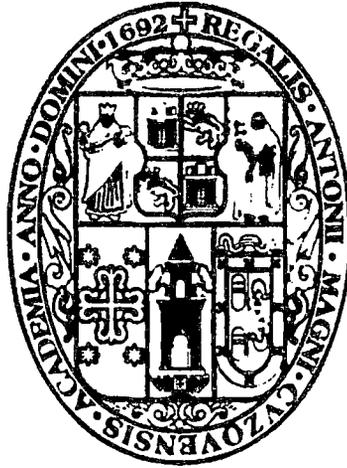


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



**CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN
TRES ESTADIOS FENOLÓGICOS DEL CULTIVO DE PAPA
NATIVA WANK'UCHO (*Solanum tuberosum spp. andigena*)
EN Q'ENQO – SANTO TOMÁS, CUSCO.**

**Tesis presentada por el Bachiller en Ciencias
Agrarias VÍCTOR VALLEJOS MENDOZA, para
optar al Título Profesional de INGENIERO
AGROPECUARIO.**

Asesora:

ING. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA SÁNCHEZ.

Patrocinador:

Tesis Financiada por la UNSAAC

SANTO TOMÁS – CUSCO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por haberme dado la oportunidad de vida en este mundo, y a mis padres queridos que me iluminan desde el cielo.

Con mucho cariño a mi esposa Andrea Huamaní Heredia, por ser una mujer muy especial en esta etapa de mi vida, con mucho amor y eterna gratitud a ella, por su esfuerzo e infatigable sacrificio, su aliento y fe, que confió en mi persona para lograr la culminación de mi más caro anhelo de ser profesional.

A mi hijo Julio César, por la inspiración de todos los días en mi vida, quienes se sacrificaron y esforzaron constantemente, sin cansarse para darme todo el apoyo, para alcanzar mis metas trazadas.

A mis lindas hijitas Amalia, Ruth Nohemí, Zoila Victoria y Luz Marina, con mucho amor a ellas quienes fueron la razón de mi existencia y superación, por ser la inspiración de todos los días en mi vida.

A todos mis compañeros de la Escuela profesional de Ciencias Agropecuarias por haberme dado ese apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, especialmente a todos y cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agropecuaria, por brindarme sus conocimientos y enseñanzas durante mi formación profesional.

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por brindarme el apoyo económico para desarrollar el presente trabajo de investigación.

A mi asesora **Ing. María Angélica Acosta Sánchez** por su apoyo incondicional con sus orientaciones oportunas en la ejecución de mi trabajo de tesis.

A la **Qco. Teófila Baca Carbajal** como docente y Coordinadora de la Escuela Profesional de Ingeniería Agropecuaria de la Sede Santo Tomás.

Al **Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi** por el apoyo brindado en la orientación profesional durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Al **Ing. Milton W. Gamarra Montañez** por el apoyo en la formulación del anteproyecto de tesis.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi esposa y a mis hijos por haberme apoyado en el transcurso de mis estudios, pues solo ellos hicieron lo posible para que yo pudiera concluir mis estudios y así salir adelante.

A todos mis compañeros y amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agropecuaria por el apoyo que me brindaron y su amistad incondicional durante todo el tiempo de mi formación profesional.

ÍNDICE

| | Pag. |
|--|------|
| DEDICATORIA..... | i |
| AGRADECIMIENTO..... | ii |
| RESUMEN..... | v |
| INTRODUCCIÓN..... | iv |
| I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION | |
| 1.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION | 1 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN..... | 2 |
| II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN | |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 2.3. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| III. HIPÓTESIS | |
| 3.1. HIPÓTESIS GENERAL | 5 |
| 3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| IV. MARCO TEÓRICO | |
| 4.1. ORIGEN DE LA PAPA..... | 6 |
| 4.2. BIODIVERSIDAD ANDINA..... | 6 |
| 4.3. DOMESTICACIÓN DEL CULTIVO DE PAPA | 7 |
| 4.4. LOS CULTIVOS ANDINOS: LA PAPA NATIVA | 8 |
| 4.5. ACTIVIDADES IMPORTANTES DURANTE EL CULTIVO..... | 11 |
| 4.6.DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES CULTIVADAS..... | 15 |
| 4.7.CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA DE LA PAPA..... | 16 |
| 4.8 CONDICIONES DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE PAPA..... | 17 |
| 4.9.ESTUDIO DE SUELOS | 17 |
| 4.10.SUELO AGRÍCOLA | 22 |
| 4.11. FERTILIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL SUELO | 26 |
| 4.12.ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL SUELO | 27 |
| 4.13.TOMA DE MUESTRAS DE SUELO | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 4.14.DETERMINACIÒN DE ANÀLISIS FÌSICO DEL SUELO | 36 |
| 4.15.DETERMINACIÒN DE ANÀLISIS QUÍMICO DEL SUELO..... | 62 |
| 4.16.DETERMINACIÒN DE ANÀLISIS BIOLÒGICO DE SUELO | 88 |

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÒN

| | |
|--|------------|
| 5.1. UBICACIÒN ESPACIAL | 94 |
| 5.2. MATERIALES | 96 |
| 5.3. METODOLOGÍA..... | 97 |
| 5.4. CONDUCCIÒN DEL CULTIVO | 103 |
| 5.5. EVALUACIÒN DE VARIABLES..... | 113 |

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÒN

| | |
|-----------------------------|------------|
| CONCLUSIONES..... | 150 |
| RECOMENDACIONES..... | 153 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 154 |
| ANEXOS | 156 |

RESUMEN

El trabajo de investigación “**Caracterización de la fertilidad del suelo en tres estadios fenológicos del cultivo de papa nativa *Wank’ucho (Solanum tuberosum spp. andigena)* en Q’enqo - Santo Tomás, Cusco**”, se llevó a cabo entre los meses de setiembre del 2014 a mayo del 2015, en el lugar denominado Pfullpuri Puente Ccoyo y Uskamarka, Sector Q’enqo, provincia Chumbivilcas, distrito Santo Tomás, Región Cusco; cuyos objetivos específicos fueron: Determinar la fertilidad física, química y biológica de la capa arable del suelo y, determinar el rendimiento de tubérculos de morfotipos y estadios fonológicos de papa nativa *Wank’ucho* con y sin abono orgánico. Siendo la investigación realizada de tipo diagnóstico y descriptivo.

Se llegó a las siguientes conclusiones:

Fertilidad física

- La estructura del suelo, con y sin abonamiento orgánico en todos los morfotipos de papa, sea en estadio de emergencia, floración y madurez de cosecha, es de forma granular, tamaño granular media y resistencia moderado, a excepción de tamaño granular fina en madurez de cosecha.
- La clase textural en todos los suelos de cultivo es franco.
- El color del suelo, en todos los cultivos con y sin abonamiento es gris oscuro.
- La densidad aparente del suelo, con y sin abonamiento orgánico en todos los morfotipos de papa, varía de 1.31 g/cm^3 (estadio de emergencia) a 1.28

g/cm³ (estadio de madurez de cosecha); asimismo la densidad real varía de 2.60 g/cm³ (estadio de emergencia) a 2.64 g/cm³ (estadio de madurez de cosecha).

- La porosidad del suelo, con y sin abonamiento orgánico en todos los morfotipos de papa, varía de 49.62 % en estadio de emergencia a 51.52% al estadio de madurez de cosecha.
- La humedad equivalente del suelo, con y sin abonamiento orgánico en todos los morfotipos de papa, ligeramente disminuye de 37.751% en estado de emergencia hasta 37.166% al estadio de madurez de cosecha.
- La humedad en capacidad de campo en suelos, con y sin abonamiento orgánico en todos los morfotipos de papa, es indiferente en los tres periodos fenológicos del cultivo de papa nativa, con un promedio de 34.942%.
- El punto de marchitez permanente en suelos, con y sin abono orgánico en todos los morfotipos de papa, varía disminuyendo ligeramente desde 17.29% (estadio de emergencia) hasta 17.00% (estadio de madurez de cosecha).
- El coeficiente de higroscopicidad en suelos, con y sin abono orgánico en todos los morfotipos de papa, es indiferente en todos los estadios fenológicos del cultivo de papa nativa, con un promedio de 8.591%.

Fertilidad química

- El contenido de nitrógeno total y fósforo disponible en suelos, con y sin abono orgánico, en todos los morfotipos y estadios del cultivo de papa nativa, es alto. Mientras que el contenido de potasio disponible varía de medio a alto.

- En los tres estadios y morfotipos del cultivo de papa nativa, el pH del suelo, con y sin abono orgánico, varía desde ligeramente ácida a ligeramente alcalino.
- La conductividad eléctrica en suelos, con y sin abono orgánico, y en todos los morfotipos y estadios fenológicos, se considera normal.
- La capacidad de intercambio catiónico en suelos, sin y con abono orgánico, así como en todos los morfotipos y estadios fenológicos, varía de manera indiferente desde 24.92 a 23.57 meq/100 g suelo.
- El porcentaje de carbonato de calcio en suelos, con y sin abono orgánico y en todos los morfotipos y estadios fenológicos, se considera medio en su contenido.
- El promedio total de la acidez cambiante del suelo (10.94 meq/100 g suelo), en todos los sustratos, indica que no hubo problema de acidez en el suelo.

Fertilidad biológica

- La densidad y biomasa de macrofauna en suelos sin abono orgánico es menor respecto a suelos con abono orgánico; asimismo esta densidad y biomasa aumenta desde el estadio de emergencia hasta el estadio de madurez de cosecha.
- En todos los suelos en estudio se presentaron bacterias aerobias, mesófilas viables en un promedio de 13×10^2 ufc/g y en los hongos un promedio de 11×10^2 ufc/g que son microorganismos ambientales. También se encontró gran variedad y número de otros microorganismos que habitan normalmente en el suelo.

Rendimiento

- El morfotipo Puka Wank'ucho con abonamiento orgánico fue superior en 36,396 Kg/ha a los demás tratamientos, seguido de Puka Wank'ucho en 33,832 Kg/ha sin abonamiento orgánico; ocupando el último lugar el morfotipo Yana Wank'ucho sin abonamiento orgánico con sólo 17,515 Kg/ha.

