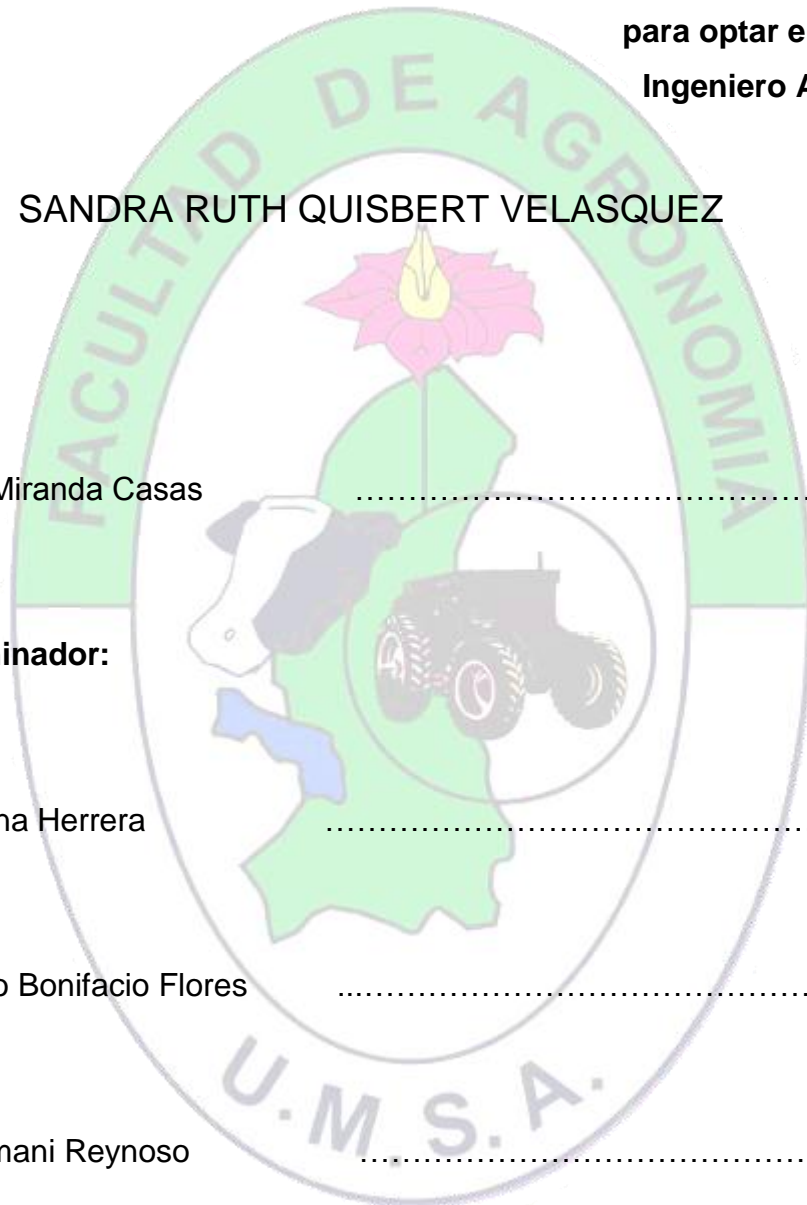
PhD. Roberto Miranda Casas

**Tribunal examinador:**

Ing. Carlos Mena Herrera

PhD. Alejandro Bonifacio Flores

PhD. Félix Mamani Reynoso



## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo, que representa el último esfuerzo en esta carrera, a la persona más importante en mi vida, Mi Papá Rene Quisbert, cuyo esfuerzo ha hecho posible este logro, el cual no es mío, sino suyo en realidad. También a mi Mamá Lidia Céspedes y mis hermanas María y Claudia por el apoyo que me brindaron durante tantos años de estudio, por su cariño, su comprensión, pero sobre todo por haberme ayudado a formar lo poco que hoy soy.*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer a Dios por darme la vida y mi familia que fue fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera universitaria y en especial quiero expresar mi más gran agradecimiento al Doctor Roberto Miranda Casas y al laboratorio LAFASA que más que amigos fueron una familia más, gracias Miguel, Ely, Alejandro, Marco y Eddy que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar mi profesión.*

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2.	OBJETIVOS.....	2
1.2.1.	Objetivo general .....	2
1.2.2.	Objetivos específicos .....	2
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.	EL CULTIVO DE LA QUINUA .....	3
2.1.1.	Descripción de la planta .....	3
2.1.2.	Característica fenológica.....	5
2.2.	COMPOSICIÓN NUTRITIVA .....	10
2.3.	REQUERIMIENTO DEL CULTIVO .....	12
2.3.1.	Suelo .....	13
2.3.2.	Fertilización .....	14
2.3.3.	Agua .....	14
2.3.4.	Temperatura.....	15
2.3.5.	Radiación .....	16
2.3.6.	Iluminación .....	16
2.4.	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE QUINUA .	17
2.5.	FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS .....	17
2.6.	NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS .....	18
2.7.	DEFICIENCIA DE NUTRIENTES Y TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE .....	18
2.8.	FUNCIÓN DE LOS NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS .....	20
2.9.	REQUERIMIENTO GENERAL DE N, P Y K.....	21

2.9.1.	Función del nitrógeno.....	22
2.9.2.	Función del fósforo.....	23
2.9.3.	Función del potasio.....	24
2.9.4.	Función del calcio.....	26
2.9.5.	Función del magnesio.....	27
2.9.6.	Función del azufre.....	28
2.9.7.	Los micronutrientes.....	28
2.10.	RITMO DE LA ABSORCIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES.....	30
2.11.	CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LAS DIFERENTES ÓRGANOS DE LA PLANTA.....	31
3.	LOCALIZACIÓN.....	33
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	33
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.....	33
3.3.	CARACTERÍSTICA DE LA CARPA SOLAR (DOMO).....	34
3.4.	CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA CARPA SOLAR (DOMO).....	35
3.4.1.	Temperatura máxima y mínima.....	35
3.4.2.	Humedad relativa del ambiente (%).....	37
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
4.1.	MATERIALES.....	38
4.1.1.	Material biológico.....	38
4.1.2.	Fertilizante químicos.....	38
4.1.3.	Materiales de campo.....	39
4.1.4.	Materiales de laboratorio.....	39
4.1.5.	Material de gabinete.....	39
4.1.6.	Equipo.....	39

4.1.7.	Reactivos .....	39
4.2.	METODO.....	40
4.2.1.	Diseño experimental .....	40
4.2.2.	Modelo estadístico .....	40
4.2.3.	Características de los tratamientos .....	41
4.2.4.	Características de las unidades experimentales.....	41
4.2.5.	Preparación del sustrato .....	42
4.2.6.	Siembra .....	42
4.2.7.	Preparación de la solución nutritiva.....	43
4.2.8.	Riego .....	44
4.2.9.	Labores culturales .....	44
4.2.10.	Análisis de laboratorio.....	44
4.3.	VARIABLES AMBIENTALES .....	45
4.3.1.	Determinación de la temperatura y humedad de la carpa .....	45
4.4.	VARIABLES AGRONÓMICAS .....	45
4.4.1.	Altura de planta (cm).....	45
4.4.2.	Diámetro de tallo (mm).....	46
4.4.3.	Profundidad radicular (cm).....	46
4.5.	VARIABLES FISIOLÓGICAS .....	47
4.5.1.	Cantidad de clorofila .....	47
4.5.2.	Porcentaje de proteína del tallo (%).....	47
4.6.	VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELO .....	48
4.6.1.	Potencial de hidrogeniones.....	48
4.6.2.	Conductividad eléctrica .....	48
4.6.3.	Nitrógeno total (%) .....	49

4.6.4.	Fósforo disponible .....	49
4.6.5.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	50
4.6.6.	Materia orgánica (%) .....	50
5.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	51
5.1.	Características físicas y químicas del suelo del salar .....	51
5.1.2.	Densidad aparente, real y porosidad.....	52
5.2.	Características químicas del suelo del salar .....	53
5.2.1.	pH y C.E.....	53
5.2.2.	CIC .....	53
5.2.3.	Materia Orgánica y Nitrógeno Total (%). .....	56
5.2.4.	Fósforo .....	57
5.3.	<b>CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE QUINUA BAJO DIFERENTES DOSIS DE NUTRICIÓN</b> .....	58
5.3.1.	Altura de planta .....	58
5.3.2.	Diámetro de tallo .....	60
5.4.1.	Nitrógeno total (%) .....	64
5.4.2.	Fosforó disponible .....	65
5.4.3.	Potencial de hidrógeno (pH).....	66
5.5.4.	Conductividad eléctrica (CE).....	68
5.5.5.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	69
5.5.6.	Materia orgánica (%) .....	70
5.5.7.	Porcentaje de proteína en el tallo (%).....	72
6.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	75
7.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	76
8.	<b>ANEXOS</b> .....	<b>87</b>



## INDICE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Contenido nutricional en los diferentes órganos de la planta.....	32
<b>Cuadro 2.</b>	Temperaturas máximas y mínimas promedio registrado en el ambiente controlado (°C) .....	35
<b>Cuadro 3.</b>	Fertilizantes químicos utilizados como fuente de nutrientes para el desarrollo del cultivo.....	38
<b>Cuadro 4.</b>	Tratamiento de la investigación. ....	40
<b>Cuadro 5.</b>	Diseño de dosificación para cada tratamiento .....	41
<b>Cuadro 6.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable altura de planta. ....	58
<b>Cuadro 7.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable diámetro de tallo.....	60
<b>Cuadro 8.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable profundidad radicular. ....	61
<b>Cuadro 9.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable clorofila de la hoja.....	63
<b>Cuadro 10.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de Nitrógeno Total NT (%). ....	64
<b>Cuadro 11.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de fósforo disponible para la planta. ....	65
<b>Cuadro 12.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de pH. ....	66
<b>Cuadro 13.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de conductividad eléctrica (CE).....	68
<b>Cuadro 14.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de Capacidad de intercambio catiónico (CIC). ....	69
<b>Cuadro 15.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de materia orgánica MO (%). ....	71
<b>Cuadro 16.</b>	Comparación de los tratamientos para la variable de proteína en el tallo (%). ....	72

## INDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b>	Función de los principales elementos. ....	17
<b>Tabla 2.</b>	Característica principal del elemento Nitrógeno y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	23
<b>Tabla 3.</b>	Característica principal del elemento Fosforo y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	24
<b>Tabla 4.</b>	Característica principal del elemento Potasio y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	25
<b>Tabla 5.</b>	Característica principal del elemento Calcio y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	26
<b>Tabla 6.</b>	Característica principal del elemento Magnesio y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	27
<b>Tabla 7.</b>	Característica principal del elemento Azufre y los síntomas de su deficiencia en la planta. ....	28
<b>Tabla 8.</b>	Las principales características de cada uno de los elementos esenciales y los síntomas de su deficiencia en las plantas. ....	29
<b>Tabla 9.</b>	Parámetros Físicos de la capa arable de los suelos del intersalar donde se desarrolla la quinua (Altiplano Sur). ....	51
<b>Tabla 10.</b>	Parámetros Físicos de la capa arable de los suelos del intersalar donde se desarrolla la quinua (Altiplano Sur). ....	53

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografía 1.</b>	Lugar donde se realizó el trabajo de investigación. ....	34
<b>Fotografía 2.</b>	Preparación del sustrato en las macetas. ....	42
<b>Fotografía 3.</b>	La siembra de la quinua. ....	42
<b>Fotografía 4.</b>	Medición de la altura de la planta. ....	45
<b>Fotografía 5.</b>	Medición del tallo ....	46
<b>Fotografía 6.</b>	Profundidad radicular. ....	46
<b>Fotografía 7.</b>	Medición de la clorofila de la hoja. ....	47
<b>Fotografía 8.</b>	Medición de la proteína del tallo de la planta. ....	47
<b>Fotografía 9.</b>	Medición del pH del suelo. ....	48
<b>Fotografía 10.</b>	Medición del CE del suelo. ....	48
<b>Fotografía 11.</b>	Medición de nitrógeno total del suelo. ....	49
<b>Fotografía 12.</b>	Medición del fósforo disponible del suelo. ....	49
<b>Fotografía 13.</b>	Medición del intercambio catiónico en el suelo. ....	50
<b>Fotografía 14.</b>	Medición de la materia orgánica del suelo. ....	50

## INDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b>	Etapa fenológica del cultivo de quinua (Agrediesen 2018).....	9
<b>Figura 2.</b>	Contenido de nutrientes (base seca) en la planta de quinua, (Morales, 2005). .....	21
<b>Figura 3.</b>	Absorción de nutrientes por la planta de quinua (Nishikawa <i>et</i> <i>al.</i> , 2012) .....	31
<b>Figura 4.</b>	Mapa de ubicación del lugar de investigación. ....	33
<b>Figura 5.</b>	Temperatura máxima media y mínima registrada dentro del ambiente controlado.....	36
<b>Figura 6.</b>	Humedad relativa (%) al interior del ambiente protegido en la fase de desarrollo del cultivo.....	37
<b>Figura 7.</b>	Equipo meteorológico Vantage Pro2. ....	45
<b>Figura 8.</b>	Distribución de Arena, limo y arcillas en el suelo donde se desarrolla la quinua en el Intersalar. ....	51
<b>Figura 9.</b>	Composición del suelo del Intersalar (Altiplano Sur). ....	52
<b>Figura 10.</b>	Micro elemento en el suelo Intersalar - Uyuni.....	55
<b>Figura 11.</b>	Comportamiento de la materia orgánica y nitrógeno total de los suelos del Intersalar (altiplano del sur). ....	56

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexos 1.</b>	Análisis de suelo del Intersalar .....	87
<b>Anexos 2.</b>	Croquis Experimental .....	88
<b>Anexos 3.</b>	Calculo de las dosificaciones. ....	88
<b>Anexos 4.</b>	Datos tomados de la altura de planta. ....	89
<b>Anexos 5.</b>	Datos tomados del diámetro de planta. ....	90
<b>Anexos 6.</b>	Datos de la clorofila en la hoja.....	91
<b>Anexos 7.</b>	Datos de la longitud de raíz de la planta. ....	92
<b>Anexos 8.</b>	Medición del CIC del suelo.....	93
<b>Anexos 9.</b>	Medición de pH y CE del suelo.....	94
<b>Anexos 10.</b>	Análisis de varianza de las variables de respuesta. ....	96
<b>Anexos 11.</b>	Uso de los fertilizantes. ....	101
<b>Anexos 12.</b>	Fases fenológicas de la quinua. ....	106
<b>Anexos 13.</b>	Cultivo en crecimiento. ....	106
<b>Anexos 14.</b>	Secado del suelo. ....	107
<b>Anexos 15.</b>	Muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio de la Facultad de Agronomía. ....	107

## RESUMEN

Los suelos agrícolas en la actualidad están sufriendo procesos de degradación, los cuales son considerados en muchos casos irreversibles. Con respecto a los elementos minerales que tienen relación directa con la fertilidad del suelo, no se conoce el elemento faltante en las zonas productoras de quinua. El presente trabajo fue realizado en la Estación Experimental De Cota Cota, con el suelo procedente del Intersalar del Departamento de Oruro, Municipio de García Mendoza, provincia Ladislao Cabrera, Pretendiendo evaluar el elemento faltante en el suelo, con el cultivo de quinua, empleando suelo con 2 años de descanso. Las características de la parcela de donde fue obtenida la muestra reflejada ya que existe mucha presencia de magnesio ya que este elemento es no deo desarrollarse adecuadamente.

Asimismo, analizamos los parámetros físicos y químicos del suelo del Intersalar, después de poner la dosificación de nutrientes a cada tratamiento ya evaluando los parámetros fenológicos y fisiológicos del cultivo de quinua.

Los resultados obtenidos demuestran que la parcela cuenta con una textura de suelo de textura gruesa (Franco arenoso). Por otro lado, la materia orgánica se encuentra en valores bajos, al igual que el nitrógeno. Existe un exceso de magnesio, lo que afecta la relación Ca/Mg y una deficiencia de Nitrógeno y micronutrientes en estos suelos, que limitan el normal desarrollo del cultivo En cuanto a las variables fenológicas como la altura, diámetro de tallo y la longitud de la raíz, el tratamiento al que se dosifico con magnesio, en general, fue el tratamiento que menor desarrollo presentó. Los tratamientos que tuvieron mejor desenvolvimiento fueron a los que se añadió N,P, K y/o micronutrientes.

**Palabra Clave:** Elemento faltante; Dosificaciones; Cultivo de quinua.

## SUMMARY

Agricultural soils are currently undergoing processes of degradation, which are considered in many cases irreversible. With respect to the mineral elements that are directly related to soil fertility, the missing element is not known in the quinoa producing areas. The present work was carried out in the De Cota Cota Experimental Station, with the soil coming from the Intersalar of the Department of Oruro, Municipality of García Mendoza, Ladislao Cabrera province, Pretending to evaluate the missing element in the soil, with the cultivation of quinoa, using soil with 2 years of rest. The characteristics of the plot from where the reflected sample was obtained since there is a lot of presence of magnesium since this element is not allowed to develop properly.

Likewise, we analyzed the physical and chemical parameters of the soil of the Intersalar, after putting the dosage of nutrients to each treatment and evaluating the phenological and physiological parameters of the quinoa crop.

The results obtained show that the plot has a texture of coarse textured soil (sandy loam). On the other hand, organic matter is found in low values, just like nitrogen. There is an excess of magnesium, which affects the Ca / Mg ratio and a deficiency of Nitrogen and micronutrients in these soils, which limit the normal development of the crop As for the phenological variables such as height, stem diameter and length of the root, the treatment that was dosed with magnesium, in general, was the treatment with the least development. The treatments that had better performance were those to which N, P, K and / or micronutrients were added.

**Key word:** missing element; Dosages; Quinoa cultivation

## 1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es un grano originario de la región andina. Tiene una distribución amplia en diferentes ecosistemas desde Colombia, hasta Argentina y Chile, con mayor predominancia en Bolivia, Ecuador y Perú. Presenta una gran adaptación a suelos salino-alcálinos y tolerancia a las heladas y sequías, lo cual le da cierta rusticidad.

En la producción agrícola, la fertilización constituye un factor vital del manejo encaminado a obtener una adecuada nutrición de los cultivos, como fundamento para alcanzar una máxima producción por unidad de superficie **(Guerrero, 1998)**.

Uno de los problemas que limita la productividad, es la fertilidad del suelo, asimismo, se desconoce el comportamiento de este cultivo en relación a los nutrientes que determinan su desarrollo fisiológico. Esta técnica incluye la utilización de plantas indicadoras, en condiciones de campo e invernadero, a las que se les agrega macro y micro nutrientes en las dosis que las plantas requieren y una serie de tratamientos en los cuales se omite uno de los elementos **(Sánchez, 1981)**.

La fertilidad de los suelos es una característica que deriva en todo cultivo, a alcanzar mayores rendimientos y una buena producción, dependiendo de la presencia de nutrientes esenciales para el desarrollo óptimo del cultivo.

El agotamiento de los suelos y el costo de los insumos que se aplican a los cultivos para suplementar su nutrición, son los factores limitantes de la productividad de la actividad agrícola. Los bajos rendimientos en la producción de quinua en el altiplano derivan en una buena parte a la deficiencia de nutrientes que se presenta en la mayoría de las zonas del altiplano **(FAO, 1998)**.

Existe en la actualidad métodos para el estudio de las deficiencias de nutrientes en los suelos: “sustractivos”, por eliminación selectiva de los mismos **(Chaminade,**



1964; Priano *et al.*, 1983; Echeverria y Navarro, 1983; Pilatti, 1988). Estas técnicas que, aunque introducen un cierto grado de manipulación sobre las condiciones naturales (difícilmente evitable en cualquier estudio bajo condiciones de invernáculo), se aproxima más que las otras a la situación que de hecho se da naturalmente.

## **1.1. JUSTIFICACION**

El conocimiento acerca del elemento faltante es muy insuficiente, en esta investigación nos permitirá saber si existe el elemento faltante en el cultivo de quinua y así hacer frente a pérdidas de rendimiento; si no caso contrario genere mayores rendimientos y producción. Al contar con la información necesaria acerca de los suelos del Intersalar pueden ser mejorados, recuperados y aprovechados bajo todo su potencial.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Identificar el elemento que determina el desarrollo de la quinua con suelos del salar de Uyuni en ambiente controlado.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las características físicas y químicas de los suelos del salar de Uyuni bajo el cual se desarrolla el cultivo de la quinua.
- Evaluar las variables fenológicas del cultivo de la quinua en tres meses bajo diferentes concentraciones de nutrientes.
- Identificar el elemento o elementos que determinan el normal desarrollo del cultivo de la quinua con suelos del intersalar.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. EL CULTIVO DE LA QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) ha sido descrita por primera vez en sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, cuyo centro de origen. Según **Cárdenas (1944)**, se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú.

Esto fue corroborado por **Gandarillas (1979)**, quien indica que su área de dispersión geográfica es bastante amplia, no sólo por su importancia social y económica, sino porque allí se encuentra la mayor diversidad de eco-tipos tanto cultivados técnicamente como en estado silvestre.

Según **Valencia (1998)**, la región Andina corresponde a uno de los grandes centros de origen de las especies cultivadas **Lescano (1994)**, y dentro de ella se encuentran diferentes sub-centros. Según **Lescano (1994)**, en el caso de la quinua se identifican cuatro grandes grupos según las condiciones agroecológicas donde se desarrolla: valles interandinos, altiplano, salares y nivel del mar, los que presentan características botánicas, agronómicas y de adaptación diferentes.

En el caso particular de Bolivia, al estudiar la variabilidad genética de la colección de germoplasma de quinua, **Rojas (2003)**, ha determinado seis sub-centros de diversidad, cuatro de ellos ubicados en el altiplano de La Paz, Oruro y Potosí y que albergan la mayor diversidad genética y dos en los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca y Potosí.

#### 2.1.1. Descripción de la planta

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, usualmente herbácea, que alcanza una altura de 0,2 a 3,0 m. Las plantas pueden presentar diversos colores que van

desde verde, morado a rojo y colores intermedios. El tallo principal puede ser ramificado o no, depende del eco-tipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz, transformándose en angular a la altura de las ramas y hojas.

Es más frecuente el hábito ramificado en las razas cultivadas en los valles interandinos del sur del Perú y Bolivia, en cambio el hábito simple se observa en pocas razas cultivadas en el altiplano y en una buena parte de las razas del centro y norte del Perú y Ecuador (**Gandarillas, 1968a; Tapia, 2007**).

Las hojas son de carácter polimórfico en una sola planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores generalmente alrededor de la panoja son lanceoladas. Su color va desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y el violeta, según la naturaleza y la importancia de los pigmentos (**Tapia, 2007; Dizes y Bonifacio, 1992; Rojas, 2003**).

Contienen además gránulos en su superficie dándoles la apariencia de estar cubiertas de arenilla, estos gránulos contienen células ricas en oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y, consecuentemente, disminuye la transpiración (**Tapia, 2007; Dizes y Bonifacio, 1992; Rojas, 2003**).

La inflorescencia es racimosa y se denomina panoja por tener un eje principal más desarrollado, del cual se originan los ejes secundarios y en algunos casos terciarios. Fue **Cárdenas (1944)**, quien agrupó por primera vez a la quinua por su forma de panoja, en amarantiforme, glomerulada e intermedia, y designó el nombre amarantiforme por el parecido que tiene con la inflorescencia del género *Amaranthus*.