INTRODUCCIÓN

Los terrenos del anexo Q'énqo son de aptitud agrícola; sin embargo, la calidad del suelo es materia de estudio a través de análisis físico, químico y biológico del suelo.

La caracterización de análisis físicos determinan las variables físicas del suelo, por otra parte los análisis químicos determinan la fertilidad química del suelo y los análisis biológicos expresan la fertilidad biológica, los que en conjunto y si están de manera equilibrada determinan el status nutricional como característica muy importante para el desarrollo y producción de un cultivo agrícola.

Estas áreas vienen siendo cultivados con diversos productos locales para el consumo y comercialización, particularmente la papa nativa con una rotación de 8 a 10 años. Entre las papas nativas las que se produce más en este sector es la variedad "*Wank'ucho*" que es bastante alimenticio y nutritivo que tiene funciones energéticas por su alto contenido de almidón.

Esta papa nativa (Variedad *Wank'ucho*) desempeña un papel muy importante en la alimentación del poblador andino, ya que es un cultivo que produce mayores cantidades de carbohidratos, proteínas, vitaminas y sales minerales lo cual constituye como el principal sustento alimenticio de los agricultores alto andinos caso de la provincia de Chumbivilcas. Es de sabor agradable y de consumo diario de los pobladores de Q'énqo y conocer las características del suelo permitirá generar estrategias para mejorar los rendimientos de los cultivos, inclusive de otros morfotipos y variedades de papa nativa.

Razón que en la presente investigación se ejecutó el trabajo de **“Caracterización de la fertilidad del suelo en tres estadios fenológicos del cultivo de papa nativa *Wank’ucho* (*Solanum tuberosum* spp. *andigena*) en Q’enqo - Santo Tomás, Cusco”**.

El Autor.

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

1.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

El manejo y tratamiento de suelos para el cultivo de papa nativa es conocido por parte de agricultores; así la rotación sectorial de terrenos, rotación de cultivos, preparación del terreno, compostura de surcos, abonamiento con estiércol de crianzas, uso de cenizas, el aporque, clases de semillas y otras, que con esta forma de manejo conllevan a óptimos resultados en la producción de la variedad *Wank'ucho*; sin embargo, se desconoce la información tecnológica y/o científica de las características físico, químico y biológico sobre todo de la capa arable del suelo, así como el rendimiento de tubérculos de los tres morfotipos endémicos de la zona con abonamiento orgánico. Es decir, el desconocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, induce a que tampoco existe información sobre la fertilidad del suelo, la cual es uno de los factores de la producción del cultivo de plantas.

Cuando no se tiene información exacta de la estructura, textura, densidad, porosidad, consistencia, color, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, humedad del suelo, entre otros, no es posible planificar ni instalar ningún tipo de cultivos, en razón de que cada especie vegetal muchas veces tienen comportamientos botánicos y productivos en cada tipo de sustrato suelo.

Siendo oportuno conocer estas cualidades para explicar y mejorar las formas de conservación y utilización a futuro, de lo contrario se desaprovecharía la oportunidad de conocer este proceso.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema general

¿Cómo son las características físico, químico y biológico de la capa arable del suelo en tres estadios fenológicos (emergencia, floración y madurez de cosecha) y tres morfotipos del cultivo de papa nativa *Wank'ucho* (*Solanum tuberosum spp. andigena*) con y sin abonamiento orgánico en el sector Q'enqo - Santo Tomás, Cusco?

1.1.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo son las características físicas de la capa arable del suelo?
2. ¿Cuál es la fertilidad química de la capa arable del suelo?
3. ¿Cuál es la fertilidad biológica a través de la población de organismos de mayor importancia de la capa arable del suelo?
4. ¿Cuánto es el rendimiento de tubérculos de tres morfotipos de papa nativa *Wank'ucho* con y sin abonamiento orgánico.

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características físico, químico y biológico de la capa arable del suelo en tres estadios fenológicos (emergencia, floración y madurez de cosecha) y morfotipos del cultivo de papa nativa *Wank'ucho* (*Solanum tuberosum spp. andigena*) con y sin abonamiento en el sector Q'enqo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la caracterización física de la capa arable del suelo en el sector Q'enqo - Santo Tomas Chumbivilcas.
2. Determinar la fertilidad química de la capa arable del suelo.
3. Determinar la fertilidad biológica a través de la población de organismos de mayor importancia de la capa arable del suelo.
4. Determinar el rendimiento de tubérculos de tres morfotipos de papa nativa *Wank'ucho* con y sin abonamiento orgánico.

2.3. JUSTIFICACIÓN

La comunidad *Pfullpuri, Puente de Ccoyo y Uskamarka* es la más extensa y poblada de Santo Tomás capital de la Provincia de Chumbivilcas, en donde se encuentra el sector *Q'enqo*, que es una de las zonas agrícolas importantes de producción de papas nativas con una extensión mayor a 60 hectáreas de terreno cultivable; donde el cultivo en especial es la papa nativa llamada *Wank'ucho* (*Solanum tuberosum ssp. andigena*) con una producción y rendimiento óptimos hasta la actualidad, los mismos que son destinados al consumo local y comercialización en Santo Tomás y otros. Esta área por la probable

constitución físico química óptima de la capa arable del suelo es preferido por agricultores como un factor aprovechable y determinante durante el cultivo de la papa mediante el manejo tradicional y prácticas agronómicas por excelencia que se conoce y ha existido desde tiempos remotos, y es donde su efecto por lo general continúa beneficioso por el mantenimiento de la sustentabilidad del sistema físico-químico-biológico del suelo que a la actualidad se desconoce, siendo capaz de mantenerse en el transcurrir de los años, aun de las prácticas y técnicas intensivas, siendo perceptible el manejo ecológico en base a la rotación de cultivos.

Se considera pertinente el análisis físico, químico y biológico del suelo, ya que desde muchos años atrás se viene cultivando toda clase de productos para el consumo y para la comercialización, particularmente las variedades nativas de papas muy en especial la variedad Wank'ucho; pero conociendo estas características físicas, químicas y biológicas, es posible incrementar el rendimiento de la papa nativa.

El presente trabajo considera el análisis físico, químico y biológico como propiedades que permiten evaluar la calidad del suelo para mejorar las prácticas de abonamiento y fertilización en el cultivo de papas nativas; asimismo permite mejorar los factores de producción como el manejo y elección de especies vegetales de alta producción y productividad.

III. HIPÓTESIS

3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las características físico, químico y biológico de la capa arable del suelo en tres estadios fenológicos (emergencia, floración y madurez de cosecha) y tres morfotipos del cultivo de papa nativa *Wank'ucho* (*Solanum tuberosum spp. andigena*) con y sin abonamiento orgánico en el sector Q'eqo - Santo Tomás, Cusco, son variables según el crecimiento y desarrollo de la planta de papa.

3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

1. Las características físicas de la capa arable del suelo del sector Q'eqo se halla dentro del rango de fertilidad aceptable para el cultivo.
2. La fertilidad química de la capa arable del suelo depende de la disponibilidad de elementos y compuestos existentes en el suelo.
3. La fertilidad biológica a través de la población de organismos de mayor importancia de la capa arable del suelo, está en función a las condiciones ambientales y características de los suelos agrícolas.
4. El rendimiento de tubérculos de tres morfotipos de papa nativa con y sin abonamiento orgánico está en función a la fertilidad del suelo.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. ORIGEN DE LA PAPA

Vavilov, N. (1951). Relata que el centro de origen de una especie está allí donde se encuentra una mayor variación de sus formas cultivadas y silvestres. Además indica que la papa cultivada tuvo dos centros de origen: Chiloé donde está la papa *Solanum tuberosum*, y Ecuador, Perú y Bolivia donde están representados las papas cultivadas andinas *Solanum andigenum*.

Egusquiza, R. (2000). Resume que las evidencias arqueológicas reflejan que la papa era un alimento que formaba parte de dieta de los antiguos peruanos, por lo que los cerámicos de las culturas Mochica y Chimú son testimonios de su origen. Así mismo los restos de tubérculos más antiguos se encontraron en las tumbas de la costa que tienen una antigüedad de 7000 años; además algunos huacos reflejan que, desde tiempos muy antiguos, los peruanos deshidrataron la papa para consumirla en forma de "chuño" y "moraya": De esta manera aprovecharon y conservaron los tubérculos amargos. En aquel entonces, cuando los españoles invadieron al Perú, la papa era una planta altamente evolucionada en producción al igual que las técnicas agrícolas.

4.2. BIODIVERSIDAD ANDINA

Tapia, M. (1993). Resume que la biodiversidad andina es reconocida como tal por botánicos, genetistas, geógrafo y diferentes estudiosos de los recursos naturales del mundo, entre las cuales la región andina es considerada como uno de los ocho centros de origen y diversidad varietal de plantas del mundo.

Cosio, P. (2002). Manifiesta que los organismos vivos están descritos en tres niveles: diversidad genética, de especies y del ecosistema. La diversidad genética es la variación de los genes entre y dentro de las especies; es toda la información genética contenida en los genes de todos los individuos vegetales, animales y microorganismos sobre la tierra. La diversidad de especies es el número total o variedad de especies en un área dada. La diversidad de ecosistema es la variedad total de los ecosistemas o comunidades interdependientes de especies y su medio ambiente. Los ecosistemas pueden cubrir áreas muy grandes o muy pequeñas.

Vavilov, N. (1951). Manifiesta que los andes por ser una región montañosa, concentra la diversidad varietal y racial de las principales plantas cultivadas al igual que las regiones montañosas de Asia y África. Es decir, los sistemas de montañas proporcionan óptimas condiciones para la manifestación de esta diversidad y para la conservación de los diferentes tipos fisiológicos posibles. Esto es aún más cierto en los andes donde se encuentran áreas con cultivos hasta los 4,200 m como en ningún lugar del mundo.

4.3. DOMESTICACIÓN DEL CULTIVO DE PAPA

Egusquiza, R. (2000). Refiere que la papa es una planta alimenticia que ha estado vinculado con las culturas más remotas de nuestra historia. Los primeros habitantes del Perú colectaron tubérculos de especies silvestres que se encuentran ampliamente distribuidos en nuestro territorio; en el Perú se encuentra la mayor cantidad de especies silvestres de papa conocida en el mundo, de manera que la primera domesticación fueron iniciados por los primeros peruanos.

Christiansen, G. (1967). Afirma que América entre ellos Perú y Bolivia, fue la región con mayor número de especies silvestres y variedades cultivadas; teniendo una distribución geográfica amplia.

Es probable que los indios llevaron las bayas para sacar semillas y sembrar; después es posible que se haya originado hibridaciones naturales o mutaciones dando lugar a los clones con carácter de híbridos complejos.

Tapia, M. (1993). Refiere que los antiguos pueblos principalmente de los andes fueron los únicos en el mundo que dedicaron mucha atención a los tubérculos, como la papa que alcanzó la mayor diversidad y desarrollo. Las generaciones de agricultores mejoraron la papa a partir de una mata, que producía escasamente y muy pequeños, hasta obtener variedades rendidoras; entre ellas escogían aquellas que destacaban por su sabor principalmente.

4.4. LOS CULTIVOS ANDINOS: LA PAPA NATIVA

Suquilanda, M. (2000). Señala que la papa (*Solanum tuberosum*) en especial la *subespecie andígena*, es un tubérculo cuyo origen es en América del Sur (Perú y Bolivia), por lo que la distribución de las diferentes especies de papa es amplia en los andes y en general en el mundo entero teniendo una importancia económica y social en varios países. Su cultivo es en todas las latitudes y continentes; el rango de altura fluctúa desde el nivel del mar hasta más de los 4,300 m de altitud.

En las comunidades rurales de los Andes (Sierra) la alimentación es a base de los vegetales en donde sobresale los tubérculos como la papa y dentro de ellos las papas nativas que son ricos en hidratos de carbono y forma parte de la

dieta diaria y también como fuente de energía por lo que los cultivos andinos son importantes dentro de la seguridad familiar y nutricional, a ello se debe contribuir a que mejore la producción de este valioso producto llamado tesoro. La papa nativa es un tesoro cuidadosamente guardado por siglos de oscuridad en las culturas de los Andes; es prácticamente la reina de los tubérculos, en la actualidad podemos disfrutar del sabor agradable, ya que existen más de 3,300 variedades de los cuales algunos son más conocidos y consumidos en nuestro país.

4.4.1. La papa nativa variedad Wank'ucho

En la región Cusco las papas nativas constituyen un recurso muy importante para la alimentación de los pobladores alto andinos, se consideran como plantas autóctonas que son muy adaptadas a las distintas condiciones ecológicas, dentro de ellos tenemos otros tubérculos como la oca, olluco, mashua y maca. Particularmente la papa nativa llamada comúnmente **Wank'ucho** se cultiva desde los 3,000 a 4,500 m de altitud, muy en especial en la provincia de Chumbivilcas con mayor esmero en los distritos de Santo Tomás, Velille, Llusco y Quiñota; también se cultiva en los distritos vecinos como es Haqira (Región Apurímac) y Qayarani (Arequipa).

Específicamente la variedad **Wank'ucho**, es un cultivar extendido y cultivado generalmente en climas frescos con aplicación de abonos orgánicos como estiércol de vacunos, ovinos, equinos, camélidos y algunos animales menores (cuyes y gallinas). Es la más consumida por los pobladores de Pfullpuri, Puente de Ccoyo y Uskamarka y otras comunidades debido a que constituye una gran parte de las fuentes de energía, nutrientes, carbohidratos y otros. El sistema de siembra es en forma de monocultivo o cultivado solo de estos morfotipos (sin

mezclar con otras variedades); el procesamiento y almacenamiento como tubérculos transformados es mejor en *chuño*, siendo lo mismo para la comercialización hasta las ciudades como Cusco y Arequipa principalmente. También sirve como alimento para el ganado. (**Versión de agricultores de Santo Tomás - 2010**).

4.4.2. Nombres nativos de las papas

Mendoza, R. (1975). Indica que las papas amargas poseen nombres aborígenes quechua y aymara, muchas veces satíricos, ingeniosos, siempre reflejando las características morfológicas, configuraciones, cualidades, usos y costumbres. Frecuentemente se observa el mismo nombre en papas claramente diferentes en su aspecto exterior, por ejemplo los nombres: **Alckaihuarmi, Huayruro** y otros se hacen extensivos a otras variedades de papas muy parecidas. Por otro lado un mismo nombre ha sido escrito de diferentes maneras por los autores, ejemplo: **Ccanchillo, Kanchillo, Ckanchillo**, etc.

Muchos nombres indican características importantes, así tenemos por ejemplo los nombres quechuas **China Mallicu** se traduce a hembra y amargo, **Ruqui** papa se debe su parecido al instrumento utilizado en el arte de telar llamado **Ruqui, Rumppo** de forma redondeada. **Ccanchalli** de color claro brillante, justamente este nombre llevan aquellos clones muy blanquecinos y algo brillantes. En aymara tenemos: **Luki**, que significa resistencia.

4.5. ACTIVIDADES IMPORTANTES DURANTE EL CULTIVO

4.5.1. Preparación del terreno

Berlijn, J. (2000). Manifiesta que en principio se debe elegir el terreno teniendo en cuenta algunas consideraciones:

- Que sean terrenos descansados, profundos, sueltos y sometidos a procesos de rotación con el fin de mejorar la estructura del suelo, la capacidad de absorción del agua, el aumento de la materia orgánica y así evitar la presencia de plagas.
- Escoger terrenos donde antes se cultivaron leguminosas, que no sean propensos a sequías, heladas y granizadas a fin de que sea seguro el desarrollo del cultivo.
- La papa nativa requiere de una adecuada preparación, un suelo blando, sin ningún terrón, aireado y con un buen drenaje; requiere un suelo ligero, profundo y rico en materia orgánica, con un pH de 5.5 a 6.0.
- La aradura debe realizarse por lo menos con dos a tres meses de anticipación a fin de enterrar el rastrojo al suelo y se descomponga y permitir que los controladores naturales bióticos y abióticos se desarrollen favorablemente a fin de eliminar a las plagas del suelo.
- Para crear y mantener condiciones físicas adecuadas para un desarrollo óptimo del cultivo, se debe preparar la tierra mecánicamente mediante arados y otros instrumentos adecuados y también controlar la disponibilidad del agua a través de técnicas de riego apropiadas.

4.5.2. Selección de semillas

Las semillas de las papas nativas sobre todo del cultivar **Wank'ucho**, especialmente en el sector rural son seleccionados de acuerdo al peso y tamaño que pueden tener.

Gamarra, M. (2010). Indica que son las mujeres expertas en esta actividad debido a que han desarrollado alto conocimiento durante las labores de gastronomía y alimentación y siembra en base a recursos locales como las papas nativas.

4.5.3. Siembra

Fálder, A. (2007). Dice que se hace la preparación de las semillas para realizar la siembra; las semillas deben someterse al verdeo que consiste en poner los tubérculos a la acción de la luz indirecta (difusa) a fin de evitar el brotamiento acelerado.

La siembra generalmente se lleva a cabo entre los meses de Octubre y Noviembre de cada año, se realiza en hilera o en surcos, tomando en cuenta las distancias entre surcos de 80 a 90 cm, luego de planta a planta 25 a 30 cm. Posteriormente se hace el tapado de las semillas con tierra y al final el aporque.

4.5.4. Abonado o fertilización

Finck, A. (1985). Manifiesta que los abonos o fertilizantes son productos destinados a la alimentación de las plantas y estas se aplican en forma directa e indirecta a fin de favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad y así conseguir una producción agrícola elevada.

Bueno, M. (1999). Indica que para el abonado se emplean estiércoles de: Ovinos, vacunos, equinos, algunos abonos orgánicos o también los abonos inorgánicos, de acuerdo a las necesidades del suelo o terreno y también de acuerdo a la variedad de papa escogida. Se debe aplicar un abonado de fondo de 3 a 5 Kg/m² de estiércol bien descompuesto; se puede incorporar también al suelo cenizas y residuos de cosecha.

Salgado, S. (2000). Indica que también se pueden utilizar los abonos orgánicos, que son aquellos producidos con materiales de origen animal y vegetal, entre ellos se pueden mencionar como fertilizantes orgánicos: estiércoles, compostas, abonos verdes, restos de plantas, otros.

4.5.5. Cultivo

Berlijn, J. (2000). Refiere que apilar bastante tierra alrededor de la base de las plantas en este caso de la papa nativa variedad **Wank'ucho**, es para evitar que las raíces o tubérculos no se expongan a la intemperie o para que las plagas no ataquen el cuello de las plantas raíces o tubérculos.

4.5.6. Control de malezas y enfermedades

Esta práctica principalmente ocurre durante su ciclo vegetativo, donde los cultivos de la papa sufren considerables pérdidas en rendimiento y calidad de sus productos; también los productos cosechados merman en forma considerable durante el transporte y el almacenamiento y éstos son causados por: trastornos fisiológicos de los cultivos, plagas vegetales, plagas animales y enfermedades. Las malezas no permiten el buen desarrollo de las plantas, más que todo en los primeros meses por lo que se debe realizar la eliminación en forma permanente.

4.5.7. Cosecha

Bueno, M. (1999). Dice que la cosecha se realiza generalmente en el mes de mayo cuando el tubérculo esté maduro; el follaje debe estar amarillento y secándose, cuando la cáscara de la papa no se puede pelar fácilmente. Cuando se cosecha la papa nativa conviene proteger de la luz solar tapando los montones de los tubérculos con paja brava y se debe cosechar en tiempo seco y dejar unas horas en el suelo a fin de que se sequen bien y se conserven mejor.

4.5.8. Rendimiento

Es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (tn/ha).