Según **Gandarillas (1968a)**, la forma de panoja está determinada genéticamente por un par de genes, siendo totalmente dominante la forma glomerulada sobre la amarantiforme, razón por la cual parece dudoso clasificar panojas intermedias.

La panoja terminal puede ser definida (totalmente diferenciada del resto de la planta) o ramificada, cuando no existe una diferenciación clara a causa de que el eje principal tiene ramas relativamente largas que le dan a la panoja una forma cónica peculiar; asimismo, la panoja puede ser suelta o compacta, lo que está determinado por la longitud de los ejes secundarios y pedicelos, siendo compactos cuando ambos son cortos (**Gandarillas, 1968a**).

Las flores son muy pequeñas y densas, lo cual hacen difícil la emasculación, se ubican en grupos formando glomérulos, son sésiles, de la misma coloración que los sépalos y pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles. Permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días, y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días. Los estambres, que son cinco, poseen filamentos cortos que sostienen anteras basifijas y se encuentran rodeando el ovario, cuyo estilo se caracteriza por tener 2 o 3 estigmas plumosos (**Heisser y Nelson, 1974; Lescano, 1994**).

El fruto es un aquenio indehisciente que contiene un grano que puede alcanzar hasta 2,66 mm de diámetro de acuerdo a la variedad **Rojas, (2003)**. Según **Tapia (2007)**, el perigonio cubre a la semilla y se desprende con facilidad al frotarlo. El episperma que envuelve al grano está compuesto por cuatro capas: la externa determina el color de la semilla, es de superficie rugosa, quebradiza, se desprende fácilmente con agua, y contiene a la saponina.

### **2.1.2. Característica fenológica**

El estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas se denomina fenología que deriva del griego *phaino* que significa manifestar, y *logos*

tratado. El término fenología se cree tuvo su primer uso por el botánico Belga Charles Morren en 1958; sin embargo, la observación de eventos fenológicos data de varios siglos atrás en la antigua China, quienes desarrollaron calendarios fenológicos, siglos antes de Cristo (**Mamani, 2007**).

La fenología, estudia los fenómenos morfológicos periódicos que suceden en los seres vivos durante su crecimiento y sus relaciones con las condiciones medio ambientales de luz, temperatura, humedad, etc. La emergencia de los cultivos, brotación de los frutos, floración, fructificación, corresponden a estudios de fenología vegetal (**Mamani, 2007**).

**Canahua y Mujica (1989)**, definen como fases fenológicas de la planta a los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales, esto desde la germinación de la semilla hasta la formación de las nuevas semillas.

**Fournier y Charpantier (1978)**, señalan que es el estudio de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico como la brotación, la maduración de los frutos y otros. Como es natural, estos fenómenos se relacionan con el clima de la localidad en que ocurre; y viceversa, de la fenología se puede sacar secuencias relativas al clima y sobre todo al microclima cuando ni uno ni otro se conocen debidamente.

**Canahua y Mujica (1989)**, consideran las siguientes fases fenológicas para el cultivo de quinua:

**a) Emergencia:** cuando la planta sale del suelo y extiende las dos hojas cotiledones, pudiendo observarse en el surco las plántulas en forma de hilera nítida. Esto ocurre entre los 7 y 10 días de la siembra, siendo susceptible al ataque de aves en sus inicios, pues como es dicotiledónea salen las hojas cotiledones protegidas por

episperma y pareciera mostrar la semilla encima del talluelo, facilitando el consumo por las aves.

**b) Dos hojas verdaderas:** es cuando fuera de las hojas cotiledones aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya tienen forma romboidal y se encuentra en botón el siguiente par de hojas. Ocurre entre los 15 y los 20 días de la siembra y coincide con un crecimiento rápido de las raíces. En esta fase ocurre generalmente el ataque de cortadores de plantas tiernas.

**c) Cuatro hojas verdaderas:** se observa dos pares de hojas verdaderas extendidas y aún están presentes las hojas cotiledones de color verde, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice e inicio de formación de botones en la axila del primer par de hojas. Ocurre entre los 25 y 30 días después de la siembra. En esta fase la plántula tiene buena resistencia al frío y sequía, pero es sensible al ataque de masticadores de hojas (Epitrix y Diabrotica).

**d) Seis hojas verdaderas:** se observa tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledones se tornan de color amarillento. Se notan hojas axilares, desde el estado de formación de botones hasta inicio de apertura de botones del ápice a la base. Esta fase ocurre entre los 35 y 45 días de la siembra, en la cual se nota claramente una protección del ápice vegetativo por las hojas más adultas, especialmente cuando se presentan bajas temperaturas.

**e) Ramificación:** se observa ocho hojas verdaderas, extendidas y la extensión de hojas axilares hasta el tercer nudo. Las hojas cotiledones se caen y dejan cicatrices en el tallo. También se nota presencia de la inflorescencia protegida por hojas sin dejar al descubierto la panoja. Ocurre entre los 45 y 50 días de la siembra. En esta fase, la parte más sensible a las heladas no es el ápice, sino por debajo de éste y, en caso de bajas temperaturas que afecten a la planta, se produce el “colgado” del ápice.

**f) Inicio de panojamiento:** la inflorescencia va emergiendo del ápice de la planta, observándose alrededor una aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes. Ello ocurre entre los 55 y 60 días de la siembra. Así mismo se puede ver amarillento el primer par de hojas verdaderas (hojas que ya no son fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento. En esta fase puede ocurrir el ataque de la primera generación de K'cona K'cona (*Euryssaca melanocampta*).

**g) Panojamiento:** la inflorescencia sobresale con claridad por encima de las hojas, notándose en los glomérulos de la base los botones florales individualizados. Ello ocurre entre los 65 y 70 días de la siembra.

**h) Inicio de floración:** es cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados. Ocurre entre los 75 y 80 días de la siembra. Esta fase bastante sensible a las heladas y sequías.

**i) Floración o antesis:** es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas. Ocurre aproximadamente entre los 90 y 100 días después de la siembra. Esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Debe observarse la floración a medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas. Asimismo la planta comienza a eliminar las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente.

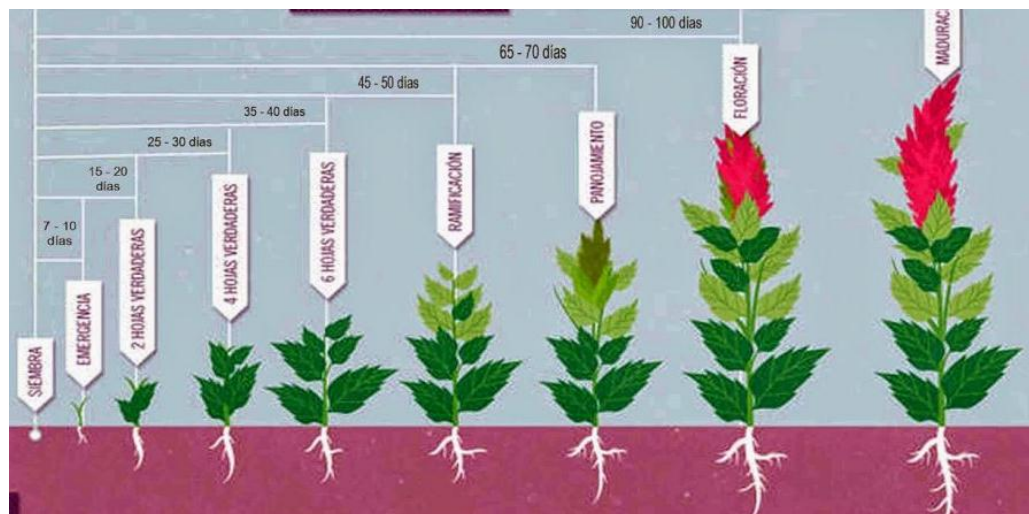
**j) Grano lechoso:** es cuando los frutos al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso. Ocurre entre los 100 y 130 días de la siembra. En esta fase el déficit de agua es perjudicial.

**k) Grano pastoso:** Es cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco. Ocurre entre los 130 y 180 días de la siembra. En esta fase el ataque de la segunda generación de K'cona K'cona puede causar daños considerables al cultivo.

**I) Madurez fisiológica:** Es cuando, al ser presionado con las uñas, el fruto presenta resistencia a la penetración. Ocurre entre los 160 y 180 días de la siembra. El contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%. El lapso comprendido de la floración a la madurez fisiológica viene a constituir el periodo de llenado de grano.

**Espíndola (1992)**, distingue y describe en la quinua nueve etapas morfo anatómicas (Figura 1):

0. Fase de emergencia
1. Fase cotiledones
2. Fase de dos hojas basales
3. Fase de cinco hojas alternas (diferenciación panicular)
4. Fase de 13 hojas alternas (pre despunte panicular)
5. Fase de despunte de panoja
6. Fase de floración
7. Fase de grano lechoso
8. Fase de grano en estado de masa
9. Fase de grano pastoso duro madurez (fisiológica).



**Figura 1.** Etapa fenológica del cultivo de quinua (**Agrediesen 2018**)



## 2.2. COMPOSICIÓN NUTRITIVA

**Mujica et al., (2003)**, mencionan que, la quinua tienen un valor alimenticio muy alto. El contenido proteico es elevado (12% a 20%) con respecto por ejemplo al maíz (10%), al arroz (8%) o al trigo (14-16%); no obstante la característica principal es la calidad de los aminoácidos que contiene.

La quínoa contiene 16 aminoácidos, de ellos 10 son esenciales ya que el organismo no los puede sintetizar y por consiguiente los debe adquirir en su totalidad de la dieta como lo son: la fenilalanina, isoleucina, lisina, metionina, treonina, triptófano, valina; arginina, histidina, cistina y tirosina (**Ruales, J.; Nair B.M. 1992**).

Al realizar una comparación entre la harina de quínoa y otros cereales se encuentra que la harina de quínoa es altamente superior en lisina y metionina. La gran importancia de la lisina es que se la asocia al crecimiento y funciones cerebrales y básicamente es un aminoácido esencial que el organismo humano requiere para desarrollar actividades fisiológicas. La metionina es necesaria para realizar funciones metabólicas básicas en el organismo.

1. **Lisina:** La Lisina es un aminoácido esencial que se encuentra en grandes cantidades en el tejido muscular. Es necesaria para un buen crecimiento y desarrollo de los huesos, ayuda a la absorción de calcio, es fundamental para la formación de colágeno, enzimas, anticuerpos, y otros compuestos. Junto con la metionina, el hierro y la vitamina B6 interviene en la producción de Carnitina. Ayuda en la obtención de energía de las grasas y en la síntesis de las proteínas.
2. **Arginina:** Es otro aminoácido no esencial que tiene influencia en numerosos procesos y factores metabólicos. Para atletas es famoso por su rol de estimulador de la liberación de somatotropinas u hormonas del crecimiento. Los beneficios de un nivel más alto de somatotropina es la reducción de grasa corporal, mejor recuperación y cicatrización de heridas y un mayor incremento

de la masa muscular. La Arginina también es un precursor en la producción de Creatina, importante fuente de energía durante actividades de fuerza o con requerimientos de gran potencia. Ayuda, al igual que muchos otros aminoácidos a la remoción del amoníaco.

3. **Fenilalanina:** Es un aminoácido esencial. Es precursor de otros aminoácidos, metabólicos y neurotransmisores. Es importante en los procesos de aprendizaje, memoria, control de apetito, deseo sexual, recuperación y desarrollo de tejidos, sistema inmunológico, control del dolor. Muchas veces es utilizado como un factor más en la lucha contra la depresión, pues interacciona con numerosos neurotransmisores.
4. **Metionina:** La Metionina es un aminoácido esencial que interviene en diversos procesos metabólicos, todos ellos relacionados con la fabricación de diversos compuestos importantes para un buen rendimiento muscular. Parte de sus funciones son las de remover del hígado residuos de procesos metabólicos, ayudar a reducir las grasas y a evitar el depósito de grasas en arterias y en el hígado.
5. **Histidina:** La Histidina es un aminoácido de tipo esencial en infantes y de tipo no esencial en adultos, es decir que organismos adultos en condiciones adecuadas lo pueden producir. Es extremadamente importante en el crecimiento y reparación de tejidos, en la formación de glóbulos blancos y rojos. También tiene propiedades antiinflamatorias. Para atletas la Histidina es un aminoácido esencial debido a que éstos experimentan una gran tasa de crecimiento y destrucción del tejido.
6. **Triptófano:** El Triptófano es un aminoácido esencial presente en muchas comidas, como por ejemplo en lácteos. Es el precursor de un neurotransmisor denominado serotonina. Ayuda a controlar el normal ciclo de sueño y tiene propiedades antidepresivas. Los atletas lo utilizan porque incrementa los niveles de somatotropina permitiendo ganar masa muscular magra. También se ha reportado un incremento de la resistencia. En muchos países (incluyendo Estados Unidos y Argentina) está prohibido el uso de Triptófano sintético.

7. **Leucina:** La Leucina es un aminoácido esencial del tipo encadenado (BCAAs) que se encuentra en las proteínas. Es importante en la producción de energía durante el ejercicio. Estudios en atletas han reportado un crecimiento en el tamaño muscular y también mayor resistencia.
8. **Valina:** Es un aminoácido esencial y es del tipo "encadenado". Al igual que otros aminoácidos encadenados, Isoleucina y leucina, forma parte integral del tejido muscular y puede ser usado para conseguir energía por los músculos en ejercitación. Posibilita un balance de nitrógeno positivo e interviene en el metabolismo muscular y en la reparación de tejidos.
9. **Isoleucina:** Es un aminoácido esencial del tipo "encadenado". Al igual que otros aminoácidos encadenados, forma parte integral del tejido muscular y puede ser usado para conseguir energía por los músculos en ejercitación. Regula el azúcar en la sangre y es metabolizado para conseguir energía en el tejido muscular. Posibilita un balance de nitrógeno positivo e interviene en el metabolismo muscular y en la reparación de tejidos. Interviene en la formación de hemoglobina.
10. **Alanina:** Este aminoácido se agrupa dentro de los no esenciales. Interviene en numerosos procesos bioquímicos del organismo que ocurren durante el ejercicio (producción de energía) ayudando a mantener el nivel de glucosa.
11. **Treonina:** Es un aminoácido esencial que se encuentra en las proteínas. Es un componente importante del colágeno, esmalte dental y tejidos. También le han encontrado propiedades antidepresivas (pacientes tratados por depresión han mostrado niveles bajos de Treonina). Es un agente lipotrópico, evita la acumulación de grasas en el hígado.

### 2.3. REQUERIMIENTO DEL CULTIVO

Los requerimientos importantes del cultivo de quinua para una adecuada producción son suelo, fertilización, agua, temperatura, radiación e iluminación.

### 2.3.1. Suelo

- **Textura:** Mujica *et al.*, (2001), mencionan que la quinua puede crecer en suelos con una clase textural que va de arenoso a arcilloso, con preferencia por suelos francos, por lo que la planta prefiere un buen drenaje.

En lo referente al suelo la quinua prefiere un suelo franco, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas y un contenido medio de nutrientes, puesto que la planta es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco de potasio. También puede adaptarse a suelos franco arenosos, arenosos o franco arcillosos, siempre que se le suministre los nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua, puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estados.

- **pH:** El rango de pH también es muy amplio, desde suelos ácidos (pH 4.5 en regiones de Cajamarca Perú a suelos más alcalinos; pH 9 depresiones de sal en Bolivia) con un óptimo grado alrededor del pH neutral.

La quinua es una planta halófila y puede crecer en condiciones salinas extremas, hasta suelos con la conductividad eléctrica de 52 dS/m. La sensibilidad a la salinidad es muy dependiente de la variedad, el ajuste del potencial de agua en la hoja, es gracias a la acumulación de iones de sal en los tejidos finos, permite mantener turgencia y transpiración en la célula de la planta, bajo condiciones salinas. De este modo, la quinua podría desempeñar adicionalmente un papel importante en la limpieza de suelos contaminados con sal. (Bosque *et al.*, 2006; Jacobsen y Mujica, 2003).

- **Elementos nutritivos:** Debido a su alto contenido proteínico, la quinua es altamente exigente en nitrógeno (N) y calcio (Ca). Su requerimiento es moderado en fósforo (P) y poco exigente en potasio (K).

### 2.3.2. Fertilización

Según **Jacobsen y Mujica (1999)**, uno de los factores más importantes para la obtención de buenos rendimientos en el cultivo de la quinua es la fertilización. Sin embargo, es necesario antes de la aplicación de los abonos proceder a analizar la tierra con el fin de determinar el tipo de correctivos o enmiendas que se le deberán hacer con la fertilización, se trata de compensar la diferencia entre los requerimientos nutricionales de un cultivo y la capacidad del suelo de ofrecer éstos nutrientes requeridos.

Por ende para calcular la cantidad adecuada del fertilizante se debe conocer los requerimientos nutricionales del cultivo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la composición de los abonos.

### 2.3.3. Agua

**Mujica et al., (2004)**, afirma que la quinua es un organismo eficiente en el uso, de agua a pesar de ser una planta C-3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar a los déficit de humedad, sino tolerar y resistir la falta de humedad del suelo. A la quinua se le encuentra creciendo y dando producciones aceptables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales, como es el caso del altiplano sur boliviano, sin embargo de acuerdo a las últimas investigaciones efectuadas, se ha determinado que la humedad del suelo equivalente a capacidad de campo constituye exceso de agua para el normal crecimiento y producción de la quinua, siendo suficiente solo  $\frac{3}{4}$  de capacidad de campo ideal para su producción. Por ello los productores tienen la perspectiva de indicar y pronosticar que en los años secos se obtiene buena producción de quinua y no así en los lluviosos, lo cual coincide exactamente con los resultados de estas nuevas investigaciones.

**Choquecallata et al., (1991)**, indican que las necesidades del cultivo se estiman según la evapotranspiración real del cultivo. Para la quinua se encontró que la evapotranspiración máxima en el altiplano central de Bolivia es de 3.64 mm/día como promedio, pero que los valores cambian de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo, siendo más altos durante la floración e inicio de grano lechoso con 4.54 y 4.71 mm/día respectivamente, y que la evapotranspiración máxima es de 408 mm en los 134 días del periodo vegetativo.

El uso consuntivo del cultivo de quinua se estima en 284 mm en un periodo de 150 días, que la fase más susceptibles al déficit hídrico son la floración y llenado de grano. En la fase fenológica de panojamiento, los niveles de deficiencia hídrica resultan favorables para el desarrollo del grano, debido a que se observa una tendencia al incremento de la producción de grano a mayor severidad de la sequía. Esto resulta ideal por su estabilidad fenotípica y potencial rendimiento de los genotipos. (**Mamani, 2007**).

En lo referente a la humedad relativa, la quinua crece sin mayores inconvenientes desde 40% en el altiplano hasta el 100% de humedad relativa en la costa. Esta alta humedad relativa se presenta en los meses de mayor desarrollo de la planta (enero y febrero), lo que facilita que prosperen con mayor rapidez las enfermedades fungosas como es el caso del mildiu. Por ello en zonas con alta humedad relativa se deben sembrar variedades resistentes al mildiu.

#### **2.3.4. Temperatura**

Según **Mujica et al., (2004)**, la temperatura media adecuada para la quinua está alrededor de 15-20 °C, sin embargo se ha observado que con temperaturas medias de 10°C se desarrolla perfectamente el cultivo, así mismo ocurre con temperaturas medias y altas de hasta 25°C prosperando adecuadamente. Al respecto se ha determinado que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta menos 8 °C en determinadas etapas

fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y las más susceptibles la floración y llenado de grano.

Respecto a las temperaturas extremas altas, temperaturas por encima de los 30 °C producen aborto de flores y muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen y por lo tanto impidiendo la formación de grano, caso observado en la zona de Canchones en Iquique, Chile y común en los invernaderos de la sierra que no cuentan con mecanismos de aireación (**Mujica et al., 2004**).

### **2.3.5. Radiación**

**Mujica et al., (2004)**, indica que la radiación es importante, porque regula la distribución de los cultivos sobre la superficie terrestre y además influye en las posibilidades agrícolas de cada región. La quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los Andes, sin embargo estas altas radiaciones permiten compensar las horas calor necesarias para cumplir con su período vegetativo y productivo.

En la zona del altiplano central de Bolivia (Oruro), la radiación alcanza a 489 cal/cm<sup>2</sup> al día y en La Paz es de 433 cal/cm<sup>2</sup> al día, sin embargo el promedio de radiación neta (RN) recibida por la superficie del suelo o de la vegetación, llamada también radiación resultante alcanza en Oruro, Bolivia a 154 y en La Paz, Bolivia a 164, solamente, debido a la nubosidad y la radiación reflejada por el suelo.

### **2.3.6. Iluminación**

**Mujica et al., (2004)**, hace mención de que los sectores de más alta iluminación solar son los más favorables para el cultivo de la quinua, ya que ello contribuye a una mayor actividad fotosintética.

## 2.4. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE QUINUA

**Nieto y Vimos (1992)**, indica que la quinua es un cultivo rústico que se puede adaptar a cualquier clase de suelo que no necesita una fertilización adicional.

En la práctica los agricultores no fertilizan la quinua, sino la ubican dentro del sistema de la rotación después de la papa, aprovechando los nutrientes remanentes de la fertilización, aunque es cierto que la quinua se desarrolla también en suelos pobres, la falta de una fertilización adecuada explica en parte los rendimientos bajos en la sierra ecuatoriana.

## 2.5. FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS

**Cirnma (1997)**, indica que la quinua, como cualquier otro cultivo, requiere numerosos elementos para un desarrollo normal y producción satisfactoria. Las funciones de los nutrientes principales se ven en la Tabla 1.

**Tabla 1. Función de los principales elementos.**

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
Fomenta crecimiento vegetativo. Aumenta producción de hojas. Aumenta proteína en el grano. Aumenta microorganismos en el suelo.	Fomenta desarrollo de las raíces. Acelera la madures del grano. Aumenta la resistencia a las heladas.	Aumenta el vigor de la planta. Resiste a las enfermedades. Endurece el tallo. Aumenta el tamaño del grano
<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Fomenta desarrollo de raíces. Aumenta el vigor de la planta. Resiste a las enfermedades.	Participa en las formación de los azúcares. Promueve aceites / grasa.	Estimula la formación del grano. Aumenta el vigor de la planta.

**Fuente:** Propia.



## 2.6. NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS

Son los elementos esenciales para el crecimiento de la planta, la cual la toma del suelo o del agua por irrigación, por inundación o de las aguas subterráneas o en un medio hidropónico. Los nutrientes primarios son el nitrógeno, el fósforo y el potasio los cuales son consumidos en cantidades relativamente grandes **(FAO, 1999)**.

Los minerales esenciales incluyen:

- a) C, H, O, N y S (principales constituyentes de la materia orgánica),
- b) P, B y Si (esterificados con alcoholes en las plantas),
- c) K, Na, Mg, Ca, Mn y Cl (absorbidos como iones de la solución del suelo),
- d) Fe, Cu, Zn y Mo (absorbidos como iones o quelatos).

La adición más reciente al grupo de minerales esenciales es el níquel, involucrado en el metabolismo de la urea y de los ureidos, la absorción de hierro, la viabilidad de las semillas, la fijación de nitrógeno y el crecimiento reproductivo **(Gutiérrez, 2002)**.

## 2.7. DEFICIENCIA DE NUTRIENTES Y TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE

La técnica del elemento faltante o aditivo es un procedimiento rápido para la detección de carencias de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o campo **(Sánchez, 1981)**.