4.5.9. Almacenamiento

Para lo cual se prepara los llamados **taques** a base de **chaclas** y **paja**, haciendo amarre con los trenzados de la misma paja brava; uno es para semillas y otro para consumo y comercialización; todo ello debe ser en un lugar seco y fresco.

Se debe guardar en un lugar oscuro, seco, ventilado y con una temperatura entre 4 y 8 °C a fin de que las papas se mantengan frescas y no se debe guardar papas con manchas extrañas, agujeros o algún corte producido en la recolección.

4.5.10. Actividades culturales

Berlijn, J. (2000). Dice que las ceremonias o ritos de ofrendas a la madre tierra o festejos durante el periodo vegetativo del cultivo, constituyen como

costumbres espontáneas que son parte de la cosmovisión andina y debe admirar y respetar sin desnaturalizar con organizaciones sofisticadas.

En Santo Tomás continúan realizando los ritos y veneración a sus dioses tutelares, a la madre tierra y festividades principales como carnavales, marcación de crianzas en agosto, ya que según los pobladores contribuyen en la buena producción y cosechas agropecuarias.

4.6. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES CULTIVADAS

Tapia, M. (1993). Expresa que las variedades nativas son cultivadas en las partes altas de las comunidades alto andinas de 2,800 a 4,200 m. En suelos de naturaleza turbosa, rica en materia orgánica, donde se adaptaron altamente tolerantes a las heladas y granizos, también se dice que son descendientes de plantas silvestres y de cultivadas. Se les conoce con el nombre de papas amargas por el alto contenido de glicoalcaloides (Solanina), que son sustancias que le dan el sabor amargo a los tubérculos, por consiguiente no son aptos para el consumo directo, lo que quiere decir que estos deben someterse al sistema de procesamiento de tipo tradicional a las heladas y de esta manera obtener el "chuño" y la "moraya".

4.7. CLASIFICACIÒN SISTEMÀTICA DE LA PAPA

Cosio, P. y Castelo, G. (1993). Indican que de acuerdo a la clasificaciòn filogenética propuesta por Arthur Cronquist, la papa se clasifica sistemáticamente en:

| | |
|-------------|----------------------------|
| Reyno: | Vegetal |
| Subreino: | Embriofita |
| Divisiòn: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnoliopsida |
| Subclase: | Asteridae |
| Orden: | Solanales |
| Familia: | Solanàcea |
| Gènere: | Solanum |
| Secciòn: | Petota |
| Subsecciòn: | Potatoes |
| Serie: | Tuberosa |
| Especie: | <i>Solanum spp.</i> |
| Variedad: | spp andigena |

4.8. CONDICIONES DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE PAPA

Lesur, L. (2006). Manifiesta que se deben conocer las características del suelo agrícola para aprovecharlo mejor, entre ellos la proporción de minerales, materia orgánica, agua y aire; la textura en sus diversas variaciones, la facilidad con que el agua y el aire pueden atravesar sus diferentes capas, el espesor y naturaleza de tales capas.

Berlijn, J. (2000). Sostiene que en la agricultura sustentable sobre todo en lo referente a las papas nativas tiende a conservar la tierra, el agua y los recursos vegetales y animales, no degrada el ambiente y para ello se tiene que emplear técnicas apropiadas y así satisfacer las necesidades en lo económico y también en lo ambiental.

4.9. ESTUDIO DE SUELOS

Velez, R. (2005). Indica que la pedología es el estudio científico del suelo o es el que se ocupa de los suelos como recurso natural de la superficie terrestre, abarca su clasificación y cartografía, génesis y propiedades físicas, químicas y de fertilidad con su ordenación orientada a la producción.

INEGI. (1988). Señala que el suelo se puede considerar como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico que se diferencia en horizontes y suministra los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y agua. Por lo tanto, el suelo es un cuerpo cambiante y heterogéneo en cuanto a sus características y/o propiedades a lo largo y ancho del perfil y en el tiempo; por lo que para estudiar sus atributos es necesario obtener muestras lo más representativas posibles, tanto de cada sitio de muestreo como del área a estudiar.

4.9.1. Importancia

El suelo como capital importante y ecológico resulta de la formación natural de la superficie con una estructura móvil y espesor variable, resulta de la transformación de la roca madre, bajo la influencia de varios procesos físico, químico y biológico, también está constituido por elementos minerales y orgánicos; por lo que el suelo es uno de los compartimientos más complejos del medio ambiente.

Florez, J. (2012). Denota que el suelo no es un medio estable si no está en un constante cambio y por tanto se considera como un organismo vivo por que nace (Formación), se desarrolla (Madurez) y muere (Erosión).

En el campo de la agricultura ecológica, el suelo tiene una función especial donde en su seno debe desarrollarse las plantas y es necesario conocer el suelo, su funcionamiento, el desarrollo de las actividades a realizarse y así equilibrar el sistema agrícola.

4.9.2. Origen

La edafogénesis, estudia con detalle los factores que determinan la formación del suelo y este proceso se caracteriza por:

- Una mayor alteración de la roca madre inicial.
- Enriquecimiento de las materias orgánicas (restos de animales y vegetales).
- Movilización y estabilización de las sustancias formadas.
- Acumulación de dichas sustancias en el suelo.

4.9.3. Factores que intervienen en la formación

- **EL CLIMA:** Que determina el volumen de las precipitaciones y la temperatura a la que tienen lugar las alteraciones químicas.
- **EL RELIEVE:** Que facilita o dificulta de acuerdo al grado de inclinación la infiltración del agente en el terreno; determina también el grado de erosión y orientación con respecto al sol.
- **LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** Que favorece la disgregación física de la roca madre, especialmente la acción de las raíces de los vegetales. También hay intervención de la meteorización química por medio de los ácidos húmicos.
- **COMPOSICIÓN LITOLÓGICA:** Que determina cuáles serán los productos de alteración originados por la meteorización que influye en el grado de acidez del suelo resultante.
- **LA MATERIA ORGÁNICA:** Que es proporcionada por los animales y los vegetales del sustrato inorgánico.

4.9.4. El sistema suelo

EL suelo es considerado como un sistema y está formado por 3 fases y los componentes que las constituyen son:

1. **FASE SÓLIDA:** Constituido por la mezcla de los compuestos orgánicos y minerales, se considera abundante en términos cuantitativos.
2. **FASE LÍQUIDA:** Formado por el agua, que dependen de los factores del suelo como la disolución, el transporte de nutrientes, la erosión del suelo y que es necesario para la vida de las plantas como también de los microorganismos del suelo.

3. **FASE GASEOSA:** Formado por el aire y se encuentra retenido por los poros del suelo; los cuales dependen de la composición de los elementos que forman la fase sólida.

El volumen en cada una de estas fases del suelo varía de acuerdo al tiempo y en cada lugar, así un suelo franco en buenas condiciones tiene las siguientes proporciones, siendo la composición volumétrica estimada en porcentajes de: 45% de material sólido, 5% de materia orgánica, 25% de agua, y 25% de aire.

4.9.5. Clasificación

4.9.5.1. Tipos de suelos

Lesur, L. (2006). Sostiene que la proporción de arena, limo y arcilla de los suelos se clasifican en:

- **SUELO ARENOSO:** Tiene una proporción de 90 % de arena, 5% de arcilla y 5% de limo; contiene material suelto y gravas individuales.
- **SUELO FRANCO - ARENOSO:** Constituido por 65% de arena, 20% de limo y 15% de arcilla; tienen algunas características igual que el suelo arenoso.
- **SUELO LIMOSO:** Constituido por 85% de limo, 10 % de arcilla y 5% de arena; es suave, sedosa y pegajosa.
- **SUELO FRANCO - LIMOSO:** Constituido por 65 % de limo, 20 % de arena y 15 % de arcilla; permite la penetración del agua y la retiene también a los nutrientes, tiene buen drenaje interno y una buena ventilación.

- **SUELO FRANCO:** Está formado por 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla, es más equilibrado en el tamaño de sus partículas.
- **SUELO FRANCO - ARCILLOSO:** Está constituido por 40% de arcilla, 30% de arena y 30% de limo; hay poca circulación del agua y retiene la humedad.
- **SUELO ARCILLOSO:** Contiene 60% de arcilla, 20% de arena y 20% de limo; posee en cantidad poros pequeños y tiene la capacidad de retener cantidades de agua.

4.9.5.2. Tipos de agentes de suelos

El suelo contiene agentes físicos, químicos y biológicos:

- **LOS AGENTES FÍSICOS:** Son de tipo climático como la temperatura, la lluvia y los vientos en donde los fragmentos originarios son transformados por el agua y el viento y que posteriormente son divididos en trozos más pequeños y se convierten en arena fina (Meteorización).
- **LOS AGENTES QUÍMICOS:** Son los que actúan sobre los suelos en su formación como el agua, el bióxido de carbono y el oxígeno del aire; el bióxido de carbono del aire disuelto en el agua de la lluvia permite que se disuelvan mejor muchas rocas (Calizas), en cambio el oxígeno del aire oxida los minerales de las rocas y se desprenden con facilidad.
- **LOS AGENTES BIOLÓGICOS:** Son seres vivos (Bacterias) y los hombres que transforman una sustancia en otra. Los microorganismos que viven entre las rocas coadyuvan a descomponerlas como las lombrices y algunos insectos que toman la sustancia y eliminan otras. Las altas presiones

ejercidas por las raíces de algunas plantas y secreciones orgánicas producidos por algunos organismos, son los causantes de la alteración de las rocas que influyen en la formación de los suelos.

4.10. SUELO AGRÍCOLA

Meco, R. (2011). Sostiene que la agroecología, disciplina científica que propone un enfoque de la agricultura ligado al medio ambiente y sensible socialmente, centrado en la producción y en la estabilidad ecológica del sistema de producción, es capaz de proporcionar, las bases científicas y los argumentos técnicos capaces de generar alternativas bastante perdurable de diseño y el manejo de los sistemas productivos, proporcionando algunas estrategias de uso agropecuario del lugar de aplicación local, basados siempre en el saber tradicional y como también en el campo de la innovación tecnológica que proviene del conocimiento científico multidisciplinario.