Esta técnica se fundamenta en el hecho de eliminar de la fórmula nutritiva completa que se añade a las plantas, un elemento metódicamente de manera tal que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa **(Briceño y Pacheco, 1984)**.

**Henríquez et al. (1995)**, añaden que al hacer esto, se puede comparar la respuesta de cada uno de los nutrimentos en relación con una fertilización completa y obtener información sobre problemas nutricionales presentes en el suelo a estudiar.

Esta técnica, se clasifica como un método biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento de las mismas a la variabilidad nutritiva de los suelos (**Henríquez et al., 1995**). El objetivo principal de esta práctica es el de establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo (**Briceño y Pacheco, 1984**).

Los síntomas de deficiencia no deben considerarse la única guía para evaluar el estado nutrimental de la planta en razón a que éstos se producen cuando el contenido de los elementos en la planta se encuentra demasiado bajo; por lo anterior, es de mucha ayuda para identificar el elemento faltante en el caso en que se presenten sintomatologías; de igual manera, los análisis de tejidos o foliares y los análisis de suelos permiten determinar cuán limitante es un elemento en el desarrollo del cultivo (**Havlin et al., 1999**). Aunque el principal elemento utilizado en el control de crecimiento es el nitrógeno, nutrientes como potasio, magnesio, zinc y boro se deben suministrar en cantidades adecuadas para permitir óptimo crecimiento, producción y la mejor calidad del fruto (**Galiano, 1984**).

Es importante conocer la información sobre niveles adecuados de nutrientes en la hoja, ya que así se puede comparar en un momento determinado qué cantidad y tipo de nutrientes están siendo asimilados por la planta, para corregir mediante fertilización el o los elementos que se encuentren en deficiencia y determinar la influencia de un elemento sobre otro (**Anaya, 1995**).

Entre sus ventajas más importantes se encuentra el relativo control que existe, bajo condiciones de invernadero, de las condiciones ambientales; tales como temperatura, luz, disponibilidad de agua, plagas, hongos, y otros, aislando de esta forma el efecto de fertilidad del suelo.

Su desventaja más evidente es que esta tecnología no está al alcance de la mayoría de los agricultores, debido a que se requieren condiciones especiales para su realización y las soluciones de concentración conocida que se usan sólo pueden ser preparadas en un laboratorio. Además, debido a que se controlan las condiciones externas, sus resultados no son extrapolables al campo en forma inmediata (**Bertsch, 1982**).

**Castaño et al., (2010)**, menciona que la técnica del elemento faltante en el cultivo de mora observando que las plantas con mayor número de tallos fueron las que no recibieron Boro, las plantas carentes de Zn presentaron un crecimiento superior pero los limbos foliares fueron más cortos y delgados y el tratamiento sin N fue el único que no presentó crecimiento durante el experimento; además, de tener el menor peso seco en comparación con los demás tratamientos.

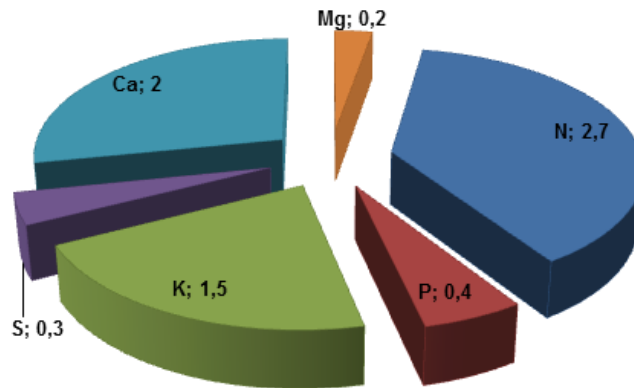
En la investigación realizada por **Martínez et al., (2008)**, encontraron que las plantas en ausencia de N, K y B afectan negativamente el tamaño, peso fresco y seco del fruto, en ausencia de P, Ca y Mg disminuye el número de frutos y el rendimiento por planta.

Investigaciones realizadas en el INIAP, por **Rivadeneira (1999)**, en el cultivo de chocho y por **León et al., (2004)**, en Tabaco empleando esta técnica del elemento faltante, demostraron que las plantas en ausencia de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn y B; presentan las deficiencias típicas que presentan otros cultivos, como el poco crecimiento de las plantas, clorosis en las hojas inferiores en los nutrientes móviles y en las hojas superiores en el nutrientes pocos móviles.

## **2.8. FUNCIÓN DE LOS NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS**

Dieciséis elementos son esenciales para el crecimiento de la mayoría de plantas y éstos provienen del aire y del suelo circundante. En el suelo, el medio de transporte es la solución del suelo. El carbono (C) como CO<sub>2</sub> tomado del aire; el hidrógeno (H)

y oxígeno (O) del agua. Del suelo, la quinua obtiene el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). La composición de macronutrientes, en base seca, en la quinua (Figura 2) es: 2.7% de N, 0.4% de P, 1.5% de K, 0.3% de S, 2.0% de Ca y 0.2% de Mg (**Morales, 2005**).



**Figura 2. Contenido de nutrientes (base seca) en la planta de quinua, (Morales, 2005).**

## **2.9. REQUERIMIENTO GENERAL DE N, P Y K.**

**Mujica et al., (2001)**, indican que la quinua responde activamente a la fertilización de nitrógeno, con rendimientos de 3.5 Tn/ ha en campo con una fertilización de 120 kilogramos, de N/ha. Notablemente, la eficiencia de uso de nitrógeno no disminuye con el aumento de tasas de N hasta 120 kilogramos de N/ha.

**Noriega (2001)**, hace mención que hasta la fecha no se ha cuantificado los requerimientos nutricionales absolutos de la quinua. Existen solamente valores empíricos de orientación en función de la fertilidad del suelo.

### 2.9.1. Función del nitrógeno

El nitrógeno se ha encontrado en las plantas tanto en forma orgánica como en forma inorgánica, combinado con C, H, O y algunas veces, con S, formando aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases purínicas, mientras que el nitrógeno inorgánico puede acumularse en la planta primeramente en tallos y tejidos conductivos en forma de nitrato, el nitrógeno orgánico predomina como proteínas de alto peso molecular **(Basantes, 2010)**.

El nitrógeno influye en el rendimiento y también en la calidad de las cosechas, pues de él depende el contenido de proteínas del grano. Cuando la planta presenta deficiencias de nitrógeno disminuye el vigor, las hojas son pequeñas, las puntas de las hojas toman un color amarillo, que poco a poco se va extendiendo a lo largo de la nervadura central dando lugar a una especie de dibujo en forma de V **(Fairhurst y Witt, 2002)**.

El nitrógeno es esencial para el metabolismo de los carbohidratos, estimula el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas así como la asimilación de otros nutrimentos **(Basantes, 2010)**.

El movimiento del nitrógeno en el suelo, las sales nitrogenadas se mueven hacia arriba y hacia abajo en la solución del suelo, dependiendo de la dirección del movimiento del agua. De los dos tipos generales de sales nitrogenadas, los nitratos se mueven más fácilmente, porque no se unen por sí mismos a las partículas del suelo. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal es adsorbido por los coloides del suelo **(Basantes, 2010)**. En la Tabla 2, se muestra las características principales del elemento Nitrógeno y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 2. Característica principal del elemento Nitrógeno y los síntomas de su deficiencia en la planta.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Nitrógeno</b>	Constituyente de cada uno de los aminoácidos, es decir, presente en cada proteína. También hace parte de la molécula de clorofila y de los ácidos nucleicos. El nitrógeno estimula el crecimiento de tallos y hojas. Además estimula la producción de proteínas en frutas y granos, y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como fósforo y potasio,	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Por su gran movilidad, los primeros síntomas se observan en hojas maduras. Su deficiencia causa falta de poder turgor y cambios de color en las hojas, las cuales primero se tornan verde claro, luego presentan clorosis y finalmente mueren; los sistemas radicales se ven reducidos (Suzuki et al, 2003). Otros síntomas que pueden presentarse son acumulación de compuestos fenólicos como flavonoides, antocianinas y cumarinas.

**Fuente: Kovacik et al., (2007).**

### **2.9.2. Función del fósforo**

El fósforo es un componente de ciertas enzimas y proteínas, trifosfato de adenosina (ATP), ácidos ribonucleicos (RNA), ácidos desoxi ribonucleicos (DNA), y fitina. El ATP está involucrado en varias reacciones de transferencia de energía, y el RNA y DNA son componentes de la información genética (**INFOAGRO, 2012**).

El fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces, mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y está involucrado en la transferencia de características hereditarias de una generación a la siguiente (INFOAGRO, 2012). En la Tabla 3, se muestra las características principales del elemento Fosforo y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 3. Característica principal del elemento Fosforo y los síntomas de su deficiencia en la planta.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Fósforo</b>	<p>Constituyente de coenzimas, ácidos nucleicos y sustratos metabólicos.</p> <p>Hace parte del nucleótido más importante en la obtención de energía celular, el ATP.</p> <p>Promueve el desarrollo radical, y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades.</p>	<p><math>H_2PO_4^-</math></p> <p><math>HPO_4^{2-}</math></p>	<p>Es uno de los nutrientes más limitantes en el crecimiento y desarrollo de la planta junto con el Nitrógeno.</p> <p>En general, hojas, tallos y peciolo maduros se observan de color verde oscuro o azulado o pueden ser morados. Las hojas pueden verse enrolladas. Las plantas tienen un desarrollo lento, la floración se demora, el sistema radical es pobre y las plantas son bastante susceptibles a infecciones.</p>

Fuente: Xiang-wen *et al.*, (2008)

### 2.9.3. Función del potasio

El potasio está involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, la presión de turgencia de sus células y el mecanismo de apertura y cierre estomático.

El potasio es requerido para la acumulación y translocación de los nuevos carbohidratos formados (**INFOAGRO, 2012**).

El potasio imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades, participa en la producción de proteínas en las plantas, aumenta el tamaño del grano y semilla y es esencial para la formación y desplazamiento de almidones, azúcares y aceites. También mejora la calidad de los frutos, ayuda al desarrollo de los tubérculos y auxilia en la formación de las antocianinas (**INFOAGRO, 2012**). En la Tabla 4, se muestra las características principales del elemento Potasio y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 4. Característica principal del elemento Potasio y los síntomas de su deficiencia en la planta.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Potasio</b>	<p>Importante en fotosíntesis, translocación de carbohidratos y síntesis de proteínas.</p> <p>Es un catalizador o activador de ciertas enzimas, participa en la osmorregulación y también en el mantenimiento del potencial de membrana.</p> <p>Implicado en el control del turgor de las células guarda estomáticas</p>	<b>K+</b>	<p>En su ausencia, inicialmente se observa en las hojas maduras clorosis marginal e intervenal, enrollamientos, hojas arrugadas y brotes muy cortos.</p> <p>En general, la planta con déficit de potasio se observa débil, con un sistema radical pobre, y con muy baja tolerancia a situaciones de estrés o ataques de enfermedades.</p> <p>La deficiencia estomática implica reducción de las tasas de transpiración e intercambio de gases.</p>

Fuente: Pyo *et al.*, (2010); Gierth y Mäser (2007).



#### 2.9.4. Función del calcio

Es un constituyente esencial del tallo y de las hojas. 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 (INFOAGRO, 2012).

El calcio es muy sensible a la lixiviación y demás por su naturaleza química, muchos abonos tienen una cierta acción sobre el contenido en calcio en el suelo. El fosfato amónico, por ejemplo tiene una acción descalcificante muy grande. Hay que indicar que, aunque el pH sea satisfactorio, es necesario aportar 250 kg/ha y año de calcio, en suelos arenosos y con un pH superior a 5,5. En la Tabla 5, se muestra las características principales del elemento Calcio y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 5. Característica principal del elemento Calcio y los síntomas de su deficiencia en la planta.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Calcio</b>	Hace parte de las paredes celulares, tiene una función importante en la estructura y permeabilidad de las membranas. Es un activador de las enzimas amilasa y ATPasa. En árboles, el contenido de Calcio está relacionado con la calidad y resistencia de la madera.	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Los síntomas de su deficiencia se observan inicialmente en hojas jóvenes dado su baja movilidad. En general, se observan meristemas apicales deformados, pequeños o sin crecimiento; las yemas en forma de gancho, los brotes del tallo o de flores se caen y en las hojas maduras se presenta clorosis marginal y pérdida de turgor.

Fuente: Littke y Zabowaki, (2007).

### 2.9.5. Función del magnesio

Es un componente fundamental de la clorofila. Sus extracciones son bajas y los abonos son suficientes para compensar las pérdidas por lixiviación, importante en suelos ligeros, o la eventual absorción en suelos ácidos. El magnesio junto al fósforo se encuentra principalmente en las partes crecientes 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.

Este elemento juega un papel principal en distintos procesos vitales: participa en la traslación del fósforo por las plantas, activa algunos fermentos (ejemplo Fosfatasas), acelera la formación de carbohidratos, influye sobre procesos de oxidación – reducción en los tejidos de las plantas. **(Arcos, 2004)**. En la Tabla 6, se muestra las características principales del elemento Magnesio y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 6. Característica principal del elemento Magnesio y los síntomas de su deficiencia en la planta.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Magnesio</b>	Es el componente principal de la clorofila. Combinado con ATP o ADP actúa como activador de enzimas que usan dos sustratos.	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Cuando este elemento se encuentra en bajas concentraciones, la producción de clorofila disminuye, lo que se traduce en clorosis intervenal y finalmente necrosis. En las hojas maduras se presentan primero los síntomas, ellas se tornan quebradizas y enrolladas.

Fuente: Marschner, (1995).

### 2.9.6. Función del azufre

Suple del 0,2 al 0,3 % del extracto seco de la planta; es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la Tabla 7, se muestra las características principales del elemento Azufre y los síntomas de su deficiencia en la planta.

**Tabla 7. Característica principal del elemento Azufre y los síntomas de su deficiencia en la planta**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorción	Síntomas de su deficiencia
<b>Azufre</b>	Es parte integral de los aminoácidos cisteína y metionina. Constituye parte importante de los puentes disulfuro, y por tanto de la conformación de la estructura de las proteínas	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Un descenso en el contenido de azufre causa reducción en la síntesis de proteínas y de todas las moléculas que dependen de este elemento. Así, las hojas jóvenes presentan clorosis, las raíces y los tallos diámetros menores a los normales, pero de mayor longitud. En general, un sistema radical débil pero invasivo y tallos rígidos y quebradizos.

**Fuente: Marschner, (1995).**

### 2.9.7. Los micronutrientes

Hierro, cobre, zinc, cloro, boro y molibdeno, son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta; son comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, y su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. En la Tabla 8, siguiente se muestra las características que presenta los micronutrientes en función en la planta, forma de absorción y su deficiencia.

**Tabla 8. Las principales características de cada uno de los elementos esenciales y los síntomas de su deficiencia en las plantas.**

Elemento	Función en la planta	Forma de absorbido	Síntomas de su deficiencia
<b>Hierro</b>	<p>Es un catalizador involucrado en la activación de enzimas necesarias en las reacciones de óxido-reducción y transferencia de electrones y actúa como transportador de oxígeno.</p> <p>Además actúa como cofactor en la síntesis de clorofila y en el correcto funcionamiento de otras enzimas importantes como catalasa, peroxidasa, ferredoxina y citocromos.</p>	<p><b>Fe<sup>2+</sup></b> <b>Fe<sup>3+</sup></b></p>	<p>Los primeros síntomas incluyen clorosis intervenal y amarillamiento o blanqueamiento de las láminas foliares de las hojas jóvenes. En casos de deficiencia severa, se observan manchas angulares café intervenales y en los márgenes de las hojas un color café oscuro con una apariencia de quemadura.</p> <p>Estos síntomas pueden presentarse en una rama o en la planta entera.</p>
<b>Cobre</b>	<p>Está implicado en la síntesis de clorofila. Es constituyente de la plastocianina, que funciona en la transferencia de electrones y de proteínas con actividad oxidasa.</p> <p>Está implicado en la síntesis de ADN y ARN.</p>	<p><b>Cu<sup>2+</sup></b></p>	<p>Los síntomas de su deficiencia incluyen acortamiento de entrenudos, hojas nuevas que crecen atrofiadas, enanas o retorcidas, débiles y de color verde oscuro, con puntos necróticos. El sistema radical crece atrofiado, y la floración y fructificación se reducen dramáticamente.</p>
<b>Zinc</b>	<p>Este elemento es un activador de enzimas que están implicadas en la regulación de varios procesos metabólicos, como la síntesis de DNA, RNA, proteínas, algunas hormonas (Kalaycia <i>et ál.</i> 1999)</p>	<p><b>Zn<sup>2+</sup></b></p>	<p>En general, los síntomas incluyen un crecimiento atrofiado y acortamiento de entrenudos.</p> <p>Las hojas se tornan amarillas o café, típicamente otoñales y con menor área foliar. Las deficiencias de Zinc pueden elevar los niveles de P,N,Co y He</p>

<p><b>Cloro</b></p>	<p>Está implicado en el mantenimiento del turgor y el crecimiento de las células en situaciones de estrés hídrico.</p>	<p><b>Cl<sup>-</sup></b></p>	<p>Las hojas más maduras se vuelven cloróticas y finalmente necróticas, con un área foliar reducida.</p> <p>Es común el marchitamiento y el atrofiamiento del crecimiento de la planta, además de una reducción en la tasa de transpiración.</p>
<p><b>Boro</b></p>	<p>Importante en la translocación de azúcares y carbohidratos.</p> <p>Sus funciones principales se relacionan con el normal desarrollo de la pared celular, la división celular y el desarrollo de frutas y semillas.</p>	<p><b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b> <b>H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup></b></p>	<p>Su deficiencia causa tallos y peciolo quebradizos, con crecimiento anormal y de color blanquecino.</p> <p>Las hojas jóvenes se presentan primero delgadas y curvadas. El programa reproductivo se ve retrasado o inhibido, y si hay frutos, éstos debido a la deficiencia se pudren con facilidad.</p>
<p><b>Molibdeno</b></p>	<p>Está implicado en la fijación de nitrógeno, en la transformación de nitrato a amonio, y en el metabolismo de carbohidratos.</p>	<p><b>MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b></p>	<p>La clorosis intervenal, que se presenta por esta deficiencia, suele confundirse con la producida por bajos niveles de nitrógeno, adicionalmente se observan manchas y algunas veces enrollamientos en los bordes de las hojas.</p>

Fuente: Marschner, (1995) y Kalaycia *et al.*, (1999).

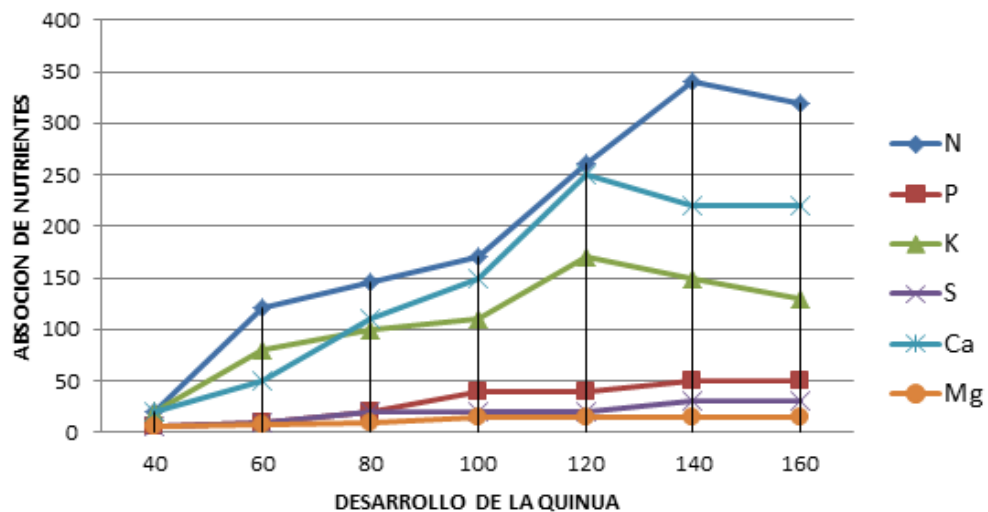
## 2.10. RITMO DE LA ABSORCIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES

Durante el periodo de crecimiento de la planta, hay épocas donde los nutrientes son absorbidos con mayor intensidad; esto ocurre hasta el segundo mes, y luego

alrededor de los 100 días después de la siembra. Estas épocas coinciden con las etapas de mayor desarrollo y de máxima acumulación de materia seca del cultivo.

En la planta, el movimiento de nutrientes desde las hojas y del tallo hacia la panoja (órgano de reserva), se da con mayor intensidad a partir de alrededor de los 105 días después de la siembra.

En el caso del N, el movimiento hacia la panoja es más intenso a partir de los 100 días desde las hojas, y a partir de los 112 días desde el tallo; estabilizándose este movimiento a partir de los 135 días.



**Figura 3.** Absorción de nutrientes por la planta de quinua (Nishikawa *et al.*, 2012).

## 2.11. CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LAS DIFERENTES ÓRGANOS DE LA PLANTA

Los nutrientes dentro de la planta se distribuyen de forma desigual, siendo las panojas más ricas en N, P y las hojas en K. En las plantas jóvenes la composición de nutrientes (%) es mayor que en las viejas.

**Cuadro 1. Contenido nutricional en los diferentes órganos de la planta.**

<b>ORGANO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (ppm)</b>	<b>K (mq)</b>	<b>S (mq)</b>	<b>Ca (mq)</b>	<b>Mg (mq)</b>
<b>RAIZ</b>	67 dds	2.28	0.26	1.00	0.07	1.04	0.06
	135 dds	1.58	0.09	1.00	0.05	0.80	0.06
<b>TALLOS</b>	67 dds	2.98	0.37	1.45	0.21	0.80	0.09
	135 dds	1.08	0.18	0.83	0.12	0.64	0.03
<b>HOJAS</b>	67 dds	3.60	0.30	2.45	0.35	2.48	0.18
	135 dds	2.28	0.26	1.63	0.44	4.08	0.047
<b>PANOJA</b>	67 dds	4.08	0.51	1.45	0.39	1.60	0.06
	135 dds	2.33	0.32	0.60	0.22	1.44	0.09

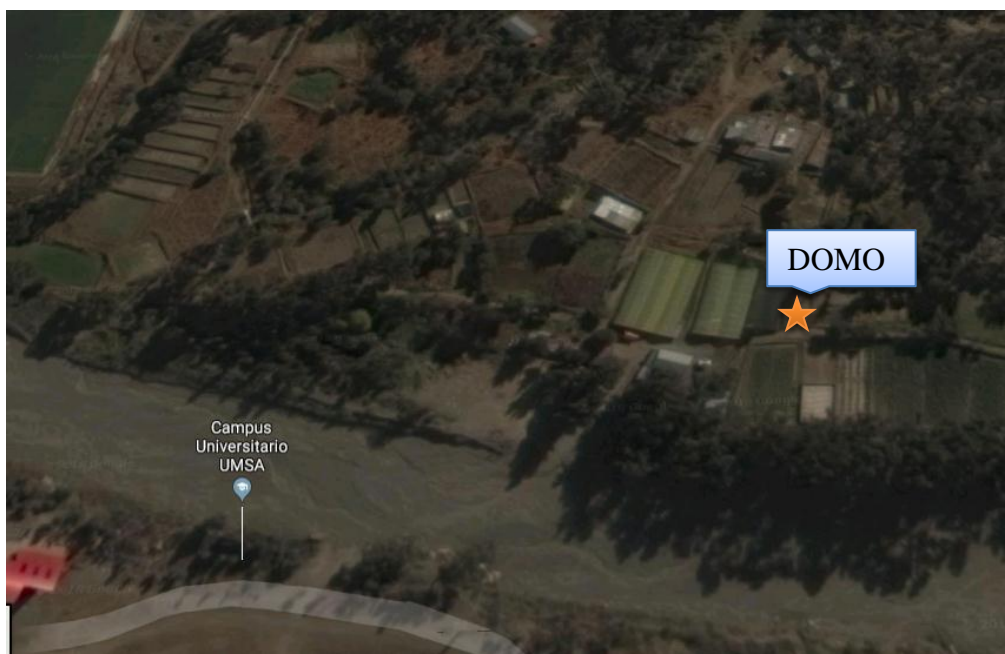
Fuente: FAO, (2012).