A su vez refiere que el suelo agrícola es la capa superficial de la tierra de unos 25 cm de profundidad, en donde crecen las plantas que están conformados por materias sólidas, agua y aire. Se debe conocer sus características para aprovechar de la mejor forma posible su proporción de minerales, materia orgánica, agua, aire, también la textura en sus variaciones de gruesa a fina, la facilidad con que el agua y el aire pueden atravesar sus capas, el espesor y naturaleza de las mismas. En suelos agrícolas manejados con bases y técnicas agroecológicas, la materia orgánica en su mayoría procede de:

- Restos de plantas y de macro y microorganismos en diferentes estados de transformación.
- Abonos orgánicos u órgano minerales.

- Síntesis, metabolismo y productos de excreción de los organismos edáficos.
- Exudados procedentes de la rizósfera - rizodeposición.

4.10.1. La capa arable

Lesur, L. (2006). Manifiesta que la capa arable de un suelo, en términos ideales, está constituido en 45% por partículas minerales, 5% por materia orgánica, 25% por agua y otros 25% por el aire.

4.10.2. Factores que ocasionan cambios en el suelo agrícola

- Reducción del periodo de descanso por el uso intenso de los suelos agrícolas.
- Reemplazo de la siembra manual por equipos de tracción y motorizados.
- Quemadas frecuentes de los residuos de las cosechas con fines de limpiar las áreas de cultivo para mecanizar los suelos.
- El incremento en el uso de los insumos químicos (fertilizantes y pesticidas).
- Los cambios de la agricultura de subsistencia a semicomercial y comercial.

4.10.3. Productividad o capacidad del suelo

No todos los suelos son igualmente productivos, unos son productivos para algunas plantas y otros no lo son; es importante que un suelo sea fértil, a fin de que sea productivo y que contenga los nutrientes necesarios precisamente para el buen crecimiento de las plantas; además la fertilidad del suelo es determinado por la naturaleza de los componentes con que se ha formado y cambia debido a las modificaciones física, química y biológicas sea por la aradura y la fertilización o también por la lluvia, el viento y la temperatura, por tanto los que se dedican a la

agricultura deben tener amplio conocimiento respecto al suelo a fin de mantener su productividad, su mejoramiento, conservación y evitar su empobrecimiento, así mismo debe contener agua y aire para que las raíces se alimenten y respiren, lo cual debe ser de una estructura propicia y con la proporción de materia orgánica necesaria habrá un buen desarrollo de los cultivos.

La materia orgánica constituye apenas el 5% del horizonte de la tierra agrícola, está constituida por microorganismos y animales pequeños, vivos y muertos, luego algunas partes frescas, restos de plantas muertas en descomposición y también el humus (transformación de materia orgánica en el suelo).

4.10.4. Características de los suelos para cultivos

Los suelos están determinados por las características del lugar y por el relieve y el micro relieve, y son:

- **Relieve**
 - **Altitud**
 - **Pendiente y orientación**
 - **Relieve regional**
 - **Relieve local**
- **Micro relieve**
 - **Clima y tiempo atmosférico**
 - **Erosión del suelo y sedimentación**
 - **Drenaje**
 - **Uso del suelo y vegetación**
 - **Fauna**
 - **Evidencia de actividades humanas**

Estas características registradas incluyen:

- Irregulares artificiales en la superficie formadas de varias maneras.
- Proximidad de restos arqueológicos que tienen relación con la historia de los cultivos.
- Trazas de fertilizantes orgánicos, inorgánicos o de abono calcáreo en la superficie del suelo.
- Profundidad, distanciamiento y forma del sistema de drenaje artificial.
- Señales de algunos cultivos inusuales.

Rosas, A. (2007). Denota que las características físicas, químicas y biológicas interactúan en forma permanente y favorece el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos, estas son:

➤ **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

- Textura y porosidad
- Estructura
- Consistencia y plasticidad
- Drenaje
- Capacidad de retención de humedad e infiltración
- Densidad aparente
- Resistencia a la penetración
- Color
- Profundidad

- **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**
 - Reacción del suelo (pH)
 - Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)
 - Contenido de elementos nutricionales
- **CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**
 - Donde se encuentran el contenido micro, meso y macro organismos que constituyen la microflora, macro y mesofauna.

4.11. FERTILIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL SUELO

Es la etapa importante que se lleva a cabo en el laboratorio y de los resultados depende la correlación de las hipótesis planteadas. El suelo tiene componentes: Minerales, materia orgánica (restos de plantas y animales), fragmentos minerales, aire, agua y seres vivos (microorganismos y mesofauna) la fase sólida ocupa hasta el 50% de su volumen total, el resto es ocupada por fases líquida y gaseosa.

4.11.1. Fertilidad física

Vitorino, B. (2010). Indica que, se refiere a las condiciones físicas que presenta un determinado suelo y que va a influir en el crecimiento normal de las plantas. Estas condiciones físicas están directamente dadas por la estructura del suelo. La estructura es la consecuencia de la conjunción de algunas condiciones físicas del suelo como la textura, la materia orgánica, el contenido de carbonato de calcio. La presencia de estas condiciones hace que el suelo resulta con un determinado pH (el pH del suelo es como la temperatura normal de una persona saludable, 6,5 es el pH ideal del suelo).

4.11.2. Fertilidad química

Se refiere al contenido de nutrientes del suelo, a las formas químicas en que se encuentran los nutrientes esenciales para las plantas (N, P, Ca, Mg. y microelementos). Se refiere también a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos, propiedad muy importante en cuanto se refiere a la capacidad de absorber e intercambiar los elementos nutritivos con la planta. Así mismo se refiere también al pH como regulador de las condiciones químicas en el suelo.

4.11.3. Fertilidad biológica

Es la riqueza del suelo en flora y fauna desde luego indispensables, siendo estos responsables de las transformaciones físicas y químicas en el suelo. La abundancia de ellos en el suelo es signo de su fertilidad biológica. Los microorganismos del suelo son responsables de la descomposición de la materia orgánica y nutrición de las plantas; por este proceso los residuos de las plantas se descomponen, evitándose así una acumulación indeseable. Además, los nutrientes contenidos en las combinaciones orgánicas dentro de estos residuos son abandonados (mineralización) para uso de las plantas.

4.12. ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL SUELO

4.12.1. Análisis físico

Tiene la finalidad de conocer las propiedades físicas y físico-químicas de cada una de las muestras, de los cuales:

- Se determina la textura mediante el análisis de tamaño de las partículas a través de la técnica de hidrómetro de Bouyoucos y también de la pipeta a fin de determinar el porcentaje de arcilla, limo y arena.

Este método se basa en medir la densidad de la suspensión del suelo, que está en función de la velocidad de sedimentación de cada una de las partículas y a partir de los valores conseguidos se determina la clasificación textural que permite ubicar suelo en estudio dentro de la clase textural.

- Se determina el color en seco y húmedo a través de la tabla MUNSELL.

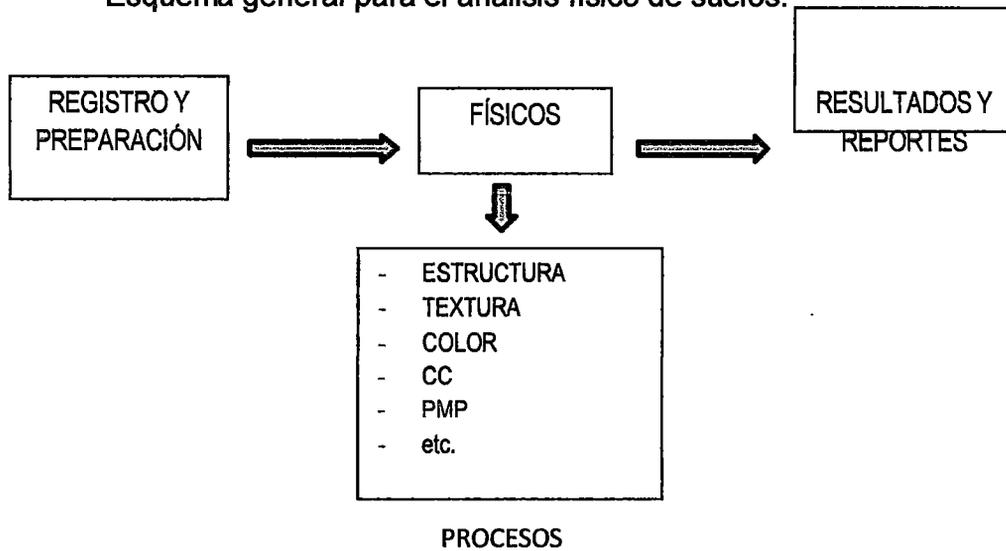
Consiste en comparar el color observado en el suelo ya sea en seco como en húmedo; ya que el color en el suelo sirve como indicador para denominar horizontes lo cual es determinante para la clasificación.

- Se mide la conductividad eléctrica (CE) en relación suelo - agua utilizando la técnica conductimétrica.

Esta técnica consiste en medir la capacidad de la solución del suelo para transportar una corriente eléctrica y el resultado indica la concentración total de sales presentes en el suelo para su clasificación.

- Se mide el pH en relación suelo - agua, empleando la técnica potenciométrica, con la cual se determina la actividad del ión hidrógeno a través del uso de un electrodo y que la membrana es sensitiva al mismo. El pH es una de las mediciones más comunes en los análisis físicos del suelo y controla las reacciones químicas y biológicas. Es afectada por factores como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales, la relación suelo solución, la presión parcial del bióxido de carbono y otros.

Esquema general para el análisis físico de suelos:



Calderón, A. (1992). Considera las siguientes variables físicas:

- Estructura
- Textura
- Color
- Porosidad
- Densidad
- Consistencia
- Humedad Equivalente
- Capacidad de Campo
- Punto de Marchitez Permanente

4.12.2. Análisis químico

Para evaluar la concentración y obtener aquellos variables que son para clasificar un suelo se realizan unos análisis químicos cuantitativos, como norma.

INEGI. (1988). Propuso la metodología que se emplea para realizar los análisis del suelo, considera que el sistema de clasificación es el propuesto por la leyenda del mapa mundial de suelos.

- Se deben preparar reactivos y soluciones estándar que se deben emplear en cada proceso analítico como también curvas de calibración. Deben calibrarse los equipos a utilizarse durante la realización de los análisis a fin de lograr la exactitud y precisión.
- Se cuantifica el contenido de materia orgánica empleando la técnica volumétrica. Esta técnica consiste en una combustión húmeda de la materia orgánica con la mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico cuyo valor indica el grado de acumulación de materia orgánica en un horizonte y es para diferenciar los suelos orgánicos de los minerales.
- Se determina la capacidad de intercambio catiónico (CIC) empleando el método de acetato de amonio, destilación y volumetría. Este método se basa en saturar el suelo con un catión índice que reemplaza a los cationes adsorbidos (Na, K, Ca, Mg) el exceso de amonio es eliminado con un solvente orgánico, luego se reemplaza el amonio adsorbido con sodio o potasio y al final se cuantifica, entonces recién se puede inferir el tipo de arcilla, cantidad de nutrientes y el grado de intemperismo en el suelo.
- Se determinan los cationes intercambiables (Na, K, Ca, Mg) que se encuentran en el extracto resultante de la saturación del suelo con el catión índice. El sodio y el potasio se cuantifican empleando las técnicas de espectrofotométrica de absorción atómica o volumetría complejométrica.

Los valores obtenidos se utilizarán para calcular el porcentaje de saturación de bases y porcentaje de saturación de sodio.

- Se cuantifica el fósforo soluble en los primeros 20 cm de profundidad empleando la técnica colorimétrica de método de Bray. El fósforo se extrae con una solución ácida de fluoruro de amonio y el valor indica la cantidad de fósforo disponible para las plantas y para diferenciar horizontes.

Calderón, A. (1992). También considera las siguientes variables químicas:

- Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK)
- Salinidad
- Conductividad Eléctrica (CE)
- Reacción del suelo (pH)
- Acidez cambiante
- Aluminio cambiante
- Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)

4.12.3. Análisis biológico

Las bacterias, hongos, algas y fauna del suelo, son responsables de la degradación de la materia orgánica y de la liberación de los nutrientes condicionando la fertilidad y capacidad de sustento de las plantas. El número y variedad de organismos del suelo está relacionado con la aparición y control de enfermedades vegetales, puesto que la alteración del equilibrio natural por la manipulación inadecuada de los suelos, condiciona el surgimiento de fitopatógenos y la disminución de microorganismos benéficos. La evaluación de las poblaciones biológicas permite reconocer el estado nutricional y de salubridad

de un suelo, constituyéndose en un excelente indicador ambiental.

- Microorganismos en actividad
- Microorganismos benéficos

4.13. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

Vitorino, B. (1988). Refiere que el problema general de la toma de muestra o muestreo del suelo ha sido resumido por la A.O.A.C. (Asociation of Official Agricultural Chemists) como sigue: "En vista de la variabilidad para la toma de muestra, es obvio que los detalles de procedimiento serán determinados por el propósito o finalidad con que se toma la muestra".

Indudablemente, la cuestión más importante asociada con el muestreo es la obtención de una muestra representativa del área que se estudia. Las instrucciones que siguen para la toma de la muestra tienen por objeto la obtención de una muestra compuesta promedio, representativa de una área dada.

El muestreo es la fase preliminar en todo proceso de análisis de suelo de una granja, fundo, parcela, campo experimental, etc., con el objeto de conocer las características físico-químicas, calificar y evaluar a los suelos, predecir posibles deficiencias en él, recomendar el abonamiento respectivo, servir para investigaciones científicas, etc.

Para el muestreo se emplean los siguientes materiales: Auger o broca americana, pala recta, badilejo, mapa del área a muestrear y/o croquis, bolsas de papel encerado o de tela o polietileno, lápiz de carbón, libreta de campo y tubo muestreador.

El procedimiento a seguir es:

1. El terreno seleccionado para el estudio debe ser cuidadosamente señalado en un mapa detallado o en un croquis que permita una rápida localización de las muestras y una confrontación de los resultados de análisis para distintas áreas.
2. El terreno deberá ser visualmente dividido en áreas o campos no mayores de 2 ó 4 hectáreas. Si un campo es muy uniforme en apariencia, producción o tratamientos anteriores, puede incluir unas 8 hectáreas para los efectos de la toma de muestra. Campos que son diferentes en apariencia, inclinación, drenaje, tipo de suelo o tratamientos anteriores serán separadamente muestreados, aun en áreas menores de 2 hectáreas.
3. Una vez localizada las áreas que van a ser muestreadas, tómesese una muestra compuesta de cada área, en zigzag, que incluye recogidas de 5 a 20 huecos o sitios. Para extensiones menores de una hectárea basta tomar 5 muestras para hacer una muestra compuesta.
4. Hay que evitar tomar muestras sobre la banda fertilizada en campos cultivados, vallados, zanjas, cerca de caminos, zonas pantanosas, cauce de irrigación, sitios en que se apilonó estiércol o cal, manchas desusadas o pequeñas áreas que difieren mucho del resto del campo.
5. La toma de muestra es más fácil cuando el suelo está en condiciones de humedad como para ser arado. Aun cuando el suelo está muy húmeda puede ser muestreado a menos que esté demasiado barroso, lo que dificultaría la mezcla de las submuestras. El mejor tiempo para el muestreo es después de arar el suelo y antes de la aplicación de la cal o fertilizantes.

6. Con la pala recta haga dos cortes en V a partir de la superficie hasta una profundidad de unos 20 cm y deseche el suelo comprendido entre los cortes; luego siguiendo paralelamente uno de los lados del ángulo, separe con la pala una delgada capa de suelo de 2 a 3 cm de espesor, de la cual corte con el badilejo los bordes de la tajada, dejando una columna central de unos 2 a 3 cm de ancho que servirá para ser mezclado con las porciones que en forma igual serán tomadas en los demás sitios del mismo campo. Hay que procurar tomar siempre el mismo volumen de suelo en cada localización.
7. Recogidas las muestras de 15 a 20 sitios, quite las raíces, piedrecillas y cualquier otra materia extraña que tenga y luego mézclelas bien.
8. Generalmente se obtiene una muestra compuesta en gran cantidad y para tener $\frac{1}{2}$ o 1 Kg de muestra (suficiente para efectuar la mayoría de los análisis) se realiza el cuarteo, que consiste en extender sobre un papel encerado o polietileno, mezclar tomando de los extremos del papel, deslizándolo el suelo dentro de él. Luego extendiendo el suelo en círculo dividir con el badilejo en cuatro partes, desechando las porciones opuestas; esta operación se repite hasta obtener la cantidad de muestra necesaria.
9. Etiquete cada muestra con un número y marque en el croquis o mapa el sitio con el mismo número o clave.
10. Llene la hoja de datos con toda la información posible.

11. Las muestras algo húmedas deben extenderse para secarlas a la temperatura del ambiente (al aire), sobre un papel limpio. Todos los terrones deben desmenuzarse antes de secar el suelo. No se debe usar calor para secar las muestras. Luego se embolsará acompañando la hoja de datos.
12. Para estudios específicos como clasificación de suelos es necesario tomar muestras de las capas u horizontes más profundas del perfil, en cuyo caso se debe perforar una calicata o pozo de suficiente amplitud que permita llegar libremente a las distintas capas y poder tomar muestras representativas.
13. En campos experimentales establecidos deben tomarse muestras separadas y repetitivas, ya sea por parcela, por block o por campo experimental, según el tipo de experimento.

El uso de instrumentos como el auger o el tubo muestreador, aunque muy útiles y eficaces, en muchos casos, no asegura la obtención de muestras ciento por ciento genuinas de una área, de cada horizonte de tal o cual.

Datos que deben acompañar a muestra de suelo enviada al laboratorio:

- Nombre del propietario.
- Nombre del fundo.
- Área (ha).
- Localidad, distrito, provincia, región.
- Posición fisiográfica (terrazza alta, terraza media, terraza baja, delta, aluvial, como aluvial y depresión).
- Pendiente.

- Altitud (m).
- Profundidad de muestra (cm).
- Profundidad efectiva.
- Clase de subsuelo.
- Cultivo anterior; rendimiento (Kg/ha).
- Nivel de abonamiento aplicado.
- Enmienda aplicada (Kg/ha).
- Cultivo a sembrarse.
- Época de siembra.
- Medios de locomoción.
- Número de sub muestras.
- Fecha de muestreo.
- Dirección del propietario.
- Observaciones.
- Firma.

4.14. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO

Vitorino, B. (1988). En el manual de análisis de suelo, refiere:

4.14.1. Estructura

La estructura es la forma y disposición en que se agrupan las partículas, para formar agregados o conglomerados, en grados de varias formas y tamaños.

La estructura del suelo es determinada en base a tres características:

A. Tipo o forma: Se refiere a la forma o disposición como se encuentran los agregados. Entre los tipos podemos distinguir:

1. **Laminar:** Como indica su denominación, tal estructura aparece en forma de láminas delgadas horizontales o de morfología a ellos asimilable. Puede existir en cualquier perfil de suelo.
2. **Prismática:** Cuando los conglomerados presentan forma de columnas verticales y de aristas definidas. La altura de estas prismas es variable de 5 – 20 cm y su anchura media oscila de 5 – 12 cm cuando están mojados. En este caso es preciso observar el desarrollo de las raíces al objeto de cerciorarse de su capacidad para atravesar este horizonte, especialmente en cultivos arbóreos. Se presentan corrientemente en el subsuelo. Es común en suelos de regiones áridas y semiáridas.
3. **Columnar:** Se diferencia de la prismática en que las aristas son redondeadas, se asemejan a pequeños cilindros. Algunas veces se encuentran recubiertas de humus lavado y entonces parecen estar barnizados. Se presentan en el subsuelo y en regiones áridas y semiáridas. Además estas formaciones son características en los suelos de Solontz, representativos de un horizonte de acumulación de arcilla en un estado de dispersión poco deseable. Los horizontes columnares son presagio de baja porosidad y mal avenamiento.
4. **Bloque angular:** Es una estructura muy común en un suelo algo pesado. Los conglomerados son muy firmes debido a la fracción de arcilla o a los geles sesquióxidos, y sus ángulos son bien definidos (formas cúbicas). Su tamaño es variable pudiendo oscilar entre 1 mm a 5 cm.