### 3. LOCALIZACIÓN

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía perteneciente a la Universidad Mayor De San Andrés ubicada al sur de La Ciudad de La Paz a una altura de 3435 m.s.n.m. Geográficamente se encuentra ubicada a 16° 32" 11.5 latitud Sur y 68° 03" 48.1 longitud Oeste, y a una distancia aproximada de 25 km al Sur de la ciudad de La Paz (El trabajo fue realizado en un ambiente protegido, para controlar el riego).

**Figura 4. Mapa de ubicación del lugar de investigación.**



**Fuente: Google Maps (2018).**

#### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

La zona está conformada por paisajes accidentados, con características de topografía ondulada, las pendientes alcanzan hasta 30%. La vegetación local está representada por diversas especies de la familia Poaceae, Chenopodiaceae,



Asteraceae y algunos arbustos menores (**Díaz, 1998**). La precipitación media anual es de 520 mm, siendo el mes de marzo el que registra la mayor precipitación, presentando un valor máximo de 90 mm, los meses más secos son mayo y agosto con precipitaciones mínimas de 0 mm (**SENAMHI,2017**).

Las temperaturas máxima y mínima están entre 21°C y 5°C, las temperaturas extremas están entre 25° y -5°C.

### **3.3. CARACTERÍSTICA DE LA CARPA SOLAR (DOMO)**

En la carpa se realizó el trabajo de investigación, esta carpa esta automatizada ya que cuenta con dos ventilaciones que llega a una temperatura de 38°C se abre automáticamente, también cuenta con tres respiradores automatizado y dos ventanas que al llegar a 36°C se abren automáticamente.

**Fotografía 1. Lugar donde se realizó el trabajo de investigación.**



### 3.4. CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA CARPA SOLAR (DOMO)

#### 3.4.1. Temperatura máxima y mínima

De acuerdo al Cuadro 2, el comportamiento de la temperatura al interior del ambiente controlado, durante el periodo del trabajo de investigación (octubre a diciembre 2017).

**Cuadro 2. Temperaturas máximas y mínimas promedio registrado en el ambiente controlado (°C)**

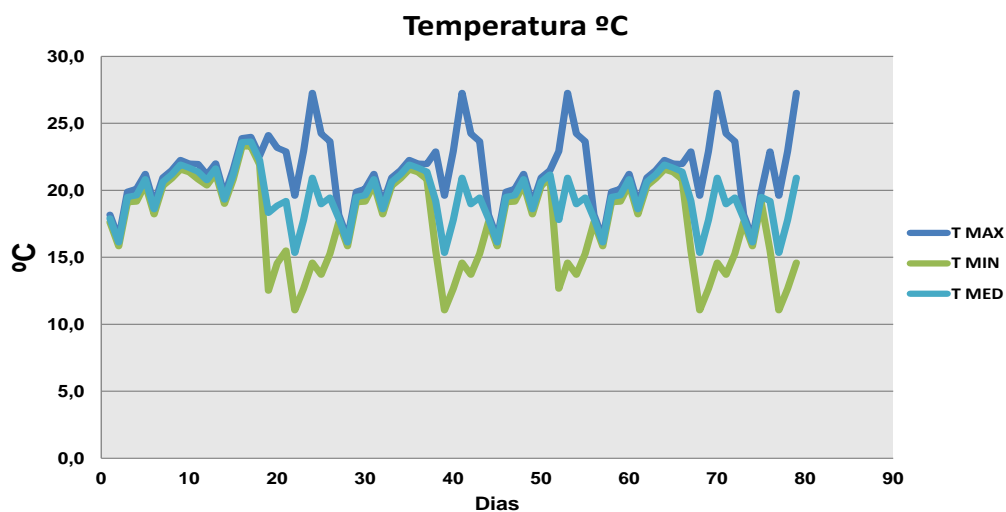
	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>T máxima</b>	21,02	21,59	20,96
<b>T mínima</b>	18,29	11,48	16,4

De la misma forma la temperatura mínima fue de 11,48°C, en el mes de noviembre, durante el desarrollo y crecimiento del cultivo se observaron efectos negativos por la temperatura máxima que fue de 21,59°C en el mes de noviembre, en la fase de la formación de desarrollo; **Jacobsen et al., (1999)**, mencionan que la temperatura adecuada para el crecimiento de la quinua es de 15 a 20°C, pero también puede crecer a temperaturas medias de 10 a 25°C, las temperaturas extremadamente altas puede haber causado el aborto de la flor no llegando a formar grano, esta es una de las razones por las que no se midió el rendimiento ya que no representa la realidad.

De acuerdo a **Gudiel (1987)**, los cambios bruscos de temperatura, afectan el comportamiento fisiológico de la planta afectando negativamente a través de la amplitud térmica, la cual ocasiona hasta muerte de la planta, y coincide con lo que paso en el experimento; la temperatura alta en el mes de noviembre, en el experimento se observó que con la temperatura de 21,59°C, coincidiendo con lo encontrado por **Jacobsen et al., (1999)**, eso nos reafirma que los cambios bruscos de temperatura afectan la fisiología de la planta.

En la Figura 5, puede observarse la diferencia que se produce al interior del ambiente protegido por el domo, que entre los meses de octubre, noviembre y diciembre, se registraron las temperaturas más elevadas de (23.3, 26.6 y 24 °C), uno de los problemas que se identificó fue las temperaturas altas por que el ambiente controlado se detuvo ya que era por falta de energía o un corto circuito.

**Figura 5. Temperatura máxima media y mínima registrada dentro del ambiente controlado.**



La cantidad de agua aplicada en un inicio del experimento con la primera cubierta, mantenía la humedad en el sustrato por la que existió poca perdida de agua, esto a causa de menor evapotranspiración del cultivo y la planta por la falta de radiación solar no llegaba a realizar fotosíntesis, y por lo tanto la planta en esa etapa no tuvo un buen desarrollo.

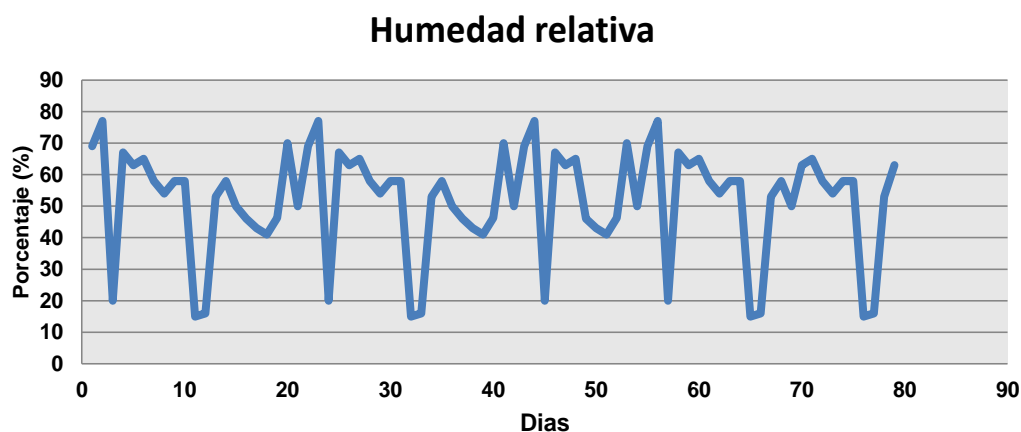
En el mes de noviembre se observó que las plantas ya comenzaron a presentar déficit de nutrientes, además los tratamientos empezaron a sufrir un decaimiento por las altas temperaturas y también una gran cantidad de evapotranspiración de las plantas, por lo tanto en el sustrato la planta no haya llegado a absorber los nutrientes requeridos por la planta, y eso también puede ser una de las causas por la cual nuestro experimento no obtuvo un buen desarrollo fisiológico.

### 3.4.2. Humedad relativa del ambiente (%)

La humedad relativa del ambiente fueron en los meses de octubre, noviembre y diciembre, lo que pudo influir directamente sobre la humedad al interior del ambiente protegido. Por lo contrario, normalmente podría darse en estos casos que a mayor cantidad de biomasa formada dentro del ambiente protegido debería registrarse mayor vapor de agua, pero como fuera del ambiente estas variables climáticas pudieron ser influenciadas directamente por las temperaturas y humedad al exterior del domo.

La humedad relativa que se produjo dentro del ambiente protegido influyó en el desarrollo de la planta **Mujica et al., (2001)** indican que la quinua se adapta bien para crecer en un amplio alcance de la humedad relativa hasta 85 %, con la atención especial para el ataque del moho. En el ambiente protegido se encontró una humedad de 96 %, por ser un ambiente casi cerrado en comparación de la humedad del altiplano donde el viento corre libremente, es por esa razón que por la alta concentración de la humedad relativa y por las altas temperaturas se produjo un aborto de la flor a los 105 días DDS en la fase de formación de grano lechoso y por esa razón la planta no llegó a la totalidad de su madurez fisiológica.

**Figura 6. Humedad relativa (%) al interior del ambiente protegido en la fase de desarrollo del cultivo.**



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. MATERIALES

#### 4.1.1. Material biológico

Para la realización del ensayo se utilizó semilla de Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), con la variedad a estudiar fue Jacha grano, mismas que fueron proporcionadas por la estación experimental de Patacamaya dependiente de la Facultad de Agronomía UMSA - La Paz y su respectiva siembra en la Estación Experimental de Cota Cota. Para la muestra de suelo se sustrajo del Departamento de Oruro, de la provincia Ladislao Cabrera, Municipio Garci Mendoza.

#### 4.1.2. Fertilizante químicos

Como fuente de nutrientes para el cultivo de la quinua, se utilizó fertilizantes químicos, las mismas fueron adquiridas del mercado, estos compuestos químicos incluyen urea, fosfato di-amónico, cloruro de potasio, sulfato de magnesio como fuentes de los macronutrientes y como micronutrientes (fertión) (Anexo 11). Las sustancias utilizadas y su composición química se detallan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Fertilizantes químicos utilizados como fuente de nutrientes para el desarrollo del cultivo.**

NUTRIENTES	FERTILIZANTES	FUENTES
MACRONUTRIENTES	Nitrógeno	$\text{CO}(\text{NH}_2)^1$
	Fósforo	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_3$
	Potasio	KCl
	Magnesio	$\text{SO}_4 \text{Mg}$
MICRONUTRIENTES	Manganeso	Mn
	Hierro	Fe
	Cobre	Cu
	Cinc	Zn
	Boro	B
	Molibdeno	Mo

#### **4.1.3. Materiales de campo**

Los materiales que se usaron fueron: bidones de aceite que se pintó de negro (macetas - drenaje), cinta métrica, palas, cámara fotográfica, marbetes, bolsas de plástico, calibrador vernier, libreta de campo, probeta para riego.

#### **4.1.4. Materiales de laboratorio**

Probeta de 1000 ml, agua destilada para la (preparación de soluciones nutritivas concentradas), pipeta y vaso de precipitado de 500 ml, varillas de vidrio.

#### **4.1.5. Material de gabinete**

Computadora, programa de registro, planillas de Excel y material de escritorio.

#### **4.1.6. Equipo**

Kjeldhal, Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Mufla, pH-metro, Conductímetro Agitador eléctrico y Balanza analítica.

#### **4.1.7. Reactivos**

Solución reveladora, Bicarbonato de sodio, Carbón activo, Cloruro de cesio acidificada, Lantano, Cloruro de amonio, Hidróxido de amonio, Acetato de amonio, Ácido bórico, Hidróxido de sodio, Catalizador, Ácido sulfúrico, Indicador (difenilamina), Sulfato ferroso di amoniaco hexahidratado, Dicromato de potasio, Ácido fosfórico, Cloruro de potasio y Hexametáfosfato de sodio.

## 4.2. METODO

### 4.2.1. Diseño experimental

La investigación se realizó bajo el diseño experimental completamente al azar. El modelo estadístico se basará en los procedimientos recomendados por **Colgado (1982)**. Donde las macetas están repartidas por 10 tratamientos y 4 repeticiones, dando un resultado de 40 unidades experimentales más el testigo.

**Cuadro 4. Tratamiento de la investigación.**

No	Tratamiento	Repetición
1	Suelo	4
2	Suelo + Nitrógeno	4
3	Suelo + Fosforo	4
4	Suelo + Potasio	4
5	Suelo + Magnesio	4
6	Suelo + NP	4
7	Suelo + NK	4
8	Suelo + PK	4
9	Suelo + NPK	4
10	Suelo + NPK+Mg+MN	4

### 4.2.2. Modelo estadístico

Diseño completamente al Azar

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

**Dónde:**

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento i.

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio, donde  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

**4.2.3. Características de los tratamientos**

El croquis experimental y la disposición de las unidades experimentales en las macetas se detallan en el Anexo 2.

**4.2.4. Características de las unidades experimentales**

De acuerdo al diseño experimental, se formularon 10 tratamientos, los cuales se mencionaran a continuación. En el cuadro 4, se muestra la dosificación para cada tratamiento.

**Cuadro 5. Diseño de dosificación para cada tratamiento**

Tratamiento	Dosis (kg/ha)	Fuente	%	Urea	FDA	CLK	SO <sub>4</sub> Mg	FTE BR -12	
				mg					
T1	SUELO								
T2	N	200	Urea	46	346,8				
T3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	250	FDA	46		433,5			
T4	K <sub>2</sub> O	150	CLK	50			239,3		
T5	Mg O	60	SO <sub>4</sub> Mg	16				299,1	
T6	NP				346,8	433,5			
T7	NK				346,8		239,3		
T8	PK					433,5	239,3		
T9	NPK				346,8	433,5	239,3		
T10	NPKMg micro	60	Fetrilon combi	90	346,8	433,5	239,3	299,1	55,00



#### 4.2.5. Preparación del sustrato

Previamente a la siembra se, preparó el sustrato por el cual se utilizó suelo del Intersalar, luego se pasó a realizar la mezcla homogénea y se puso a las 40 mesetas luego se pasó a regar para que estuviera a capacidad de campo.



**Fotografía 2. Preparación del sustrato en las macetas.**

#### 4.2.6. Siembra

El trabajo de investigación se llevó acabo el 2017, la siembra se realizó el 14 de octubre y la cosecha fue el 31 de diciembre del 2017. El método de siembra que se utilizó fue 4 puntos de la maceta, incorporando de 5-4 semillas en cada punto por maceta, esto con el fin de asegurar la germinación.



**Fotografía 3. La siembra de la quinua.**

#### **4.2.7. Preparación de la solución nutritiva**

Las soluciones nutritivas fueron preparadas en el laboratorio de física de suelos de la Facultad de agronomía (UMSA), para el cual se utilizaron los fertilizantes químicos ya antes mencionados en el cuadro 1, el procedimiento se describe a continuación.

1. Primeramente se realizó el pesado de cada elemento químico según la cantidad requerida por la planta. Las cuales se muestran en el cuadro 3.
2. Se realizó las combinaciones para cada tratamiento y el peso total se trabajó para 1 litro de agua.
3. En un vaso de precipitado de capacidad de 500 ml se incorporaban las sales para la dilución, en este caso se preparaban los macronutrientes ( N, P ,K y Mg ) por separado y en otros vasos se preparaban los combinados de (N+P), (N+K), (P+K), (N+P+K) y (N+P+K+Mg+Fertilon1) esto para que no exista la precipitación de las mismas, ya que existen sales que no pueden ser mezcladas, como el fosfato diatómico por la precipitación que llega a presentar, más al contrario sucede con la mezcla de las demás sales se disolvieron con facilidad y se aumentó mezcla final con agua, esto con el fin de tener mejor resultado de las soluciones preparadas.
4. Para una mejor dilución de las sales se agitó, para que la mezcla sea más homogénea, luego se incorporó a una probeta y se lavó las paredes del vaso de precipitado con agua destilada, y se aforó a un litro. La preparación de las soluciones nutritivas se realizó con agua potable de la estación experimental de cota cota, cada semana en el laboratorio de física de suelos de la UMSA facultad de agronomía, se fue pesando los fertilizantes hasta la conclusión del trabajo de investigación.

#### **4.2.8. Riego**

El riego se efectuó dos veces a la semana pero solo se dosificó una vez a la semana con una regadera la cual tenía una capacidad de 1 litros, la cantidad de agua aplicado fue de 250 ml/maceta la misma cantidad fue utilizado de agua para todos los tratamientos, la diferencia fue las diferentes soluciones preparadas para los tratamientos.

#### **4.2.9. Labores culturales**

Después de las dos semanas, luego de la siembra, se procedió al raleo de algunas plantas dejando en cada maceta 4 plantas. En el periodo del cultivo se realizó 2 desmalezados, como era en sustrato no se encontró muchas malezas, más bien los problemas que se encontraron las primeras semanas fueron la presencia de sales como se muestra en la fotografía 5.

Otro problema fue la humedad, debido a ello empezaron a aparecer cochinillas alrededor de algunas macetas, para ello se limpió los lugares, también hubo la presencia de hormigas pero no en gran cantidad. La cosecha se realizó el 30 de diciembre del 2017, pese a que no se culminó el ciclo vegetativo del cultivo la misma ya estaba en etapa de aparición de las flores (estado lechoso).

#### **4.2.10. Análisis de laboratorio**

Para realizar el análisis del suelo se hizo el muestreo de cada tratamiento, se tomó una cantidad de muestra de suelo seco y se trasladó las muestras a instancia de la Facultad de Agronomía para llevar acabo el análisis respectivo. Los análisis se realizó el 12 de febrero de 2018, también se realizó el análisis vegetativo de la quinua solo el tallo en marzo del presente año.

### 4.3. VARIABLES AMBIENTALES

#### 4.3.1. Determinación de la temperatura y humedad de la carpa

La temperatura y humedad del Domo fue determinada con un instrumento meteorológico que tomó datos de las temperaturas máximas y mínimas, como también la humedad de la carpa.



**Figura 7. Equipo meteorológico Vantage Pro2.**

### 4.4. VARIABLES AGRONÓMICAS

#### 4.4.1. Altura de planta (cm)

El registro de esta variable fue tomada de cada unidad experimental las cuales en cada una de las unidades presentaba cuatro plantas, y fue de donde se obtuvieron promedios de altura, estos datos fueron registrados en 11 fechas hasta la cosecha.



**Fotografía 4. Medición de la altura de la planta.**

#### 4.4.2. Diámetro de tallo (mm)

Paralelamente al registro de la variable altura de planta, se procedió a medir el diámetro de tallo, las plantas medidas fueron las mismas que fueron escogidas para la variable altura de planta.



**Fotografía 5. Medición del tallo**

#### 4.4.3. Profundidad radicular (cm)

Esta variable fue tomada a la cosecha, de todos los tratamientos y de la misma manera sacando promedios de cada unidad experimental.



**Fotografía 6. Profundidad radicular**

## 4.5. VARIABLES FISIOLÓGICAS

### 4.5.1. Cantidad de clorofila

Esta variable fue tomada una vez que las plantas ya empezaron a presentar falta de nutrientes, que fue a la sexta fechas a la cosecha se midió con la ayuda de un clorometro.



**Fotografía 7. Medición de la clorofila de la hoja.**

### 4.5.2. Porcentaje de proteína del tallo (%)

Para determinar la cantidad de porcentaje de proteína, se multiplicó el porcentaje de Nitrógeno total por el factor de 6.25, ya que se asume que el tejido vegetal, se da por cada 100% de proteína se tiene 16% de nitrógeno total.

$$\%Proteina = NT \times 6.25$$



**Fotografía 8. Medición de la proteína del tallo de la planta.**

## 4.6. VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELO

### 4.6.1. Potencial de hidrogeniones

Esta variable se midió con la ayuda de un Benchtop pH/Conductivity Meter al finalizar la investigación, se pesó 10 gramos de suelo y 50 ml de agua destilada para los 40 tratamientos.



**Fotografía 9. Medición del pH del suelo.**

### 4.6.2. Conductividad eléctrica

Esta variable se midió con la ayuda de Benchtop pH/Conductivity Meter al finalizar la investigación, se pesó 10 gramos de suelo y 50 ml de agua destilada para los 40 tratamientos.

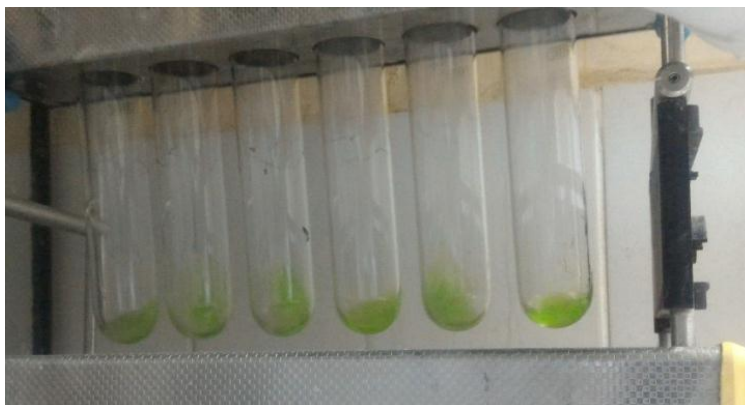


**Fotografía 10. Medición del CE del suelo.**



#### 4.6.3. Nitrógeno total (%)

Esta variable se midió con la ayuda de Equipo de Kjeldahl al finalizar la investigación, se pesó 0,5 gr. de suelo, aplicándole una pastilla catalizadora y 8 ml de ácido sulfúrico para los 10 tratamientos.



**Fotografía 11. Medición de nitrógeno total del suelo.**

#### 4.6.4. Fósforo disponible

Esta variable se midió con la ayuda de Equipo de Espectrómetro al finalizar la investigación, se pesó 10 gramos de suelo, aplicándole una pastilla catalizadora y 8 ml de ácido sulfúrico para los 10 tratamientos.



**Fotografía 12. Medición del fósforo disponible del suelo.**



#### 4.6.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Esta variable se midió con la ayuda de Equipo de Absorción Atómica, esto fue al finalizar de la investigación, se preparó la muestra para analizarla, por lo cual se utilizó Hidróxido de sodio, Acido bórico, Acetato de amonio, Hidróxido de amonio, Cloruro de amonio, Lantano y Cloruro de cesio acidificada para los 10 tratamientos.



**Fotografía 13. Medición del intercambio catiónico en el suelo.**

#### 4.6.6. Materia orgánica (%)

Esta variable se midió para determinar si el suelo aumentó o disminuyó la cantidad de materia orgánica en el suelo, para ello se preparó las muestras con Ácido sulfúrico, Ácido fosfórico, Dicromato de potasio, Sulfato ferroso di amoniaco hexahidratando y Indicador (difenilamina).