5. **Bloque subangular:** A diferencia de la anterior, en que las aristas son redondeadas. Generalmente estos conglomerados son mecánicamente débiles en comparación con los anteriores; algunas veces son tan frágiles que es imposible extraer un conglomerado aislado. En este caso conviene notar también la estabilidad de los conglomerados en agua. Con frecuencia se ven en las arenas no húmicas de aluvión y en los suelos limo-arenosos. Cuando se presenta en el subsuelo es conveniente observar si la penetración radicular es adecuada. De ser así, la estabilidad al agua de percolación es seguramente lo suficiente para los fines agrícolas, a pesar de su debilidad mecánica. Por el contrario, si esta estructura se encontrara en la superficie, sería de tendencia a encharcamiento, lo cual puede comprobarse con facilidad observando si las superficies están dañadas y sus estructuras se han convertido en laminares.

Las formas de bloque angular y subangular (nuciforme) son comunes en los subsuelos densos, sobre todo en regiones húmedas.

6. **Granular:** Se caracteriza porque sus agregados son pequeños y fuertes. Es típica en los Chernozems. Se diferencia de la estructura blocosa en que existen espacios considerables entre los conglomerados. Por tanto con esta estructura los horizontes están mucho mejor aireados y los espacios porosos son considerablemente mejores que aquellas. Esta condición es sin duda, muy deseable en el aspecto agrícola, es frecuente encontrarla en la capa húmica de las buenas tierras de cultivo.

7. **Migajosa:** Es la estructura de los suelos agrícolas verdaderamente buenos. Se diferencia de la anterior en que sus mismos gránulos son extremadamente porosos. Los suelos con esta estructura son extremadamente porosos y verdaderamente permeables, muy bien aireados y no obstaculizan el desarrollo de las raíces de las plantas.

Las formas granulares y migajosas, son característica de la capa arable, sujeta a grandes y rápidos cambios.

- B. Clase o tamaño de estructura:** Se refiere al tamaño de los agregados. Así por ejemplo en la estructura granular se puede distinguir las siguientes clases de estructura:

Granular muy fina : menor de 1 mm de diámetro.

Granular fina : 1 – 2 mm de diámetro.

Granular media : 2 – 5 mm de diámetro.

Granular gruesa : 5 – 10 mm de diámetro.

Granular muy gruesa: mayor de 10 mm de diámetro.

- C. Grado de estructura o resistencia:** Es la mayor o menor cohesión o atracción entre las partículas dentro y entre los agregados. En el campo se aprecia prácticamente observando la resistencia de los agregados a ser destruidos y la proporción de material agregado que resulta cuando el suelo es sometido a ligera presión de los dedos.

Grados:

0 : Sin estructura:

a. Masiva: Las uniones del suelo son, originariamente muy grandes, irregulares y sin los rasgos propios característicos de una agregación. Ejemplo la arcilla pura.

b. Grano simple: Las partículas sólidas individualmente. Una arena suelta es un buen ejemplo.

1 : Débil: Los agregados están débilmente formados, son inestables.

2 : Moderado: Los agregados están bien formados, estables y evidentes es la más no alterada del suelo.

3 : Fuerte: Agregados muy bien formados, muy estables y perfectamente distinguibles en la masa natural del suelo.

Entre los **materiales** más usados son el zāpapico y pala:

El **procedimiento** para determinar la estructura del suelo es como sigue:

1. Cuando el suelo está seco, observa en los terrones no alterados, las formas, el tamaño y la resistencia de los agregados, procurando romper en pedazos sin romper.
2. Cuando el suelo está húmedo (capacidad de campo), obtenga con una pala bloques de suelo y con la mano proceda a separar en pedazos, para determinar la forma de los agregados.

3. En los perfiles realizar estas operaciones en cada horizonte o capa.

El método descrito es directo para determinaciones en el campo.

Existen otros como los indirectos de laboratorio, midiendo la magnitud de los poros.

4.14.2. Textura

Para el análisis textural, las partículas consideradas son las menores de 2 mm de diámetro. Para ello el suelo se pasa por un tamiz de 2 mm y secado al aire o la estufa (105 °C).

Las partículas mayores de 2 mm, son consideradas como modificadores de la textura y podemos distinguir: grava, guijarros y piedras.

El objetivo de la presente práctica es hallar la proporción de los constituyentes minerales del suelo: arena, limo y arcilla, por el método del hidrómetro.

Método del Hidrómetro de Bouyoucos

Está basado por la ley de Stokes, que prescribe, que la velocidad de caída de cada partícula esférica en una suspensión de agua, está en proporción directa al cuadrado de su radio, a la gravedad y, a la diferencia entre la densidad de la partícula y del agua destilada. En cambio está en función inversa al coeficiente de viscosidad del fluido.

$$V: \frac{2}{9} \frac{(D_r - D_a) g r^2}{u}$$

Dónde:

V : velocidad en cm/seg (velocidad de caída de una partícula).

g : aceleración de la gravedad en cm/seg²; 980 cm/seg² (gravedad).

r : radio de la partícula en cm (radio de la partícula esférica).

D_r : densidad real de la partícula que cae (g/cm³), valor promedio

2.65. D_a : densidad de líquido, g/cm³, 1 g/cm³.

U : viscosidad del líquido (g/cm³): 0.01005 a 20 °C.

La muestra de suelo a usarse puede ser secada al aire, en cuyo caso los resultados se expresarán en base a suelo seco al aire, o bien secado a la estufa a una temperatura de 100 a 110 °C y los resultados se expresarán en base a suelo seco a la estufa.

Modificadores de la textura

Algunos modificadores texturales necesitan tratamientos preliminares, así:

- Suelos con alto contenido de materia orgánica, más de 5% se procederá a la destrucción de esto utilizando agua oxigenada al 30% o 100 volúmenes (a 60 g de suelo seco, agregue agua destilada hasta cubrirlo 1 cm. Agregue 5 ml de agua oxigenada, mezcle bien y cubra con vidrio de reloj el vaso electrolítico, si hay una fuerte reacción, deje reposar hasta que cese la efervescencia; luego repita la dosis de H₂O₂ hasta que no haya ebullición y el suelo parezca blanqueado. Ponga el vaso en una estufa eléctrica (50 a 60 °C) agréguele otros 5 ml de H₂O₂ y déjele cubierto durante la noche (8 horas). Filtre el suelo y lávelo con agua destilada tres veces. Seque el

Suelo en una estufa a 105°C durante 24 horas. Pésele de nuevo y calcule el porcentaje de pérdida de materia orgánica y de sales (U. Fersythe).

- Suelos con alto contenido de sales, mayor de 1%, se recomienda eliminar las sales solubles mediante lavajes con agua destilada. 50 g de suelo con 0.5% de sales tendrá de 8 – 16 mmhos/cm en extracto de saturación.
- Suelos con alto contenido de carbonatos, deberán ser tratados con un buen dispersante y evitar la floculación de las partículas.

Materiales:

- Probeta o cilindro de sedimentación de 1000 – 1130 ml, con diámetro interno de 5.96 ± 0.15 cm.
- Hidrómetro de Bouyoucos ASTM – 152 – H para suelos.
- Dispersador eléctrico.
- Pipetas graduadas de 5 ml.
- Pistón para mezclar (varilla de bronce conectado a un disco de bronce o plástico con un diámetro un poco menor que del cilindro.
- Frasco lavador.
- Piezas de papel para pesar.
- Balanza (precisión 0.01 g) y reloj con cronómetro.

Reactivos:

- Hidróxido de sodio al 1N o al 5% (agente dispersante).
- Oxalato de sodio saturado (agente dispersante).
- Alcohol amílico.

Procedimiento:

1. Pese 50 g de suelo secado a la estufa y tamizado en tamiz de 2 mm.
2. Coloque la muestra en un vaso de dispersión y agregue agua destilada hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su volumen.
3. Agregue 5 ml de NaOH 1N y 5 ml de oxalato de sodio saturado. Deje en reposo durante 5 minutos.
4. Coloque el vaso en el dispersador eléctrico y agite por espacio de 5 minutos cuando el suelo es ligero y durante 10 minutos cuando el suelo es pesado.
5. Trasfiera la suspensión al cilindro de sedimentación, ayúdese utilizando un frasco lavador con agua destilada, cuidando de arrastrar todas las partículas del suelo. Con el hidrómetro dentro del cilindro, enrase la suspensión hasta la marca de 1 130 ml con agua destilada.
6. Retire el hidrómetro y selle con la palma de la mano la parte superior de la probeta y agite el contenido con movimiento angular recíprocamente más o menos energético. O en su defecto utilice el pistón agitando de arriba abajo, similar a un émbolo.
7. Inmediatamente después de dejar de mezclar la suspensión ponga en reposo la probeta. Tome el tiempo y sumerja cuidadosamente el hidrómetro, anote la primera lectura a los 40 segundos. Si existe espuma en la superficie de la suspensión agregue una gota de alcohol amílico. Esta lectura corresponde a la densidad de la suspensión con limo y arcilla.

8. Retire el hidrómetro y mida la temperatura de la suspensión. Se recomienda repetir los pasos 6 y 7 en caso de que no esté seguro del resultado.
9. Una hora después de la primera lectura, realice la segunda lectura del hidrómetro y vuelva a tomar la temperatura. Esta lectura corresponde a densidad de la suspensión con arcilla.