**Fotografía 14. Medición de la materia orgánica del suelo.**

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Características físicas y químicas del suelo del salar

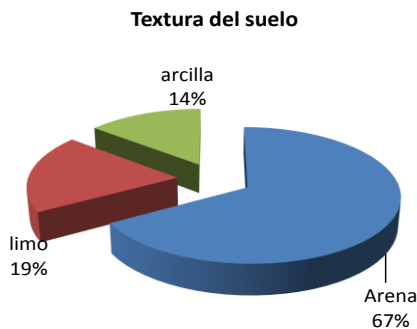
Para la presente investigación, los suelos fueron obtenidos de una parcela de quinua, en la cual se había establecido este cultivo en un primer año, es decir que el suelo presenta características de un terreno recién barbechado. El suelo fue llevado a la Facultad de Agronomía donde se realizaron los análisis correspondientes a las características físicas y químicas. La Tabla 9 muestra, los valores de los parámetros físicos de la capa arable donde se evaluó el elemento faltante en el cultivo de la quinua.

**Tabla 9. Parámetros Físicos de la capa arable de los suelos del intersalar donde se desarrolla la quinua (Altiplano Sur).**

Prof (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Dap g/cm <sup>3</sup>	Densidad Real g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %
	Porcentaje						
0-20	66	19	14	Franco Arenoso	1.35	2.65	49.05

#### 5.1.1. Textura

La textura del suelo se caracteriza por presentar mayor contenido de arena, lo que incide en la baja capacidad de este horizonte para almacenar agua, mayor infiltración, estabilidad estructural débil y otros. (Figura 8).

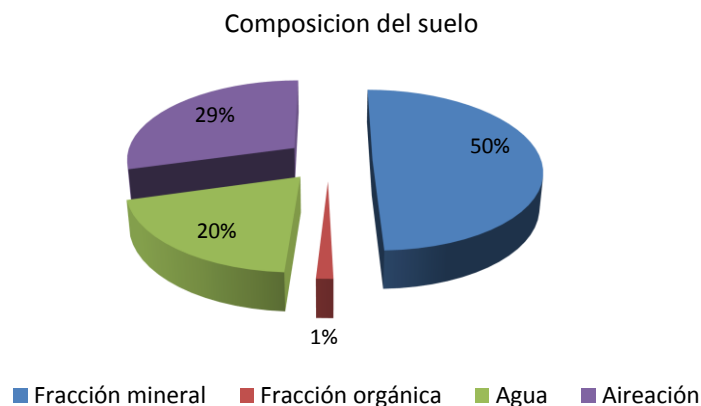


**Figura 8. Distribución de Arena, limo y arcillas en el suelo donde se desarrolla la quinua en el Intersalar.**

Los suelos del Intersalar se caracterizan por presentar texturas gruesas. Trabajos realizado por **Miranda et al., (2016)**, en la Provincia Ladislao Cabrera, en el Municipio de Garci Mendoza encontraron suelos con valores por encima del 70% de arena. Esta característica hace que los suelos sean susceptibles a la erosión eólica, lo que incide en la baja capacidad productiva de estos suelos. Otros autores como **Inda (2010)**, **Huanca (2008)**, que trabajaron en el intersalar, también encontraron texturas con valores de 60 a 70% de arena, 14% de arcilla y 22% de limo. Según estos autores, estas texturas contienen menores reservas de materia orgánica y nitrógeno, ya que la materia orgánica tiende a oxidarse con mayor rapidez y disminuir su contenido en el suelo (**Chilon, 1997**).

### 5.1.2. Densidad aparente, real y porosidad

La densidad aparente es un parámetro que sirve para calcular el peso del suelo y estimar el grado de compactación del mismo. En la Figura 9, los suelos del intersalar, con el que se desarrolló la investigación, presentan una densidad aparente de 1,35 g/cm<sup>3</sup>, de acuerdo a **Soil Water Characteristic (2010)**, suelos de textura franco arenosa presentan valores de densidad aparente de 1.35 g/cm<sup>3</sup>



**Figura 9. Composición del suelo del Intersalar (Altiplano Sur).**

## 5.2. Características químicas del suelo del salar

En zonas áridas y semi-áridas como el Altiplano Boliviano, el contenido de nitrógeno total en el suelo varía de 0.01 a 0.09 % (un ejemplo de suelos del Altiplano Sud se presenta en la Tabla 10). Cabe mencionar que la dinámica de los nutrientes en los suelos altamente depende de condiciones ambientales como la humedad, temperatura, textura del suelo, manejo y población de micro organismos.

**Tabla 10. Parámetros Físicos de la capa arable de los suelos del intersalar donde se desarrolla la quinua (Altiplano Sur).**

Prof (cm)	pH	C.E. dS/m	Ca	Mg	K	Na	CIC	MO	NT	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
			meq/100 gramos de suelo					%	%	Ppm
0 – 20	7.07	0.21	10.42	5.87	1.08	0.49	20.01	1.45	0.03	26.88

### 5.2.1. pH y C.E.

En la Tabla 10, muestra los resultados del análisis químico del suelo, se observa que la capa arable del trabajo experimental presentó un pH de 7.07 ligeramente ácido (**Chilón, 1997**), valor que se encuentra dentro del rango de crecimiento.

Se ha observado que da producciones buenas en suelos alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y de Perú, así también en condiciones de suelos ácidos de 4.5 de pH, en la zona de Michiquilla y en Cajamarca, Perú recomendado por **Mújica, et al., (1997)**.

Las parcelas de zona presentan un carbonato total (%CaCO<sub>3</sub>) de 0.53 % con un nivel de calificación bajo, lo que indica que en estos suelos no existe toxicidad para los cultivos, y una conductividad eléctrica baja (**Chilón, 1997**) de 0.21 dS/m, valor que indica que no hay problemas de sales que puedan causar daño al cultivo.

### 5.2.2. CIC

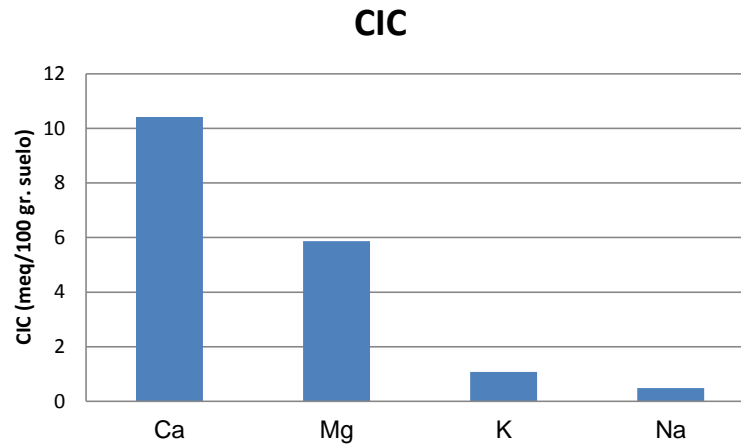
En unidades del sistema internacional, se expresa (CIC) en centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo, cmol (+) kg<sup>-1</sup> o bien cmolc kg<sup>-1</sup>. Con anterioridad se venía utilizando como unidad el meq/100g, cuyo uso se halla todavía muy extendido. El valor numérico es el mismo con ambas unidades **(Huerta, 2010)**.

En el Tabla 10, se muestra el análisis de capacidad de intercambio catiónico bajo de 20.01 meq/100 g de suelo debido a la clase textural franco arenosa, mientras que la arcilla tiene alta capacidad de retención e intercambio de cationes también mayor retención de agua **(Chilón, 1997)**. Pero en suelos de textura fina, el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes y finalmente presenta una C.E de 0.70 mmhos/cm, es considerada como C1 de baja C.E.

Según **USDA, (1975)**, altas concentraciones de C.E ocasiona una sustancial reducción en los rendimientos de muchos cultivos, salvo que se traten de cultivos tolerantes a las sales. De acuerdo a los resultados y a la clasificación de USDA el agua utilizada para el riego de la quinua no tiene peligro de salinización, así también se puede utilizar para el riego de otros cultivos.

En el Figura 10, se muestra el análisis de suelo en cuanto a Ca se obtuvo 10.42 meq/100 gr suelo, **(Fernández y Rojas, 2006)**, menciona que mayor a 10 existe una alta concentración de calcio en el suelo.

Los suelos antiguos, altamente meteorizados y lavados bajo condiciones húmedas, generalmente tienen bajos niveles de Ca<sup>2+</sup>. En ambientes áridos los altos contenidos de Ca en las capas más superficiales pueden presentarse en forma de acumulaciones de yeso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) **(Mengel y Kirkby, 2000)**.



**Figura 10. Micro elemento en el suelo Intersalar - Uyuni**

Las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo normalmente superan a las requeridas para un crecimiento apropiado de las plantas; pese a ello ejercen poco efecto sobre la  $\text{Ca}^{2+}$ , puesto que la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  es genéticamente controlada. En este sentido la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en la solución del suelo es cerca de 10 veces mayor a la del  $\text{K}^+$ ; pese a ello su toma es menor que este nutriente (**Havlin et al., 1999**).

Para **Fernández y Rojas (2006)**, el parámetro de Potasio ( $\text{K} = 5.87 \text{ meq}/100 \text{ gr}$  suelo), nos dice que son suelos que presentan alto contenido de potasio en el suelo.

La mayor parte de K de la corteza terrestre se encuentra unido a minerales primarios o está presente en las arcillas secundarias que conforman ampliamente la fracción arcillosa. Los suelos arenosos muy meteorizados contrastan marcadamente con los suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos, en los que los contenidos de arcilla y de K son generalmente altos (**Mengel y Kirkby, 2000**).

**Fernandes y Rojas (2006)**, mencionan que para el parámetro de magnesio ( $\text{Mg} 1.08 \text{ meq}/100 \text{ gr}$  suelo), presenta un clase media en el suelo.

El Mg, permanece en la planta en forma iónica. Forma parte de la molécula de clorofila, su deficiencia inhibe la producción del pigmento. Además, estabiliza las

partículas de ribosomas. Intervienen en muchas reacciones enzimáticas implicadas en la respiración, fotosíntesis, síntesis de ARN y ADN; en la síntesis de nucleótidos purínicos (Galvis, 2017).

FAO (2009), nos muestra que el parámetro de Sodio (Na 0.49 meq/100 gr suelo), presenta una clases baja en el suelo. El sodio es esencial para las plantas halófilas las cuales acumulan sales en sus vacuolas para mantener el turgor y su crecimiento. El efecto benéfico del Na en el crecimiento de las plantas se observa en suelos con baja concentración de K, debido a que el Na<sup>+</sup> puede sustituir parcialmente al K<sup>+</sup>, (Millar, 1962).

### 5.2.3. Materia Orgánica y Nitrógeno Total (%).

El análisis químico del suelo muestra un contenido bajo de nitrógeno total de 0.03 %, este valor es bajo a efecto de la sobre explotación de los suelos con un monocultivo y a la vez se tiene un bajo contenido de materia orgánica con un valor de 1.45 % (Chilón, 1997).

En la figura 11, se muestra el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total que presenta el suelo de la Comunidad Saytoko.

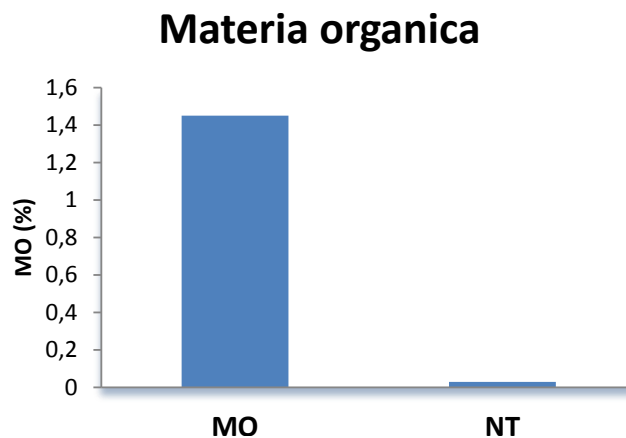


Figura 11. Comportamiento de la materia orgánica y nitrógeno total de los suelos del Intersalar (altiplano del sur).

El suelo si es apto para el cultivo de la quinua, pero la falta de nutrientes en el suelo no llega a favorecer en el buen rendimiento del cultivo, dentro de una de las limitantes se encuentra un incremento en la mano de obra en la incorporación del abono y otra limitante es la falta de abono en el sector, ya que no todos los productores de quinua cuentan con los ganados que les provean al abono requerido.

Para **Fassbender (1986)**, el contenido de nitrógeno total en los suelos presenta un amplio rango, pero es común el comprendido entre 0.2 y 0.7% para la capa arable. Los suelos arcillosos contienen mayores cantidades de nitrógeno que los limosos y los arenosos. Los factores edáficos como el pH, el drenaje y la presencia de inhibidores influyen sobre los microorganismos del suelo y el contenido de nitrógeno. El nitrógeno orgánico representa comúnmente entre el 85-95 % del nitrógeno total, buena parte de su naturaleza química es desconocida, las formas inorgánicas por lo general constituyen solo el 2 % del nitrógeno total del suelo.

#### **5.2.4. Fósforo**

Para la determinación del fosforo se utilizó la metodología de Olsen del que nos dio los siguientes resultados para ello de determino que el suelo del inter-salar es de 26.88 ppm.

El Fósforo es un elemento de gran importancia en la nutrición de las plantas y con frecuencia presenta limitaciones en la fertilidad de los suelos. El contenido de P disponible en el suelo se expresa en mg/l o ppm, siendo el nivel crítico de 10 mg/l, esto significa, que existe 10 kg de P por cada millón de kg de suelo. Las formas en la que el fósforo es absorbido por las plantas son  $H_2PO_4^{-1}$  y  $HPO_4^{-2}$ , siendo el primero el más absorbido por el vegetal. El fósforo orgánico provee sitios de baja energía de adsorción contribuyendo a la fracción lábil del P del suelo. En cuanto a su disponibilidad, el pH del suelo, ha sido identificado como el factor más importante en la regulación del fósforo disponible, en general, se considera que la disponibilidad de fósforo es óptima a pH de 6 a 7.



### 5.3. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE QUINUA BAJO DIFERENTES DOSIS DE NUTRICIÓN

#### 5.3.1. Altura de planta

El análisis de varianza para la altura de planta del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (9.37%) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Comparación de los tratamientos para la variable altura de planta.**

Tratamiento	Altura de la planta (cm)	Tukey (5%)
Suelo +N	34,11	a
Suelo +NK	34,07	a
Suelo +NPK	33,69	a
Suelo +P	33,27	a b
Suelo+ NPKMg+MN	33,09	a b
Suelo +NP	32,84	a b
Suelo +PK	31,99	a b
Suelo	28,83	b c
Suelo +K	28,74	b c
Suelo +Mg	24,63	c

**Nota:** N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Mg: Magnesio y MN: Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados donde el T2 (Suelo +N), T7 (Suelo +NP) y T9 (Suelo +NPK), presentan nitrógeno (urea) ya que la planta necesitaba para su desarrollo, en comparación de los demás tratamientos, T3 (Suelo + P), T10 (Suelo + NPKMg+MN), T6 (Suelo + NP), T8 (Suelo +PK), los cuales se encontraban en condiciones de déficit por la falta de uno de los nutrientes esenciales para su crecimiento, T1 (Suelo), T4 (Suelo + K), presentaron menor altura fue alcanzada, esto también fue por el T5 (Suelo + Mg) por lo que podría decirse que el magnesio incide en el desarrollo de la planta.

**Rodríguez (1989)**, menciona que, el nitrógeno es uno de los elementos esenciales más importantes para la planta ya que una de las funciones que cumple es la de intervenir en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis, multiplicación, diferenciación celular y la herencia, además de estimular el aumento del número y tamaño de las células foliares lo cual influye en el proceso global del crecimiento.

Al respecto **Rodríguez (1982)**, menciona que los síntomas generales de deficiencia de nitrógeno son: menor crecimiento, debilitamiento de la planta y caída de las hojas, **Chilón (1997)**, corrobora que los síntomas de deficiencia de nitrógeno, se observa generalmente en las hojas más viejas, donde las plantas presentan un aspecto raquíptico y pálido, la deficiencia de N, limita la producción de clorofila que también trae como consecuencia la disminución del crecimiento.

En otro estudio bajo las mismas condiciones en la planta de quinua las plantas cultivadas bajo deficiencia de nitrógeno (N), hubo escaso crecimiento y síntomas generalizados tales como las hojas amarillentas con ápices necrosados en las más viejas y raíces abundantes, largas y engrosadas **Fuente, et al., (2005)**.











Por lo mencionado anteriormente, se puede observar que el desarrollo de la planta tuvo una respuesta favorable a la combinación de la dosificación en el T2 con la dosis de nitrógeno, esto se hace posible por la disponibilidad de nutrientes totales que existía en el sustrato, de donde la planta obtuvo los nutrientes necesarios para su desarrollo, aunque influyo de una manera directa las condiciones del sustrato en las que se desarrolló el cultivo que no fueron los adecuados.

**Rodríguez (1991)**, menciona que existen algunas reacciones fisiológicas en el ciclo de la vida de las plantas. En efecto el crecimiento también es limitado por condiciones desfavorables ambientales, generalmente más de una condición ambiental integra como el principal factor controlador, pudiendo modificar su acción (luz, temperatura y agua).

### 5.3.2. Diámetro de tallo

El análisis de varianza para el diámetro de tallo del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (11,69 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Comparación de los tratamientos para la variable diámetro de tallo.**

Tratamiento	Diámetro de tallo	(mm)	Tukey (5%)
Suelo +NPK		4,01	a
Suelo +NPKMg+MN		3,98	a
Suelo +NP		3,85	a
Suelo +NK		3,59	a
Suelo +N		3,24	a
Suelo +PK		2,24	b
Suelo +P		2,23	b
Suelo		2,08	b
Suelo +Mg		1,88	b
Suelo +K		1,86	b

**Nota:** N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Mg: Magnesio y MN: Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados donde el T9 (Suelo + NPK), T10 (Suelo +NPKMg+MN), T6 (Suelo + NP), T7 (Suelo + NK) y T2 (Suelo + N) son los que mayor diámetro del tallo, esto es porque no hubo deficiencia de nutrientes ya que por lo contrario los tratamientos T8 (Suelo + PK) T3 (Suelo +P) T1 (Suelo) T5 (Suelo +Mg) T4 (Suelo + K) son los que menor diámetro de tallo presentaron por la falta de nitrógeno en el suelo.

**Miller (1939)**, realizando la técnica del elemento nutricional faltante señala que la mayor parte del nitrógeno y fosforo están presentes bajo la forma orgánica y la deficiencia de este elemento hace que las plantas presentes un aspecto raquítico y pálido, no desarrollando la planta y quedando débil. El mismo autor indica que la

deficiencia de nitrógeno, limita la producción de clorofila que también trae como consecuencia la disminución del crecimiento de la planta.

### 5.3.3. Profundidad radicular

El análisis de varianza para la profundidad radicular del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (10,73 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Comparación de los tratamientos para la variable profundidad radicular.**

Tratamiento	Profundidad radicular	(cm)	Tukey (5%)
Suelo +NPKMg+MN		17,25	a
Suelo +N		16,26	a b
Suelo +NP		16	a b
Suelo +NPK		16	a b
Suelo +PK		15,25	a b c
Suelo +K		14,5	a b c
Suelo +NK		14,5	a b c
Suelo +P		14,25	a b c
Suelo		12,88	b c
Suelo +Mg		11,88	c

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T10 (Suelo + NP K+Mg+MN), presenta mayor profundidad radicular a comparación del T2 (Suelo +N), T6 (Suelo + NP), T9 (Suelo + NPK), presentaron la misma profundidad radicular, T8 (Suelo + PK) T4 (Suelo + K), T7 (Suelo +NK), T3 (Suelo +P), nos indica que no hubo diferencia entre tratamientos, T1 (Suelo) y T5 (Suelo + Mg) presenta

menor profundidad radicular, esto puede ser a causa de las deficiencias nutricionales a las que se sometió al experimento del cultivo.

**Chilón, (1997)**, indica que la disponibilidad de nutrientes se define como la fracción del nutriente en el suelo que es accesible a las raíces de las plantas. Para garantizar un crecimiento y desarrollo de los cultivos, las plantas deben ser abastecidas con nutrientes durante todo su periodo de crecimiento, por esto requiere que la concentración de nutrientes en la solución suelo sea mantenida a un nivel adecuado y satisfactorio para el desarrollo de la planta.

**Haynes, (1987)**, hace mención que del crecimiento de la raíz y su desarrollo incluye la disponibilidad de los nutrientes, esto se efectúa de dos maneras: en primer lugar el sistema radicular explora el suelo por los nutrientes de manera que cuanto más denso es aquel tanto más nutrientes tienen la oportunidad de alcanzar las raíces por flujo de masa y por difusión. En segundo lugar el metabolismo de la raíz crea una demanda de nutrientes lo cual también influencia la disponibilidad de los nutrientes.

**Bache (1983)**, menciona que el crecimiento de la raíz y su desarrollo influyen considerablemente en la disponibilidad de los nutrientes, esto se efectúa de dos maneras; en primer lugar el sistema radicular explora el suelo por nutrientes de manera que cuando más denso tienen la oportunidad de alcanzar las raíces por flujo de masa y por difusión. En segundo lugar el metabolismo de las raíces crea una demanda de nutrientes lo cual también influencia la disponibilidad de los nutrientes.

#### **5.3.4. Clorofila de la hoja**

El análisis de varianza para la clorofila de planta del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (10,73 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Comparación de los tratamientos para la variable clorofila de la hoja.**

Tratamiento	Clorofila de la hoja	(mg/m <sup>2</sup> )	Tukey (5%)
Suelo +NPK		51,82	a
Suelo +NP		51,26	a
Suelo +NPKMg+MN		49,04	a
Suelo +NK		48,21	a
Suelo +N		47,64	a
Suelo +P		33,31	b
Suelo +PK		32,98	b
Suelo		17,82	c
Suelo +K		15,85	c
Suelo +Mg		14,69	c

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T9 (Suelo + NPK), T6 (Suelo + NP), T10 (Suelo + NPKMg+MN), T7 (Suelo + NK), T2 (Suelo + N) presenta mayor cantidad clorofila en las hojas, pero los tratamientos T3 (Suelo +P), T8 (Suelo +PK) y T1 (Suelo), T4 (Suelo + K), T5 (Suelo + Mg) esto puede ser a causa de las deficiencias nutricionales a las que se sometió el experimento del cultivo.

Adicionalmente **Molina (2010)**, afirma que la clorofila, aparte de realizar el proceso de fijación de CO<sub>2</sub>, interviene en el crecimiento celular, debido a que el nitrógeno forma parte de la clorofila interviniendo en las fases vegetativas y reproductivas de la planta; además, al igual que el fósforo intervienen en la fotosíntesis y activación metabólica, desempeñando un papel clave en la respiración y el metabolismo energético.

Lo anterior concuerda con **Samra y Arora (1997)**, quienes afirman que el contenido de clorofila en las plantas está estrechamente relacionado con la concentración de nitrógeno en las hojas y, por lo tanto, aumenta la condición nitrogenada del cultivo. Por lo contrario, su reducción disminuye el periodo de floración.

## 5.4. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO FALTANTE

### 5.4.1. Nitrógeno total (%)

El análisis de varianza para nitrógeno total (NT%) del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (35.52 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Comparación de los tratamientos para la variable de Nitrógeno Total NT (%).**

Tratamiento	Nitrogeno total del suelo (%)	Tukey (5%)
Suelo +N	0,12	a
Suelo +NP	0,09	a b
Suelo +NPK	0,08	a b
Suelo +NPKMg+MN	0,08	a b
Suelo	0,07	a b
Suelo +NK	0,06	a b
Suelo +K	0,06	b
Suelo +P	0,05	b
Suelo+Mg	0,04	b
Suelo +PK	0,04	b

**Nota:** N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Mg: Magnesio y MN: Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T2 (Suelo + N) T6 (Suelo + NP), T9 (Suelo +NPK), T10 (Suelo + NPKMg+MN), T1 (Suelo), T7 (Suelo +NK), presenta mayor cantidad de NT (%), en comparación de los demás tratamientos, esto puede ser por que se utilizó solo urea en este tratamiento.

El nitrógeno total NT (%), promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. Se presenta en el protoplasma celular y constituye las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Asimismo, el nitrógeno es

alimento de los microorganismos del suelo, lo que favorece a la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. El N puede ser asimilado por las plantas solo en su forma aniónica de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y catiónica de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Perdomo *et al.*, 1998; FAO, 2014).

#### 5.4.2. Fosforó disponible

El análisis de varianza para fosforó disponible del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (17.36 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Comparación de los tratamientos para la variable de fosforó disponible para la planta.**

Tratamiento	$\text{P}_2\text{O}_5$	(ppm)	Tukey (5%)
Suelo +NPK		54,9	a
Suelo +NP		53,6	a
Suelo +P		52,65	a
Suelo +NPKMg+MN		52,3	a
Suelo +PK		48,8	a
Suelo		26,88	b
Suelo +Mg		19,9	b
Suelo +K		19,18	b
Suelo +N		17,45	b
Suelo +NK		14,93	b

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T9 (Suelo + NPK), T6 (Suelo +NP), T3 (Suelo +P), T10 (Suelo +NPKMg+MN), T8 (Suelo + PK) presenta mayor cantidad de fosforo disponible en el suelo en comparación de los demás tratamientos, T1 (Suelo), T5 (Suelo + Mg), T4 (Suelo +K), T2 (Suelo +N), T (Suelo +NK) esto puede ser por que se utilizó fosfato di-amoniaco en estos tratamientos.



El Fósforo (P), contribuye a la formación de las raíces, frutos y semillas, y a la floración. Es constituyente de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y enzimas. Este elemento participa en las transferencias de energía. El P existe en la solución del suelo como ion orto-fosfato:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en condiciones ácidas, y  $\text{HPO}_4^{2-}$  en condiciones alcalinas (**Busman, 2002**). Las formas disponibles para las plantas representan solo una pequeña fracción del P total contenido en la solución del suelo (**Rojas, 2006**).

#### 5.4.3. Potencial de hidrógeno (pH).

El análisis de varianza para el pH del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (2,51 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Comparación de los tratamientos para la variable de pH.**

Tratamiento	pH	Tukey (5%)
Suelo	7,53	a
Suelo +K	7,43	a
Suelo +Mg	7,42	a
Suelo +PK	7,21	a b
Suelo +P	7,16	a b c
Suelo +NP	6,87	b c d
Suelo +NK	6,81	b c d
Suelo +N	6,78	c d
Suelo +NPK	6,63	d
Suelo + NPKMg +MN	6,57	d

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

En los tratamientos T1 (Suelo), T4 (Suelo +K), T5 (Suelo + Mg) presentan mayor pH en el suelo, por lo tanto los tratamientos T3 (Suelo +K) y T6 (Suelo +NP) se observa que el pH es intermedio ya al utilizar el fosfato diamónico (DAP) ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ). El

DAP tiene un efecto residual ácido sobre los suelos, aunque inicialmente tiene una reacción alcalina (debido al  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) por lo que son muy adecuados para suelos neutros o básicos. Pero cuando aplicamos N,P,K en el suelo estamos haciendo que reduzca el pH del suelo como nos muestra el T9 (Suelo +NPK) y T10 (Suelo +NPK+Mg+MN) se puede observar que el pH bajo por lo tanto se existe una influencia de los fertilizantes a usar.

**FAO (2007)**, la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) no es exigente en cuanto a la naturaleza del suelo, con excepción de los suelos muy ácidos, que suelen ser poco activos biológicamente. La urea es soluble en agua y no es retenida por el suelo. La urea se hidroliza en contacto con el agua y bajo la acción de la ureasa, buenas condiciones de temperatura y humedad dicha hidrólisis puede realizarse en dos o tres días. El pH del suelo influye de forma decisiva en la asimilabilidad de los diferentes nutrientes vegetales. Los pH que proporciona mejores condiciones de asimilabilidad son ligeramente ácidos.

Otro factor que afecta la actividad de los microorganismos es el pH. Según **Colacelli (2001)**, la materia orgánica se descompone más rápidamente en suelos neutros que en los ácidos. **FAO (2007)**, reporta que a valores de pH menores de 5.5 los hongos son más activos, a causa de la falta de competencia con otros microorganismos que son más sensibles a la acidez.

Cuando el valor de pH es de 6.0, los actinomicetos y bacterias intervienen mayormente en la descomposición de la materia orgánica. En la amonificación - proceso por el cual la materia orgánica libera N - puede tener lugar en una amplia gama de pH, pero la nitrificación se reduce notablemente a valores de pH menores de 6.0 y superiores a 8.0. Por último, el pH del suelo afecta la clase, número y actividad de los microorganismos.

#### 5.5.4. Conductividad eléctrica (CE)

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE) del cultivo de quinua se muestra en Anexos 10. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (48.96 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Comparación de los tratamientos para la variable de conductividad eléctrica (CE).**

Tratamiento	CE	(Ds/m)	Tukey (5%)
Suelo +NPKMg+MN		0,62	a
Suelo +NK		0,54	a b
Suelo +NPK		0,52	a b
Suelo +NP		0,46	a b
Suelo +PK		0,4	a b
Suelo +N		0,2	b
Suelo +K		0,2	b
Suelo		0,16	b
Suelo +Mg		0,16	b
Suelo +P		0,15	b

**Nota:** N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Mg: Magnesio y MN: Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T10 (Suelo + NPK+Mg+MN) presenta mayor cantidad de CE en comparación de los demás tratamientos. La solución del suelo contienen siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si la cantidad de estas aumenta y alcanza un límite, la vegetación no puede subsistir. No obstante hay que destacar que no todos los cultivos presentan las mismas resistencias al medio salino, por lo que una correcta interpretación de la conductividad eléctrica deberá ir siempre referida al cultivo determinado y al tipo de agua con la que se riega (**Santelises, 1987**).

Estos valores superiores se podrían atribuir al mayor porcentaje de arcilla presente en las parcelas estudiadas en la presente investigación (23%), en comparación al estudio realizado por **Sivila (2006)**, quien trabajo en parcelas con un contenido de arcilla del 15 %, a esto podríamos argumentar, lo establecido por De la Rosa (2006), quien indica que suelos con un porcentaje mayor de arcilla son más propensos a acumular sales, por el contrario, suelos con contenidos altos de arena las sales son lixiviadas fácilmente por las precipitaciones, en este sentido, se justifican los valores bajos de 74.33 y 45.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las parcelas con siete años en descanso y el de quinua.

### 5.5.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del cultivo de quinua se muestra en Anexos 9. El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a los 40 tratamientos, por otro lado el coeficiente de variación (5,37 %) esto nos indica que se realizó un manejo adecuado en el ambiente protegido (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Comparación de los tratamientos para la variable de Capacidad de intercambio catiónico (CIC).**

Tratamiento	CIC	(meq/100g)	Tukey (5%)
Suelo +NPKMg+MN		16,06	a b
Suelo +K		15,24	a b
Suelo		15,22	a b
Suelo +PK		14,59	a b
Suelo +Mg		14,1	b
Suelo +NK		13,98	b
Suelo +P		13,96	b
Suelo +N		13,95	b
Suelo +NPK		13,9	b
Suelo +NP		13,79	b

**Nota:** N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Mg: Magnesio y MN: Micronutrientes.

En la media entre los tratamientos, muestra los resultados que el T-10 (Suelo + NPKMg+MN) presenta mayor cantidad de CIC en comparación de los demás tratamientos, esto puede ser por que presenta todos los macro y micro nutrientes a comparación a los otros tratamientos.

Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  (las bases del suelo) y  $\text{NH}_4^+$ , en suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, el  $\text{Al}^{3+}$  juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el  $\text{H}^+$ , la acidez intercambiable del mismo (**Jaramillo, 2002**).

Los valores son bajo en lugares donde los suelos son arenosos y tienen contenido bajo de materia orgánica. Los suelos arenosos con baja CIC, retiene cantidades más pequeñas de cationes, además tienen menos partículas de humus y arcillas que son las responsables de incrementar la capacidad de intercambio catiónico (**Cacuango, 2013**).

#### **5.5.6. Materia orgánica (%)**

En el Cuadro 15, se observa los resultados obtenidos en la variable de materia orgánica (%), la cual indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Según **Jordán (2006)**, la materia orgánica del suelo constituye un sistema complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrada por diversos grupos de sustancias. La materia orgánica del suelo se compone de vegetales, animales y microorganismos vivos, sus restos, y las sustancias resultantes de su degradación físico-química.

**Cuadro 15. Comparación de los tratamientos para la variable de materia orgánica MO (%).**

Tratamiento	MO (%)
Suelo +N	1,57
Suelo +NP	1,54
Suelo	1,45
Suelo +K	1,45
Suelo +NPK	1,45
Suelo +NPKMg+MN	1,45
Suelo +P	1,35
Suelo +NK	1,35
Suelo +Mg	1,32
Suelo +PK	1,26

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

Entre los tratamientos, muestra los resultados que el T2 (Suelo + N) presenta mayor cantidad de materia orgánica en comparación de los demás tratamientos, esto puede ser a causa de las deficiencias nutricionales a las que se sometió el experimento del cultivo.

Normalmente representa del 1 al 6% en peso, aunque esta proporción puede ser muy variable dependiendo del momento del año, tanto en suelos agrícolas (por causa de la fenología del cultivo o la época de cosecha) como naturales (dependiendo en este caso de la presencia de especies caducifolias o perennes, por ejemplo). Es de gran importancia por su influencia en la estructura, en la capacidad de retención de agua y nutrientes, y en los efectos bioquímicos que causa sobre los vegetales.

En cuanto a los efectos sobre las propiedades biológicas, **Guerrero et al. (1993)**, establecen que la materia orgánica convierte al suelo en un elemento activo al favorecer la actividad de la flora y fauna, permitiendo llevarse a cabo transformaciones químicas y físicas con mayor rapidez en beneficio de las plantas,

que pueden disponer de nutrientes de fácil asimilación al igual que el aire, ya que los intercambios gaseosos también se facilitan con las galerías que algunas lombrices abren en sus deslizamientos.

Por su lado **Fuentes (2005)**, afirma que cuando las condiciones de humedad, temperatura y aireación son adecuadas, la materia orgánica del suelo favorece la proliferación de microorganismos, proporciona, carbono para la estructura orgánica y para su oxidación como fuentes de energía y nitrógeno para la síntesis de proteínas y otros.

### 5.5.7. Porcentaje de proteína en el tallo (%)

En el Cuadro 16, se observa los resultados obtenidos de la variable de porcentaje de proteína en el tallo (%), la cual indica que existe diferencia entre los tratamientos.

**Cuadro 16. Comparación de los tratamientos para la variable de proteína en el tallo (%).**

Tratamiento	Proteína (%)
Suelo +NPKMg+MN	10,87
Suelo +NK	8,83
Suelo +P	8,58
Suelo +Mg	8,34
Suelo +N	8,17
Suelo +NPK	7,94
Suelo	6,6
Suelo +NP	6,51
Suelo +PK	5,86
Suelo +K	3,35

**Nota:** **N:** Nitrógeno; **P:** Fósforo; **K:** Potasio; **Mg:** Magnesio y **MN:** Micronutrientes.

Entre los tratamientos, muestra los resultados que el T10 (Suelo + NPK+Mg+Mic), presenta mayor cantidad de Proteína en el tallo en comparación de los demás

tratamientos, ya viendo el T4 (Suelo + K) es el que presenta menor contenido de proteína esto puede ser a causa de la deficiencia o por la disponibilidad de los nutrientes y por esto expresan anomalías visibles en la planta que a las que se sometió el experimento del cultivo.

**Aylin, et al, (2008)** demostró que en la etapa de floración es donde se empieza a reducir la cantidad de proteína que puede llegar a presentar el cultivo de quinua la cual nos indica que a mayor cantidad de nitrógeno presente el cultivo de quinua mayor será la cantidad de proteína que presente la planta.



## 6. CONCLUSIONES

El elemento faltante de mayor importancia en la nutrición del cultivo de quinua fue evaluado bajo invernadero hasta los 70 días después de la siembra fueron el N, P y K; ya que las variables evaluadas presentaron diferencias altamente significativas en los tratamientos donde existió la omisión de estos nutrientes; además, las plantas presentaron cambios notorios en la morfología y en el color.

En general la textura de suelo es de textura gruesa (Franco arenoso), con un contenido de arena mayor o igual a 66%, mientras que la arcilla se encuentra en una proporción menor al 14%. Por otro lado, la materia orgánica se encuentra en valores bajos (1,45%), al igual que el nitrógeno (0.03%). Sin embargo el fósforo disponible y la Capacidad de Intercambio Catiónico se encuentran en valores altos (26 ppm y 20 meq/100 g de suelo respectivamente).

Estas condiciones pueden deberse a que este suelo tubo 2 años de haberse habilitado. El calcio se halla en un valor medio, mientras que el magnesio se encuentra en valores muy altos. La relación Ca/Mg adecuado para el desarrollo de los cultivos es de 5 a 8 y en el presente trabajo esa relación fue menor a 2, lo que indica un exceso de magnesio en estos suelos.

En cuanto a las variables fenológicas como la altura, diámetro de tallo y la longitud de la raíz, el tratamientos que tuvieron mejor desenvolvimiento fueron a los que se añadió N,P, K y/o micronutrientes. En relación a la variable contenido de clorofila, los tratamientos a los que se añadieron N, P, K, y/o micronutrientes fueron los que alcanzaron mejor comportamiento y al igual que en las variables fenológicas el tratamiento al que se añadió magnesio presento menor cantidad de clorofila.

Estos resultados nos llevan a la conclusión que existe un exceso de magnesio, lo que afecta la relación Ca/Mg y una deficiencia de Nitrógeno y micronutrientes en estos suelos, que limitan el normal desarrollo del cultivo.

## **6. RECOMENDACIONES**

Evaluar también el experimento hasta la cosecha, en condiciones de campo, para tener información de rendimiento; además, de poder identificar si en otras etapas del cultivo de quinua se presenta síntomas visuales de deficiencia en los elementos que no se observaron en esta investigación.

Realizar la determinación del contenido de nutrientes en las muestras de biomasa tomadas, para así determinar el efecto de la omisión sobre la extracción de nutrientes en el cultivo de quinua.

En el presente trabajo se utilizó agua de grifo de la estación experimental de Cota Cota, y posiblemente la calidad de estas aguas hubiera afectado el comportamiento del magnesio, por lo que se sugiere utilizar agua de riego y también hacer un análisis de agua.

Evaluar el experimento del elemento faltante en otro eco-tipo, para ver si estos presentan síntomas similares a los que presentamos la investigación realizada en el cultivo de quinua.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- **Anaya, E., (1995).** La ganadería y su manejo en relación con los recursos agua y pastizal en la zona semi-árida de México. Folleto científico No. 5. Ediciones INIFAP-IRD. Gómez Palacio, Durango, México.
- **Arcos, (2004).** Fertilidad del suelo y manejo de riego. Agriculture and land-based training association. USDA National Institute of Food and Agriculture. Copyright All Rights Reserved. Pp. 4.
- **Aylin, C., Maceda W., Miranda R., Bosque H., (2008).** Rendimiento y Contenido de Proteínas de la Quinua, en Cinco Fases Fenológicas, bajo cuatro niveles de incorporación de estiércol. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia. Pp. 8.
- **Bache, W., (1983).** “Implicaciones prácticas de las relaciones Cantidad-Intensidad de nutrientes” Proceedings of the internationalk seminar on soil Environment and fertility management in intensive agricultura. Tokio, Japón. Pp. 777 – 787.
- **Barbosa, M., Wilckens, R., Hevia, F., (1997).** Fertilización nitrogenada en quinua (*Chenopodium quinoa wlld*). Universidad de Concepcion. Cen. Investig. Agr. 27(2): 81 - 90.
- **Basantes, R., (2010).** Materia orgánica Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires Roberto Álvarez. Pp. 41.
- **Bertsch, F., (1982).** Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Fystrandept en Costa Rica. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister. Turrialba, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- **Bosque, H., Lemeur, R., Van Damme, P., (2006).** La fluorescencia de la clorofila, una herramienta para estudios de la fisiología del estrés, experiencia

con la quinua (*Chenopodium quinoa Willdd*). Revista ciencia y tecnología agropecuaria.

- **Briceño, P. y Pacheco, G., (1984).** Muestreo de Suelos. México: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- **Busman, D., (2002).** Naturaleza y propiedades de los suelos. UTEHA, México. Pp. 529-547.
- **Cacuango, A., (2013).** Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- **Canahua, A. y Mujica, A., (1989).** Agronomía del cultivo de la quinua, (en línea) consultado el 12 de octubre del 2017. disponible: <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap2.htm>
- **Cardenas, M., (1944).** Descripción preliminar de las variedades de (*Chenopodium quinoa sp.*) de Bolivia. Revista de Agricultura. Universidad Mayor San Simón de Cochabamba (Bol.) Vol. 2, No. 2. Pp. 13-26.
- **Castaño, C., Morales, C., y Obando, F., (2010).** Evaluación de las deficiencias nutricionales en el cultivo de mora (*Rubus glaucus*) en condiciones controladas para bosque Montano Bajo. Caldas, Colombia: s.n.
- **Cirnma, A., (1997).** Manual del Productor de Quinua. Serie Manuales. Puno-Perú. Abril 1997, Primera Edición. Pp. 157.
- **Chaminade, H., (1964).** Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México. Pp. 195.
- **Chilón, E. (1997).** Manual de Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Primera Edición CIDAT (Centro de Investigación y difusión de alternativas para el desarrollo). La Paz, Bolivia. Pp. 185.
- **Choquecallata, J.; Vacher, T.; Fellmann, E; Imaña. (1991).** Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisimetria y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano Boliviano Actas del VII Congreso Internacional sobre cultivos andinos, La Paz, Bolivia. Pp. 63-67.

- **Colacelli, N., (2001).** Propiedades físicas y químicas del suelo. Ed. Alcino. Buenos aires, Argentina. Pp. 57.
- **Colgado, G., (1982).** La quinua. Un cultivo de los Andes Altos. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. Pp. 63.
- **Díaz, R., (1998).** Aplicación fraccionada de nitrógeno en tres densidades de plantación en lechuga bajo carpa solar. Tesis de grado. Universidad Mayor De San Andrés (UMSA). La Paz, Bolivia. Pp. 24-32
- **Dizes, J. y Bonifacio, A., (1992).** Estudio en microscopio electrónico de la morfología de los órganos de la quinua y de la canihua en relación con la resistencia a la sequía In: Actas de VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. La Paz-Bolivia. Pp. 5.
- **Espíndola, G., (1992).** V Curso de producción de quinua. Centro experimental para la industrialización de la quinua. Proyecto PNUD, FAO, MACA-IBTA. La Paz, Bolivia. Pp. 70.
- **Echeverria y Navarro, (1983).** Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Ed. Mundi – Prensa. Madrid, España. Pp. 457-458.
- **Echeverría H. E., (1985).** Exploración de deficiencias nutritivas en suelos agrícolas del sudoeste bonaerense. II fertilización N-P-K. Revista de investigaciones Agropecuarias INTA. Pp. 25.
- **Fairhurst T., y Witt C., (2002).** Guía de prácticas de nutrientes. España. Pp. 1 - 40.
- **FAO, (1998).** Primer seminario nacional sobre fertilidad de suelos y uso de fertilizantes en Bolivia. CIAT, IBTA. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Pp. 315 – 330.
- **FAO, (1999).** Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. (en línea). Consultado el 25 de julio de 2018. Disponible en <http://ftp.fao.org/agll/docs/gepnms.pdf>.
- **FAO, (2007).** Secuestro de Carbono en Tierras Áridas. Informe sobre recursos mundiales de suelos 102. Italia, Roma. Pp. 120.

- **FAO, (2009).** Guía para la Descripción de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- **FAO, (2012).** FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Los fertilizantes y su uso. Segunda edición. Roma, Italia. Pp. 77.
- **Fassbender, H., (1986).** Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Centro de enseñanza e Investigación. San José, Costa Rica. Pp. 398: 90-170.
- **Fernández y Rojas, W., (2006).** El Agua del Suelo. Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. Consultado en línea el 9 Julio 2018 disponible: [www.edafologia.com.ar](http://www.edafologia.com.ar)
- **Fournier, L. Y Charpantier, C., (1978).** estudio agroclimatológico de la zona andina. OMM. Pp. 297.
- **Fuente, Y., (2005).** “El suelo y los fertilizantes” Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. Madrid. España. Pp. 88, 137.
- **Galiano, W., (1984).** Evaluación de la fertilidad de los suelos de la costa del Perú (primera aproximación). Tesis de Licenciatura en Agronomía. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- **Galvis, A., (2017).** Evaluación de deficiencias nutricionales en quinua Hidropónica (*Chenopodium quinoa willd.*), mediante la Técnica del elemento faltante bajo invernadero. Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronomica. Quito: UCE. Pp. 71.
- **Gandarillas, (1968<sup>a</sup>).** Botánica. In: Cultivos andinos. Quinoa y Kañiwa. Bogota, Colombia, (Serie: Libros y Materiales Educativos N° 40). CIID-IICA. Pp. 24.
- **Gandarillas, H., (1979).** Genética y origen. In: M. Tapia (ed). Quinoa y Kañiwa, cultivos andinos. Bogota, Colombia, CIID, Oficina Regional para America Latina. Pp. 45-64.

- **Garcia, M., (2003).** Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Dissertaciones de Agricultura, Faculty of Applied Biological Sciences, K. U. Leuven, Belgium. Pp. 556, 184.
- **Gudiel, V., (1987).** Manual agrícola SUPERB. Editorial supeb. Guatemala CA.
- **Guerrero, R., (1998).** Fertilización de cultivos en clima frío. Bogotá, Colombia: Monómeros. Pp. 35-57.
- **Guerrero, Y. (1993).** Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico de suelos. Primera edición. Ediciones R.A.A.A. Lima, Perú. Pp. 18-35.
- **Gutierrez, R., (2002).** Influencia del almacenamiento de agua en las piedras volcánicas (rocas ígneas) en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) en el altiplano sur de Bolivia. Universidad Católica Boliviana. La Paz, Bolivia.
- **Havlin, J., Tisdale, S., Nelson, W. & Beaton, J., (1999).** Soil fertility and fertilizers an introduction to nutrient management. (6 edición). s.n.t.
- **Havlin, J. L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L., (1999).** Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. Pp. 499.
- **Haynes, R., (1987).** “Disponibilidad de fosfatos en suelos ácidos” Plant and soil. Pp. (68): 289-308.
- **Heisser, D. y Nelson, V., (1974).** On the origin of the cultivated chenopods (*Chenopodium*). Genetic. [Origen sobre el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)]. Genética Pp. 78: 503-505.
- **Henríquez, C. Berstsch, F. y Salas, R. (1995).** Fertilidad de Suelos Manual de Laboratorio. Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- **Huanca, R., (2008).** Evaluación de niveles de abono orgánico y riego deficitario sobre el desarrollo y rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Altiplano Central. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Pp. 147.

- **Huerta, H. (2010).** Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis. Lcd. biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Mx. Pp. 7- 11.
- **INFOAGRO, BO., (2012).** (en línea). Consultado 01 Mayo 2018. Disponible en: [http:// infoagro. gov.bo/quinua/panorama.htm](http://infoagro.gov.bo/quinua/panorama.htm).
- **Inda, R., (2010).** Evaluación del comportamiento del nitrógeno en parcelas con cultivo de quinua bajo diferente manejo de suelos (Municipio salinas de Garcia Mendoza). Oruro-Bolivia. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. Pp. 138.
- **Jacobsen S. E. Mujica A., (1999).** Fisiología de la resistencia a sequía en Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) CIP, Lima, Perú.
- **Jaramillo, D. (2002).** *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Pp. 613.
- **Jacobsen, S. E., (2003).** Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) under temperate climatic in Denmark. J. Agric. Pp. (122):47-57.
- **Jordán, A., (2006).** Determinación de textura. (En línea). Sevilla. Consultado el 10 de Mayo 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://libnet.unse.edu>.
- **León, J., Viteri, P. & Mejía, A. (2004).** Guía para la determinación de deficiencias nutricionales en Babaco. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- **Lescano, J.L., (1994).** Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. Programa Interinstitucional de Waru Waru, Convenio INADE/PELT - COTESU. Pp. 459.
- **Mamani, R., (2007).** Hace mención a **Quillatupa Astete, C.R. (2009).** Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento (*Chenopodium quinoa Willd.*) en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agrónomo. Lima-Perú. UNALM. 158 pp. Tesis de grado en Ing. Agronómica. Universidad Mayor de San Andres. La Paz-Bolivia.



- **Martínez, F. Sarmiento, J. Fischer, G. Jiménez, F. (2008).** Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- **Mateu J. (2005).** Prontuario de Agricultura. Cultivos Agrícolas., Madrid España., Ediciones Mundi-Prensa., Pp. 4,146.
- **Mengel, K.; Kirkby, E. A., (2000).** Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. Pp. 692.
- **Millar C., (1962).** Edafología. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. México D.F: CECS.
- **Miranda. R., (2012).** Adubação orgânica em condições de irrigação Suplementar e seu efeito na produtividade da Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) no planalto da Bolivia. Tesis de Doctorado del Programa de Post graduación en la Ciencia del suelo. Universidad Federal de Santa Maria. Estado Sur del Brasil. Pp. 98.
- **Miranda, R.; Calderón, S., Cadena, F., (2016).** Erosión eólica en zonas productoras de quinua en el Altiplano Boliviano. Proyecto AndesCrop. Revista CINTEX. Vol. 21. Pp. 71 - 84.
- **Miller, C. E., (1939).** Fundamentos de la ciencia del suelo. Centro regional de ayuda técnica. Pp. 96.
- **Molina, V., (2010).** Determinación del contenido de clorofila y nitrógeno foliar mediante SPAD en *Vaccinium corymbosum* L. (Trabajo de tesis). Universidad de Talca, Talca, Chile.
- **Morales, S. (2005).** Manual de nutrición y fertilización de la quinua. Primera Edición. Lima- Perú. Pp. 5-25
- **Mujica, A., (2001).** Cooperación técnica de la FAO, en investigación y producción de quinua. Taller internacional sobre la quinua, Lima – Perú.
- **Mujica, A; Canahua, A; Saravia, R., (2001).** Agronomía del cultivo de la quinua. In: Quinoa, Ancestral cultivo andino, Alimento del presente y futuro.

Eds. A Mújica; SE Jacobsen; J Izquierdo. FAO – CIP. Santiago, CL. CD Cultivos andinos, versión 1.0 FAO.

- **Mujica, A., Marca, S., Jacobsen, S.E., (2003).** Current Production and Potential of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) in Perú. Food Reviews International.
- **Mújica, A.; Jacobsen, Se.; Izquierdo, J.; Marathee, Jp., (2004).** Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Unidad de Publicaciones U.N.A. Puno. Puno, Perú. Pp. 25-54.
- **Nieto, C., y Vimos, C. (1992).** La quinua cosecha y poscosecha algunas experiencias en Ecuador. Ecuador: INIAP la estación experimental Santa Clara.
- **Noriega, (2001).** Producción de materia seca y concentración de proteínas y saponina en quinua (*Cenopodium quinoa Willd*) para aplicación forrajera, bajo diferentes déficit de humedad en el suelo. Tesis de grado en Doctor en ciencias agrícolas. Área: Sistema de producción Universidad Autónoma agraria “Antonio Narro”. Coahuila México.
- **Perdomo, C.; Barnazán, M.; Durán, J. (1998).** Nitrógeno. Desarrollo de material didáctico. Montevideo. Consulta: 21 de septiembre de 2017. En la web: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/ Tomo%20N.pdf>.
- **Pilatti, M. A., (1988).** Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. Geoderma. [Cambios en algunas propiedades físicas de los molisoles inducidos por la irrigación suplementaria. Geoderma.] Pp. 431- 443.
- **Priano, W.; Schimel, C.; OJIVA. V (1983).** Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great Plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J. [Análisis de los factores que controlan los niveles de materia orgánica del suelo en las praderas de las Grandes Planicies. Suelo sci. Soc. A.m. J.] Pp. (51): 1173-1179.
- **Rivadeneira, J., (1999).** Determinación de los niveles óptimos de fertilización química en el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis SWEET*), en tres

localidades de la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

- **Rojas, W. (2003).** Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Food Reviews International*. Vol. 19. Pp. (1-2): 9-23.
- **Rojas, C. (2006).** “Interpretación de la disponibilidad de Fósforo en los Suelos de Chile”. En CAMPILLO, Ricardo. *Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía*. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Pp. 24 – 43.
- **Rodríguez, F. (1989).** Fertilizantes- nutrición vegetal. Ed. AGT. Editor, S:A México D.F. Pp. 11,29,30,31.
- **Rosa, D., (2006).** Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Madrid, España. Ediciones Mundi – Prensa. Pp. 404.
- **Ruales, J.; Nair B.M. (1992).** Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) seeds. *Plant Foods Hum. Nutr.* Pp. (42): 1–12.
- **Samra, J. y Arora, Y. (1997).** Mineral nutrition. The mango: botany production and uses. Wallingford: CAB International.
- **Santelises, R., (1987).** Desnitrificación en un suelo bajo siembra directa en función de la presencia de plantas de maíz y de la dosis de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 22. Pp. 27-35.
- **Salisbury, E., (1994).** Producción orgánica de quinua. Ministerio de agricultura, ganadería acuicultura y pesca del Ecuador.
- **Sánchez, P., (1981).** Suelos del trópico, características y manejo. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Pp.45-55.
- **SENAMHI., (2017).** Datos meteorológicos en Bolivia, (en línea) consultado el 25 de diciembre del 2017. disponible: <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/boletinoficial.php>.
- **Sivila, R., (2006).** Efecto del descanso agrícola sobre la micro-biota del suelo (Patarani – Altiplano Centra boliviano). *Ecología en Bolivia*. Pp. (23): 33-47.

- **Soil Water Characteristic (2013).** Quantification of uncertainties in soil–water characteristic curve associated with fitting parameters. (en línea) consultado el 10 de diciembre del 2017. disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.05.014>.
- **Tapia, M. (2007).** Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima-Perú. Pp. 209.
- **USDA, (1999).** Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo de la USDA. Fecha de consulta: Febrero 2018. [www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf)
- **Valencia, G. (1998).** Manual de nutrición y fertilización del café. INPOFOS, Quito, Ecuador. Pp. 61.
- **Zevallos, M., (2000).** Estudio de los cambios en la composición florística, cobertura vegetal y fenología a lo largo de un ciclo anual en el área permanente de Cota Cota – La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. Pp.133.

# ANEXOS

## Anexos 1. Análisis de suelo del Intersalar



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



**LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUA**  
**(LAFASA)**

### ANALISIS FISICO-QUÍMICO DE SUELOS

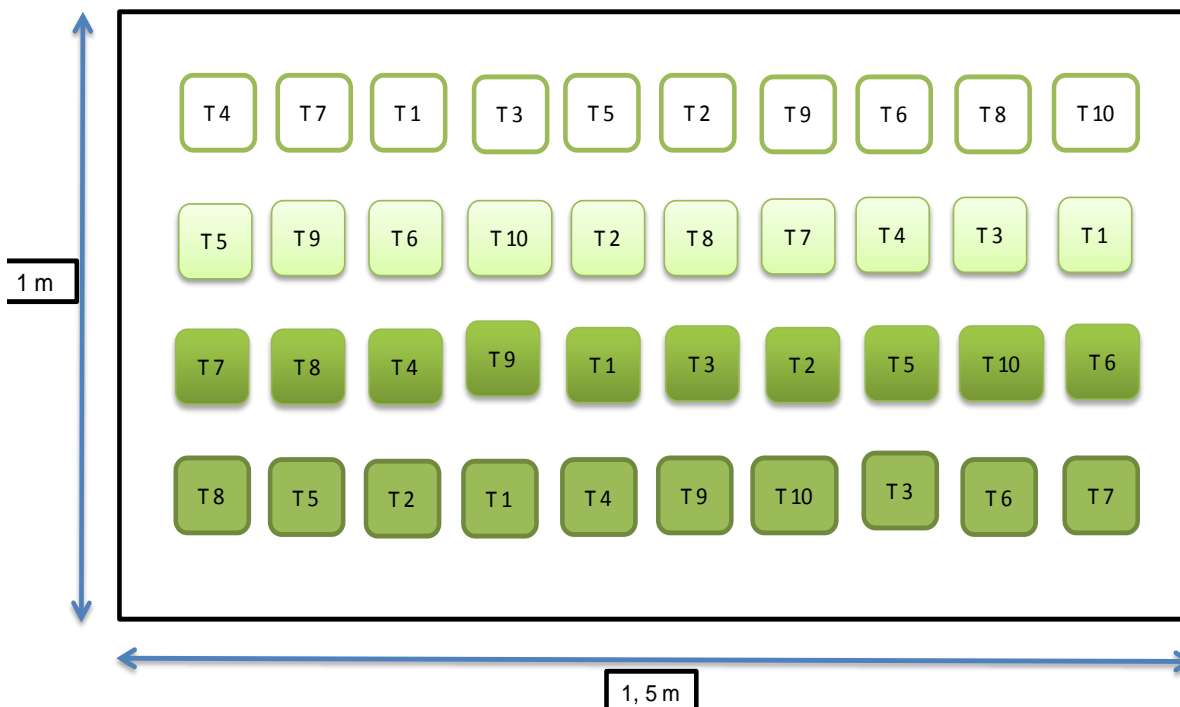
**INTERESADO:** SANDRA QUISBERT BOL 5/020 **No SOLICITUD:** LAF-100  
**PROCEDENCIA:** DEPARTAMENTO DE ORURO **FECHA DE ENTREGA:**  
**PROVINCIA:** LADISLAO CABRERA 10 DE ENERO DE 2018  
**MUNICIPIO:** GARCI MENDOZA  
**MUESTRA:** BOL\_1

PARAMETRO		UNIDAD	VALOR	MÉTODO
<b>TEXTURA</b>	Arena	%	<b>66</b>	Bouyoucos
	Limo	%	<b>19</b>	
	Arcilla	%	<b>14</b>	
	<b>Clase Textural</b>	-	<b>Franco Arenoso</b>	-
<b>pH</b> en H <sub>2</sub> O relación 1:5		-	<b>7.07</b>	Potenciometría
<b>Conductividad eléctrica</b> en H <sub>2</sub> O relación 1:5		<i>mmho/cm</i>	<b>0.21</b>	Potenciometría
<b>Materia orgánica</b>		%	<b>1.45</b>	Walkley y black
<b>Nitrógeno total</b>		%	<b>0.03</b>	Kjeldahl
<b>fosforo disponible</b>		Ppm	<b>26.88</b>	Bray y Kurtz ; Olsen
<b>Potasio intercambiable</b>		meq/100g S.	<b>1.08</b>	acetato de amonio 1N pH 7 (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica)
<b>Calcio intercambiable</b>		meq/100g S.	<b>10.42</b>	
<b>Magnesio intercambiable</b>		meq/100g S.	<b>5.87</b>	
<b>Sodio intercambiable</b>		meq/100g S.	<b>0.49</b>	
<b>Capacidad de Intercambio Catiónico</b>		meq/100g S.	<b>20.01</b>	Absorción Atómica

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

**LABORATORIO DE SUELO**

## Anexos 2. Croquis Experimental



## Anexos 3. Calculo de las dosificaciones.

Tratamiento	Fuente	DOSIS	Urea	FDA	CLK	SO4 Mg	Fetrilon combi
		Kg				Mg	
T1	SUELO						0
T2	Urea	200	1387	0	0	0	0
T3	FDA	250	0	1734	0	0	0
T4	CLK	15	0	0	957,3	0	0
T5	SO4 Mg	60	0	0	0	1197	0
T6	Urea+ FDA		1387	1734	0	0	0
T7	Urea+ CLK		1387	0	957,3	0	0
T8	FDA+CLK		0	1734	957,3	0	0
T9	Urea+ FDA+ CLK		1387	1734	957,3	0	
T10	FTE BR -12		1387	1734	957,3	1196	220
<b>Total (mg)</b>			<b>6937</b>	<b>8671</b>	<b>4786</b>	<b>2393</b>	<b>220</b>
<b>Total (g)</b>			<b>6,937</b>	<b>8,671</b>	<b>4,786</b>	<b>2,39</b>	<b>0,22</b>

#### Anexos 4. Datos tomados de la altura de planta.

Trat	Tratamiento	Altura de Planta (cm)										Promedio	
		21-nov	28-nov	01-dic	05-dic	09-dic	12-dic	15-dic	19-dic	22-dic	26-dic		29-dic
T1	S	24,90	26,30	27,80	28,80	29,50	30,70	31,50	33,00	34,40	35,00	35,50	28,00
T1	S	31,80	33,00	34,00	36,20	37,00	39,50	41,50	44,60	46,00	47,00	47,20	35,25
T1	S	22,90	24,00	25,40	26,10	26,70	27,50	27,80	29,20	30,00	31,30	31,50	25,43
T1	S	24,60	25,00	26,20	26,90	27,20	29,90	30,40	31,00	31,80	33,70	34,00	26,63
T2	S-N	29,10	30,30	33,50	36,50	37,50	42,50	44,50	48,50	53,50	57,00	60,00	34,90
T2	S-N	26,50	27,90	30,90	34,30	36,80	39,50	40,90	44,20	49,50	51,20	53,50	32,65
T2	S-N	24,50	28,80	32,80	36,80	41,50	46,00	48,10	51,00	54,00	56,00	58,00	35,07
T2	S-N	24,90	28,90	31,20	34,90	39,00	44,00	47,00	48,80	52,50	55,50	60,00	33,82
T3	S-P	28,70	30,00	33,90	36,00	40,50	44,50	48,50	54,00	58,50	61,00	62,30	35,60
T3	S-P	24,80	27,90	28,60	31,50	33,30	35,60	37,50	41,60	45,50	46,80	49,50	30,28
T3	S-P	26,80	27,30	29,80	32,40	34,00	37,50	40,50	43,80	46,50	50,50	53,30	31,30
T3	S-P	30,50	31,80	34,00	36,50	40,00	42,50	45,50	51,50	54,00	58,00	59,50	35,88
T4	S-K	25,90	26,90	27,60	28,40	29,10	29,70	30,50	32,60	34,40	36,50	37,50	27,93
T4	S-K	26,50	29,90	33,40	34,80	35,40	38,00	41,50	42,80	43,50	43,50	43,20	33,00
T4	S-K	22,30	23,00	24,00	25,00	26,10	27,00	27,70	29,40	30,00	30,50	30,30	24,57
T4	S-K	26,80	27,40	28,80	30,20	31,00	32,50	33,70	35,50	37,50	39,50	40,40	29,45
T5	S-Mg	26,50	27,50	28,50	29,20	29,70	31,70	33,40	35,40	33,00	36,50	36,30	28,85
T5	S-Mg	22,30	23,50	24,40	26,40	27,50	30,20	31,20	33,00	34,50	36,50	37,50	25,72
T5	S-Mg	22,20	24,40	23,30	24,20	25,50	26,20	26,90	27,50	27,50	28,50	29,50	24,30
T5	S-Mg	17,20	18,50	19,30	20,20	21,00	21,70	22,00	23,30	24,40	26,00	27,00	19,65
T6	S-N-P	27,80	29,80	32,00	36,00	42,00	44,20	48,90	52,50	55,50	58,00	60,50	35,30
T6	S-N-P	25,50	26,90	29,20	34,40	38,40	39,00	43,70	46,50	51,50	56,00	59,80	32,23
T6	S-N-P	27,40	28,90	29,30	30,10	31,00	33,00	36,00	39,50	42,20	44,00	47,70	29,95
T6	S-N-P	26,50	28,40	31,20	35,00	38,00	44,20	44,50	46,00	51,20	55,50	60,20	33,88
T7	S-N-K	28,00	30,70	33,50	35,40	37,50	43,00	46,00	49,50	53,50	56,00	60,00	34,68
T7	S-N-K	29,00	31,10	32,80	36,00	38,20	42,00	45,00	49,20	54,00	55,00	58,80	34,85
T7	S-N-K	27,40	29,20	30,10	33,60	36,50	39,00	40,80	44,30	49,50	51,00	54,10	32,63
T7	S-N-K	26,60	28,90	30,10	34,80	39,90	44,50	46,50	51,50	55,50	60,80	66,00	34,13
T8	S-P-K	28,80	29,80	31,00	33,80	37,20	39,80	42,70	46,50	51,00	53,40	55,50	33,40
T8	S-P-K	27,20	28,50	30,80	33,00	35,60	40,90	44,50	50,80	55,00	59,00	61,00	32,67
T8	S-P-K	24,80	26,20	28,80	30,80	33,50	36,50	38,30	40,00	44,50	50,00	52,30	30,10
T8	S-P-K	25,10	28,40	31,50	32,60	34,20	38,80	40,50	42,80	46,50	50,50	54,50	31,77
T9	S-N-P-K	28,40	30,10	33,80	38,40	40,20	43,50	47,20	49,50	54,00	60,30	63,00	35,73
T9	S-N-P-K	25,50	27,70	33,80	39,20	41,00	45,20	48,50	56,50	57,00	69,00	62,50	35,40
T9	S-N-P-K	22,90	26,40	32,00	35,00	40,80	49,70	41,80	48,50	54,00	57,80	58,50	34,47
T9	S-N-P-K	23,50	24,80	26,50	30,80	33,50	35,80	38,30	40,20	44,50	45,00	49,00	29,15
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	22,50	24,70	28,50	31,90	34,60	36,90	40,30	43,00	45,00	46,50	51,00	29,85
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	25,80	30,70	35,30	41,90	46,20	50,20	53,30	58,50	63,50	68,00	70,30	38,35
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	23,30	25,40	29,50	34,60	37,90	44,30	49,80	56,50	45,50	60,50	63,50	32,50
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	26,50	27,40	28,90	32,20	36,10	38,80	41,50	43,50	46,50	50,00	52,50	31,65



## Anexos 5. Datos tomados del diámetro de planta.

Trat	Tratamiento	DIÁMETRO DE TALLO (mm)										Promedio
		28- nov	01- dic	05- dic	09- dic	12- dic	15- dic	19- dic	22- dic	26- dic	29- dic	
T1	S	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	2,50	1,95
T1	S	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	2,75	3,00	3,00	3,00	2,45
T1	S	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	2,50	1,95
T1	S	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	2,50	1,95
T2	S-N	2,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	5,25	5,50	5,75	3,64
T2	S-N	1,75	2,00	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	3,11
T2	S-N	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	3,39
T2	S-N	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	2,80
T3	S-P	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	2,75	1,98
T3	S-P	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,00	3,25	2,15
T3	S-P	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,00	2,10
T3	S-P	1,50	2,00	2,50	3,00	2,75	2,50	3,00	3,00	3,25	3,25	2,68
T4	S-K	1,00	1,25	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	2,75	1,90
T4	S-K	1,00	1,50	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	2,75	3,00	2,10
T4	S-K	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,00	2,25	2,25	1,53
T4	S-K	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	1,90
T5	S-Mg	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	2,25	2,50	2,50	1,81
T5	S-Mg	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,00	2,10
T5	S-Mg	0,80	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	2,75	2,75	2,01
T5	S-Mg	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	1,75	2,00	2,00	2,00	2,00	1,61
T6	S-N-P	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,00	3,48
T6	S-N-P	2,50	3,00	3,50	4,00	4,25	4,50	5,00	5,25	5,50	6,50	4,40
T6	S-N-P	2,50	3,00	3,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,50	3,65
T6	S-N-P	2,00	2,50	3,00	3,50	3,75	4,50	4,50	4,75	5,00	5,00	3,85
T7	S-N-K	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,50	3,53
T7	S-N-K	2,00	2,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50	4,50	3,83
T7	S-N-K	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	3,55
T7	S-N-K	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,25	4,50	4,75	4,50	3,45
T8	S-P-K	0,75	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	2,50	2,00
T8	S-P-K	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,00	2,50	2,23
T8	S-P-K	1,00	1,50	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,50	2,53
T8	S-P-K	0,80	1,00	1,50	1,75	2,00	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	2,21
T9	S-N-P-K	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,25	5,50	4,50	3,98
T9	S-N-P-K	3,00	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	4,35
T9	S-N-P-K	2,00	3,50	3,00	4,00	4,50	5,00	5,50	5,75	6,00	6,50	4,58
T9	S-N-P-K	1,50	2,00	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	5,00	3,13
T10	S-N-P-K- Mg-MIC	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,25	5,50	5,50	4,08
T10	S-N-P-K- Mg-MIC	2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	4,75	5,00	5,50	5,50	5,00	4,35
T10	S-N-P-K- Mg-MIC	2,50	3,00	3,00	3,50	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	4,75	3,93
T10	S-N-P-K- Mg-MIC	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	3,55

## Anexos 6. Datos de la clorofila en la hoja.

Trat	Tratamiento	CLOROFILA EN LA HOJA (mm <sup>2</sup> )						Promedio
		12-dic	15-dic	19-dic	22-dic	26-dic	29-dic	
T1	S	16,70	16,40	14,80	14,70	8,80	7,00	13,07
T1	S	19,60	19,20	18,50	18,20	18,10	17,70	18,55
T1	S	28,50	26,50	24,60	23,70	23,60	23,00	24,98
T1	S	18,20	16,80	14,40	13,80	12,80	12,00	14,67
T2	S-N	57,20	51,90	50,70	46,20	40,80	40,30	49,36
T2	S-N	52,10	50,40	49,90	42,20	44,40	43,20	47,80
T2	S-N	49,30	49,00	47,70	43,90	42,70	42,00	46,52
T2	S-N	55,30	54,50	53,80	51,20	48,90	47,20	46,86
T3	S-P	60,30	55,70	37,50	36,60	32,60	32,00	42,45
T3	S-P	37,80	35,10	32,10	31,00	29,00	25,10	21,68
T3	S-P	36,70	35,73	35,40	35,10	35,00	34,80	30,00
T3	S-P	46,10	42,00	38,00	36,50	33,00	31,20	39,12
T4	S-K	20,00	13,30	11,00	10,80	9,80	6,40	11,88
T4	S-K	24,50	22,70	16,20	15,40	14,80	14,20	17,97
T4	S-K	0,40	26,50	23,10	21,00	20,40	19,80	18,53
T4	S-K	20,90	20,40	17,60	12,60	10,20	8,50	15,03
T5	S-Mg	22,80	18,70	14,90	13,20	11,30	10,50	15,23
T5	S-Mg	25,70	19,10	19,20	17,60	15,40	14,00	18,50
T5	S-Mg	15,10	14,80	14,40	14,00	12,60	10,40	13,55
T5	S-Mg	17,40	15,40	10,40	10,70	8,20	6,80	11,48
T6	S-N-P	65,10	50,40	48,60	48,00	47,00	42,40	50,25
T6	S-N-P	58,80	48,80	48,30	47,70	40,10	36,00	46,62
T6	S-N-P	61,80	56,00	51,50	48,50	48,30	43,90	51,67
T6	S-N-P	65,80	59,90	59,60	53,80	53,60	46,30	56,50
T7	S-N-K	69,00	44,80	40,70	47,30	46,60	40,40	48,13
T7	S-N-K	52,60	44,60	37,10	43,40	44,20	44,30	44,37
T7	S-N-K	52,10	51,80	50,20	48,60	44,60	37,60	47,48
T7	S-N-K	64,90	56,10	54,40	49,00	46,70	46,10	52,87
T8	S-P-K	40,10	37,50	32,30	28,60	24,90	22,20	30,93
T8	S-P-K	38,20	36,80	35,40	34,90	32,30	29,10	34,45
T8	S-P-K	38,30	36,30	34,80	34,30	33,60	29,30	34,43
T8	S-P-K	42,70	36,00	33,00	32,40	25,50	23,10	32,12
T9	S-N-P-K	67,20	58,30	50,90	44,20	44,10	41,40	52,94
T9	S-N-P-K	52,90	50,30	51,50	49,20	48,60	40,40	50,50
T9	S-N-P-K	60,50	56,60	56,50	52,70	51,30	50,20	54,63
T9	S-N-P-K	56,80	55,90	46,50	43,50	43,30	41,40	49,20
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	53,90	51,40	43,20	42,00	41,90	40,70	47,63
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	57,00	55,90	54,60	52,10	48,90	44,40	52,15
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	57,40	46,80	45,60	38,30	37,50	36,50	43,68
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	55,90	55,20	53,80	53,50	45,10	42,90	52,70

## Anexos 7. Datos de la longitud de raíz de la planta.

Trat	Tratamiento	Longitud Raiz (cm)
		29-dic
T1	S	11,0
T1	S	14,0
T1	S	13,5
T1	S	13,0
T2	S-N	18,0
T2	S-N	15,0
T2	S-N	17,0
T2	S-N	15,0
T3	S-P	15,0
T3	S-P	11,0
T3	S-P	16,0
T3	S-P	15,0
T4	S-K	15,0
T4	S-K	15,5
T4	S-K	12,5
T4	S-K	15,0
T5	S-Mg	11,5
T5	S-Mg	10,5
T5	S-Mg	12,5
T5	S-Mg	13,0
T6	S-N-P	18,0
T6	S-N-P	15,0
T6	S-N-P	14,0
T6	S-N-P	17,0
T7	S-N-K	14,0
T7	S-N-K	16,0
T7	S-N-K	13,0
T7	S-N-K	15,0
T8	S-P-K	15,0
T8	S-P-K	16,0
T8	S-P-K	14,0
T8	S-P-K	16,0
T9	S-N-P-K	16,0
T9	S-N-P-K	17,0
T9	S-N-P-K	17,0
T9	S-N-P-K	14,0
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	17,0
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	19,0
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	19,0
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	14,0

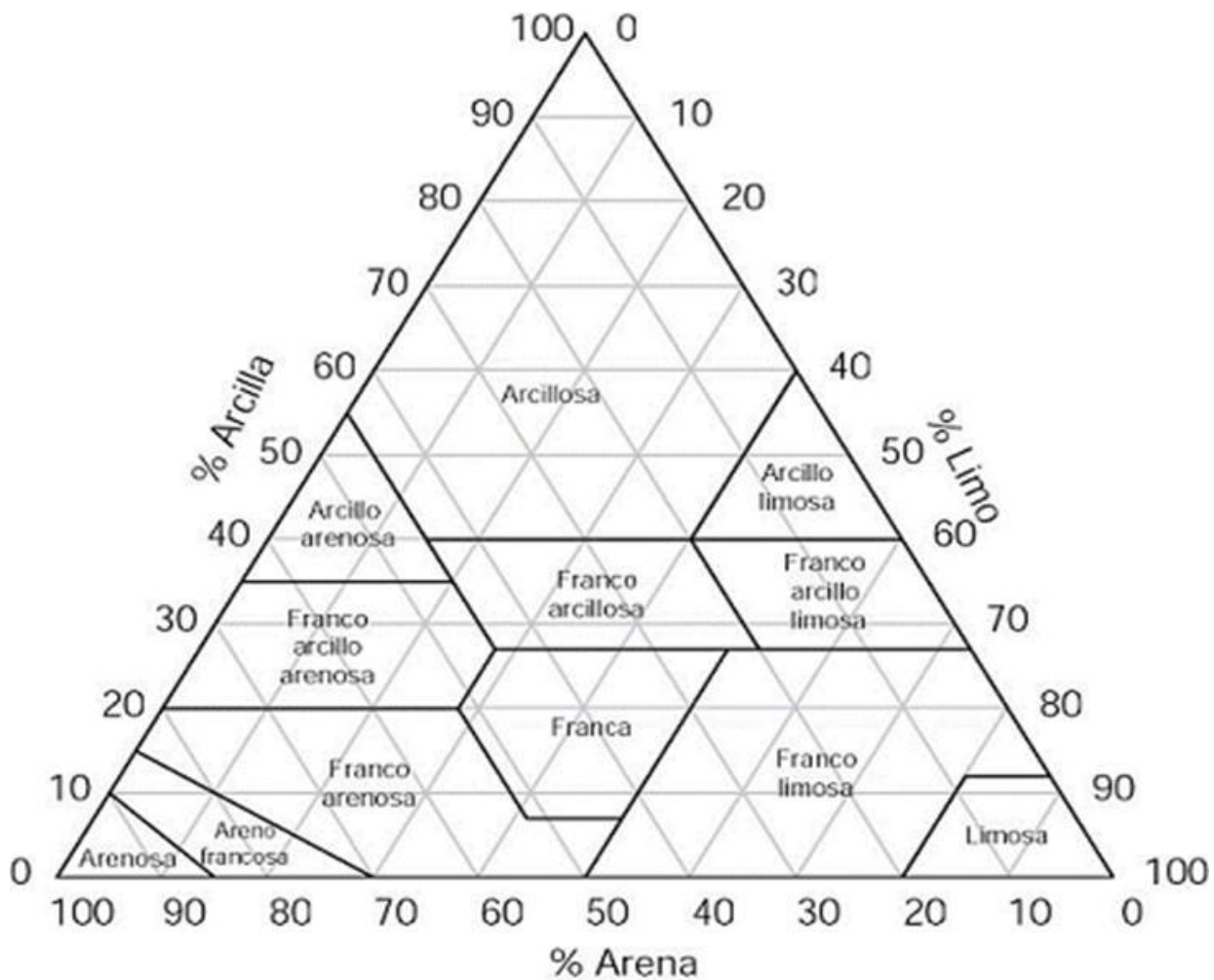
## Anexos 8. Medición del CIC del suelo.

Trat	Tratamiento	K	Ca	Mg	Na	CIC
T1	S	0,95	7,55	4,66	0,27	13,68
T1	S	0,93	9,05	5,51	0,35	16,20
T1	S	0,88	8,34	6,34	0,25	16,28
T1	S	0,88	7,67	5,88	0,27	14,70
T2	S-N	0,54	8,30	5,46	0,30	14,96
T2	S-N	0,67	7,05	3,87	0,28	12,24
T2	S-N	0,56	7,96	6,04	0,42	15,33
T2	S-N	0,52	8,19	4,19	0,37	13,27
T3	S-P	0,83	8,08	4,52	0,39	14,29
T3	S-P	0,79	7,47	5,34	0,27	14,21
T3	S-P	0,80	8,07	3,87	0,38	13,59
T3	S-P	0,90	8,08	4,33	0,46	13,76
T4	S-K	1,32	7,78	5,46	0,21	15,12
T4	S-K	1,05	8,02	6,38	0,32	16,13
T4	S-K	0,96	7,92	5,27	0,31	14,93
T4	S-K	0,91	8,44	5,18	0,25	14,78
T5	S-Mg	0,95	8,09	4,84	0,35	14,58
T5	S-Mg	0,88	7,64	5,21	0,25	14,33
T5	S-Mg	0,94	8,37	3,09	0,27	13,02
T5	S-Mg	0,89	8,22	5,04	0,33	14,46
T6	S-N-P	0,49	7,58	4,88	0,42	14,11
T6	S-N-P	0,50	7,47	4,75	0,34	13,65
T6	S-N-P	0,42	8,17	4,84	0,34	14,40
T6	S-N-P	0,56	6,73	5,25	0,48	13,01
T7	S-N-K	0,49	7,56	4,84	0,32	13,69
T7	S-N-K	0,63	7,82	4,93	0,40	14,38
T7	S-N-K	0,58	7,91	4,84	0,37	14,06
T7	S-N-K	0,51	7,97	4,93	0,38	13,79
T8	S-P-K	1,05	8,41	4,89	0,44	15,15
T8	S-P-K	0,78	8,19	5,16	0,27	14,77
T8	S-P-K	0,85	7,53	4,89	0,35	14,11
T8	S-P-K	0,68	8,14	5,16	0,36	14,33
T9	S-N-P-K	0,50	7,70	5,02	0,50	14,19
T9	S-N-P-K	0,62	7,51	5,02	0,52	14,26
T9	S-N-P-K	0,77	7,70	5,00	0,35	14,29
T9	S-N-P-K	0,76	7,11	4,58	0,39	12,84
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	0,59	9,02	5,95	0,49	16,64
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	0,58	8,08	5,85	0,41	15,86
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	0,50	9,18	5,12	0,31	15,71
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	0,48	8,62	6,52	0,41	16,03

## Anexos 9. Medición de pH y CE del suelo.

Trat	Tratamiento	pH 1:5	CE dS/m
T1	S	7,68	0,292
T1	S	7,46	0,1012
T1	S	7,37	0,1289
T1	S	7,6	0,13
T2	S-N	6,88	0,193
T2	S-N	6,75	0,158
T2	S-N	6,73	0,1966
T2	S-N	6,74	0,25
T3	S-P	7,19	0,1429
T3	S-P	7,08	0,148
T3	S-P	7,21	0,1262
T3	S-P	7,17	0,1681
T4	S-K	7,29	0,188
T4	S-K	7,24	0,195
T4	S-K	7,6	0,222
T4	S-K	7,59	0,179
T5	S-Mg	7,46	0,1118
T5	S-Mg	7,36	0,201
T5	S-Mg	7,42	0,168
T5	S-Mg	7,42	0,1671
T6	S-N-P	7,22	0,488
T6	S-N-P	6,94	0,513
T6	S-N-P	6,61	0,427
T6	S-N-P	6,7	0,423
T7	S-N-K	6,99	0,677
T7	S-N-K	6,9	0,588
T7	S-N-K	6,79	0,279
T7	S-N-K	6,54	0,632
T8	S-P-K	7,35	0,49
T8	S-P-K	7,43	0,419
T8	S-P-K	6,96	0,411
T8	S-P-K	7,09	0,284
T9	S-N-P-K	7,02	0,604
T9	S-N-P-K	6,64	0,573
T9	S-N-P-K	6,38	0,404
T9	S-N-P-K	6,47	0,503
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	6,48	1,235
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	6,55	0,567
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	6,65	0,567
T10	S-N-P-K-Mg-MIC	6,59	0,0991

**ANEXOS 8. Triángulo de textura del suelo.**



## Anexos 10. Análisis de varianza de las variables de respuesta.

### Altura de la planta

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
H (cm) 40 0,57 0,45 9,37

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	351,38	9	39,04	4,48	0,0009
TRATAMIENTO	351,38	9	39,04	4,48	0,0009
Error	261,61	30	8,72		
<u>Total</u>	<u>612,99</u>	<u>39</u>			

### Clorofila de la hoja

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
COLOROFILA 40 0,94 0,92 12,07

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	8575,61	9	952,85	49,71	<0,0001
TRATAMIENTO	8575,61	9	952,85	49,71	<0,0001
Error	575,08	30	19,17		
<u>Total</u>	<u>9150,70</u>	<u>39</u>			

### Diámetro del tallo (mm)

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

DIAMETRO 40 0,90 0,87 11,69

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	30,25	9	3,36	29,34	<0,0001
TRATAMIENTO	30,25	9	3,36	29,34	<0,0001
Error	3,44	30	0,11		
<u>Total</u>	<u>33,68</u>	<u>39</u>			

### Profundidad radicular

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

LON RAIZ 40 0,56 0,42 10,73

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	95,50	9	10,61	4,17	0,0015
TRATAMIENTO	95,50	9	10,61	4,17	0,0015
Error	76,38	30	2,55		
<u>Total</u>	<u>171,88</u>	<u>39</u>			



## pH del suelo

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
pH	40	0,83	0,78	2,51

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	4,49	9	0,50	15,98	<0,0001
trat	4,49	9	0,50	15,98	<0,0001
Error	0,94	30	0,03		
<u>Total</u>	<u>5,42</u>	<u>39</u>			

## Capacidad intercambio catiónico

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>Adj R<sup>2</sup></u>	<u>CV</u>
CIC	40	0,54	0,41	5,37

### Analysis of variance table (Partial SS)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	21,54	9	2,39	3,97	0,0020
TRATAMIENTOS	21,54	9	2,39	3,97	0,0020
Error	18,10	30	0,60		
<u>Total</u>	<u>39,65</u>	<u>39</u>			

## Conductividad eléctrica

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

CE (Ds/m) 40 0,60 0,48 48,96

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	1,24	9	0,14	4,95	0,0004
TRATAMIENTOS	1,24	9	0,14	4,95	0,0004
Error	0,84	30	0,03		
<u>Total</u>	<u>2,08</u>	<u>39</u>			

## Fosforo

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

P 40 0,90 0,88 17,36

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	11150,02	9	1238,89	31,61	<0,0001
TRATAMIENTOS	11150,02	9	1238,89	31,61	<0,0001
Error	1175,64	30	39,19		
<u>Total</u>	<u>12325,66</u>	<u>39</u>			

## Nitrógeno total (%)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
N T	22	0,60	0,30	20,37

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)


<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	2,8E-03	9	3,1E-04	1,98	0,1342
TRATAMIENTOS	2,8E-03	9	3,1E-04	1,98	0,1342
Error	1,9E-03	12	1,6E-04		
<u>Total</u>	<u>4,7E-03</u>	<u>21</u>			

## Anexos 11. Uso de los fertilizantes.

# UREA

FOTO	FORMULA
	<p>NITRÓGENO TOTAL 46% (en forma amídica) HUMEDAD 1,5% PESO MOLECULAR 60,06% DUREZA 1,2 kg (Presión para romper gránulos)</p>
<b>IMPORTANCIA</b>	<p>Se adapta a diferentes tipos de cultivos y distintos tipos de aplicaciones. La urea se puede aplicar al voleo, en cobertura, pero la mejor eficiencia se logra entre líneas, al costado o debajo de la línea de siembra, donde además no existen limitaciones en las dosis a aplicar. Para evitar pérdidas de N por volatilización, en situaciones con temperaturas promedio superiores a 18°C se recomienda también su incorporación al suelo.</p> <p>Como todo fertilizante nitrogenado, puede aplicarse antes de la siembra o al momento de la misma. La aplicación debe realizarse con suficiente antelación al momento en que la planta precise el N, pues su acción es lenta. La urea es tan eficiente como cualquier otro fertilizante nitrogenado si se incorpora al suelo inmediatamente luego de la aplicación. Cuando es incorporado al mismo, no existen, o son mínimas, las pérdidas de N.</p>


## FOSFATO DI AMONIACO

FOTO	FORMULA
	<p>Fórmula química: <math>(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4</math></p> <p>Contenido de N: 18%</p> <p>Contenido de <math>\text{P}_2\text{O}_5</math> 46%</p> <p>Solubilidad en agua (20 °C): 588 g/L</p> <p>pH solución: 7.5 a 8</p>
<p style="text-align: center;"><b>IMPORTANCIA</b></p>	<p>El amonio presente en el DAP es una excelente fuente de N que es convertido gradualmente en nitrato por las bacterias del suelo, resultando en una disminución ulterior del pH. Por lo tanto, el aumento en el pH del suelo alrededor de los gránulos del DAP es un efecto temporal. Este aumento inicial del pH alrededor del DAP puede influir en las reacciones del micro-sitio entre fosfatos y la materia orgánica del suelo.</p> <p>Existen diferencias en la reacción química inicial en el suelo entre los diversos fertilizantes fosfatados comerciales, pero estas diferencias disminuyen con el tiempo (en un lapso de semanas o meses) y son mínimas en cuanto a nutrición de las plantas se refiere. La mayoría de las comparaciones de campo entre DAP y fosfato monoamónico (MAP) muestran diferencias menores o no presentan diferencias en el crecimiento de las plantas y los rendimientos debidas a la fuente de P si el manejo es el adecuado.</p>


# COLORURO DE POTASIO

FOTO	FORMULA
	<p>Fórmula química: KCl</p> <p>Grado del fertilizante: 0-0-60</p> <p>Contenido de K<sub>2</sub>O: 60 a 63%</p> <p>Contenido de Cl<sup>-</sup>: 45 a 47%</p> <p>Solubilidad en agua (20 °C): 344 g/L</p> <p>pH solución: aprox. 7</p>
<p><b>IMPORTANCIA</b></p>	<p>El KCl es el fertilizante potásico más extensamente utilizado debido a su bajo costo relativo y a que incluye más cantidad de K que otras fuentes...50-52% K (60-63% K<sub>2</sub>O) y 45-47% Cl.</p> <p>Más del 90% de la producción mundial de potasa es utilizada en la nutrición de plantas. El KCl es usualmente esparcido sobre la superficie del suelo previo a las labores para la siembra.</p> <p>También puede ser aplicado en bandas cerca de la semilla. Ya que al disolverse el fertilizante se incrementará la concentración de sales solubles, el KCl en bandas se coloca al costado de la semilla para evitar daños durante la germinación de las plantas.</p> <p>El KCl se disuelve rápidamente en la humedad del suelo. El K<sup>+</sup> será retenido en los sitios de intercambio con carga negativa de las arcillas y la materia orgánica del suelo. Por su parte, el Cl<sup>-</sup> se moverá rápidamente con el agua del suelo. Un grado especial de pureza de KCl puede ser disuelto para fertilizantes líquidos o aplicaciones a través de sistemas de riego.</p>

## SULFATO DE MAGNESIO

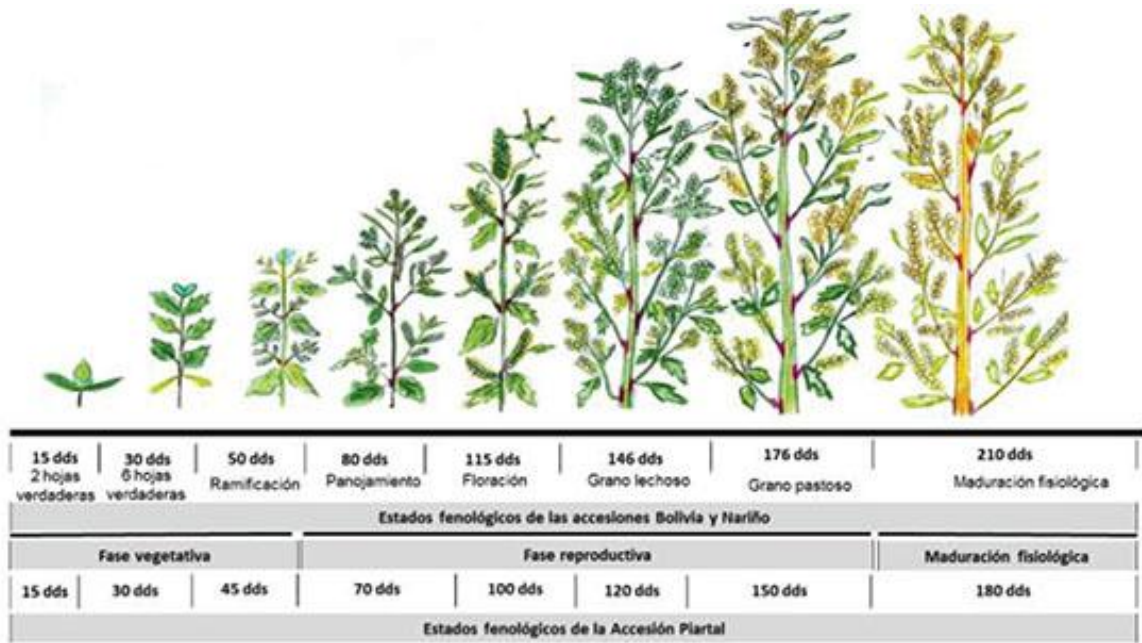
FOTO	FORMULA
	<p>Potasio Soluble en Agua (K<sub>2</sub>O) 3,0  Azufre Total (S) 11,0  Magnesio (MgO) 15,0  pH en solución al 10% a 20 °C : 2.95  Solubilidad a 20 °C : 500 gr/litro  C. E. (solución al 10%) a 20 °C 24.91 mS/cm</p>
<p><b>IMPORTANCIA</b></p>	<p>Aplicando periódicamente SULFATO DE MAGNESIO se suple las necesidades de Magnesio y Azufre de los cultivos. Elementos involucrados en la síntesis de clorofila y la eficiencia del Nitrógeno, respectivamente. La gran mayoría de las prácticas de fertilización tanto edáficas como foliares no consideran la aplicación de Magnesio y Azufre a través de los planes de fertilización, condición que favorece la respuesta de los cultivos a la aplicación de estos nutrientes mas considerando sus bajos niveles en la mayoría de suelos del país. La aplicación de SULFATO DE MAGNESIO promueve la síntesis de clorofila (pigmento fotosintético) y mejora la eficiencia de utilización del Nitrógeno. Debido a su alta solubilidad SULFATO DE MAGNESIO garantiza una rápida disponibilidad de los nutrientes para el cultivo, corrigiendo de manera eficaz posibles deficiencias. disuelto para fertilizantes líquidos o aplicaciones a través de sistemas de riego.</p>

## MICRONUTRIENTES (Fetrilom@-Combi 1)

FOTO	FORMULA
	<p>4,0 % Manganeso (Mn)            4,0 % Hierro (Fe)            1,5 % Cobre (Cu)            1,5 % Zinc (Zn)            0,5 % Boro (B)            0,1 % Molibdeno (Mo)</p>
<p><b>IMPORTANCIA</b></p>	<p>Aplicación foliar A una concentración máxima de 1,5g/litro            Fertirrigación: Aplicación mediante un dosificador de abonos en la red de riego. Dosificado en la entrada del agua de riego a manta o surcos.            Inyección: Mediante reja o inyectores disuelto en agua.            Aplicación al suelo: Enterrado en el suelo a una profundidad de 5-20 cm en surcos o bien en hoyos alrededor de la planta (en frutales de 4 a 6 hoyos por árbol)  <b>Solubilidad:</b>            En las concentraciones recomendadas es soluble en agua sin dejar residuos.</p>



## Anexos 12. Fases fenológicas de la quinua.



## Anexos 13. Cultivo en crecimiento.



**Anexos 14. Secado del suelo.**



**Anexos 15. Muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio de la Facultad de Agronomía.**