Fórmulas:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40"} \times 100}{\text{Masa del suelo}}$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida a la hora} \times 100}{\text{Masa del suelo}}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

Triángulo textural:

El triángulo de texturas es el instrumento preciso que se utiliza para la determinación del nombre de la clase textural de un suelo, en sus proporciones de arena, limo y arcilla a partir de un análisis mecánico.

Consiste en un triángulo equilátero, cuya base corresponde al porcentaje de arena, el lado adyacente derecho corresponde a la escala de porcentaje de arcilla y el lado adyacente izquierdo con respecto a la base corresponde a la escala de porcentaje de limo.

4.14.3. Color

Calderón, A. (1992): Refiere que el color del suelo es una característica observable con facilidad y constituye un criterio en la descripción y clasificación de los suelos. Muchos grupos de suelos han recibido su

nombre según los colores sobresalientes del suelo: suelos negros, latosuelos rojos, y amarillos, suelos grises hidromórficos, etc.

El color de un suelo puede ser herencia de su material originario. A menudo, el color del suelo es un resultado de procesos formativos del suelo y se denomina color adquirido o genético.

Las variaciones en el color del suelo se deben, principalmente al contenido de materia orgánica que, en general, proporciona tintes negros a gris oscuro; a los compuestos de hierro que causan los matices rojos, pardo y amarillo; y el sílice, a la cal y a otras sales que producen claro, blanco y gris. El horizonte superficial del suelo es, por lo común, el más oscuro, principalmente a causa de la presencia de materia orgánica.

El color del suelo es índice de muchas otras propiedades del suelo. Directamente el color del suelo influye en la temperatura del mismo hasta cierto grado. Los suelos de color oscuro absorben más calor que los de color claro.

Los colores del suelo se determina mejor mediante, la comparación con los cuadros descritos de color estándar. El cuadro de colores del suelo de MUNSELL se utiliza comúnmente para este fin. El color del suelo es un resultado de la luz reflejada desde el suelo y depende de la combinación de tres términos o variables del color: el tono, el valor y el croma.

Tono, es el color espectral dominante (matiz).

Valor, es la brillantez o cantidad total de luz (brillo).

Croma, es la pureza o saturación relativas del color espectral dominante (saturación).

Las notaciones de color de Munsell son designaciones numéricas y literales sistemáticas de cada una de estas tres variables. Por ejemplo, la notación numérica 2.5 YR 5/6 constituye 2.5 YR como tono, 5 como valor y 6 como croma. El nombre equivalente de color del suelo de esta notación de Munsell es "rojo".

4.14.4. Densidad

Calderón, A. (1992). Indica que la densidad representa el peso por volumen unitario de una sustancia. La densidad del suelo se expresa por 2 conceptos muy aceptados: La densidad de las partículas o densidad real, y la densidad de masa, de volumen o aparente.

Densidad de las partículas o densidad real:

Es el peso por el volumen unitario de la parte sólida del suelo y se expresa en g/cm^3 . Depende de las densidades acumulativas de los constituyentes individuales inorgánicos y orgánicos del suelo. La densidad de las partículas de suelos predominantemente minerales varía de 2.60 a 2.75 g/cm^3 , mientras que la de la materia orgánica oscila entre 1.2 y 1.7 g/cm^3 . Una cifra generalmente aceptada de densidad de partículas en suelos normales es de 2.65 g/cm^3 .

La densidad de las partículas es más elevada si en el suelo se hallan presentes cantidades grandes de minerales pesados como magnetita, limonita, hematita y zircón. Con el aumento de materia orgánica en el suelo, disminuye la densidad de las partículas.

Vitorino, B. (1988). La densidad real o densidad de sólidos, es una relación de la masa de suelo a la estufa (105 °C) por la unidad de volumen de los sólidos del suelo.

$$dr = Ms/Vr \quad (\text{g/cm}^3 \text{ ò Kg/cc ò tn/m}^3)$$

Donde:

dr = densidad real

Ms = masa de los sólidos

Vr = volumen de los sólidos o volumen real

La densidad real o de partículas de suelo es importante para calcular:

- La porosidad total del suelo empleando los datos de densidad aparente.
- La concentración de sólidos suspendidos para la evaluación de la densidad de suspensión.
- La velocidad de sedimentación de las partículas en líquidos ò gases.

La densidad de partículas tiene un valor promedio de 2.65 g/cm³ para la mayoría de suelos minerales.

Densidad de masa, de volumen o aparente:

Calderón, A. (1992). La densidad de volumen se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen total de suelo seco, expresado en g/cm³.

El volumen incluye tanto los sólidos como los poros del suelo. La densidad de la masa arena es de más o menos 1.7 g/cm³, mientras que la de la materia orgánica como la turba es de más o menos 0.5 g/cm³; aceptándose para los suelos minerales un promedio de 1.3 a 1.4 g/cm³, y para los suelos compactos de 2 g/cm³ o más.

Normalmente la densidad de volumen disminuye a medida que los suelos minerales son más finos de textura, a mayor contenido de espacio poroso y mayor cantidad de materia orgánica.

La densidad de la masa es de mayor importancia que la densidad de las partículas para comprender el comportamiento físico de los suelos. En general, los suelos con bajas densidades de masa tienen condiciones físicas favorables, mientras que aquellos con densidades elevadas de masa, poseen malas condiciones físicas. Conociendo la densidad de masa y densidad real de un suelo se puede estimar el peso de la capa arable y su porosidad.

Vitorino, B. (1988). A la densidad aparente se le denomina también densidad de volumen. Es la relación entre la masa de suelo seco (M_s) a la estufa (105°C) de las partículas del suelo y el volumen total (V_t) del suelo, incluyendo el espacio poroso que ocupan.

$$d_a = M_s/V_t \quad (\text{g/Cm}^3 \text{ ó Kg/cm}^3 \text{ ó t/m}^3)$$

Donde:

d_a = densidad aparente

M_s = masa de los sólidos

V_t = volumen total del suelo en cm^3

En líneas abajo se da valores promedios de densidad aparente y porcentaje de porosidad. Estos datos son muy generales y se presentan con el fin de ilustrar en forma cualitativa el grado en que, estos factores varían con textura del suelo, aun cuando otros factores tales como la estructura, contenido de materia orgánica, contenido de humedad, etc. Tienen mucha influencia sobre éstos.

| <u>Clase textural</u> | <u>Densidad aparente</u> | <u>% de porosidad</u> |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Arenosos | 1.9 – 1.7 g/cm ³ | 28 – 33 |
| Franco arenosos | 1.7 – 1.5 g/cm ³ | 33 – 42 |
| Franco limosos | 1.5 – 1.3 g/cm ³ | 42 – 51 |
| Arcillosos | 1.3 – 1.0 g/cm ³ | 51 – 59 |

Es muy importante disponer del valor de la densidad aparente por sus múltiples aplicaciones:

- Para transformar los porcentajes de humedad de un suelo en términos de lámina de agua en el suelo.
- Para calcular el porcentaje de porosidad y espacio aéreo conociendo la densidad de partículas.
- Para estimar el estado de compactación del suelo.
- Para estimar el peso de la capa arable del suelo.

Por el **método de la probeta** se determina la densidad del suelo; donde se emplea los siguientes materiales: probeta de 100 ml, suelo problema, tampón de jebe, vagüeta de vidrio, piezas de papel para pesar, balanza con aproximación de 0.1 mg.

Procedimiento:

1. Pesar 50 g de muestra de suelo problema (MS), tamizado en malla de 2 mm y secado al aire o a la estufa a 105 °C.
2. Coloque la muestra en la probeta y deje caer la probeta sobre el tapón de goma por 10 veces desde una altura de 5 cm (esta operación se puede hacer también dejando caer sobre la palma de la mano), anote el volumen del suelo (Vs) en el cuadro de resultados.
3. Calcule la Da de la muestra (si se desea determinar únicamente la densidad aparente, realice hasta aquí).

4. Vacíe la muestra sobre una pieza de papel. Tenga cuidado para evitar pérdidas.
5. Llene la probeta exactamente con 50 ml de agua (V_a).
6. Agregue cuidadosamente el suelo en la probeta, agitando a intervalos con una vaqueta para expulsar completamente el aire. Tanto como sea posible rompa los agregados individuales del suelo.
7. Después de que la muestra esté libre de burbujas de aire y haya sedimentado, lea el volumen combinado de suelo más agua (V_{sa}).
8. Determine la suma de volúmenes separados del suelo y del agua ($V_s + V_a = V_t$), anote el resultante de esta operación. Observe que esta suma no es igual al actual volumen combinado de suelo y agua. En la mezcla el agua está ocupando los espacios vacíos porosos que antes los ocupaba el aire.
9. La diferencia entre el volumen total y el volumen combinado ($V_t - V_{sa}$) es la medida del volumen del espacio poroso total (V_{ep}).
10. El volumen de los sólidos del suelo o volumen real (V_r) se calcula sustrayendo el volumen del agua (V_a) del volumen combinado de suelo más agua (V_{sa}).

$$V_r = V_{sa} - V_a$$

11. Calcule la densidad real (D_r) dividiendo el peso del suelo (50 g) entre el volumen real.

4.14.5. Porosidad

Calderón, A. (1992). La porosidad se refiere al porcentaje del volumen del suelo que está ocupado por los espacios intersticiales o espacios porosos.

Se calcula como sigue:

$$\text{Porcentaje de espacio poroso} = \left(1 - \frac{d.v.}{d.p.}\right) \times 100$$

Por ejemplo, que tiene una densidad de volumen de 1.5 g/cm^3 y una densidad de partículas de 2.65 g/cm^3 , tiene el 43.40 % de espacio poroso.

La porosidad varía con la textura del suelo, la forma de las partículas individuales, la estructura del suelo, la cantidad de materia orgánica y la solidez. En los suelos arenosos aunque los poros son muy grandes, sin embargo, el espacio poroso total es pequeño. En los suelos de textura fina, existe la posibilidad de más granulación y el espacio poroso total es elevado debido a los espacios entre las partículas individuales y en los gránulos.

La porosidad del suelo indica el espacio poroso total y no el tamaño y la forma de los poros individuales. Dependiendo del tamaño de los mismos, se reconocen macro y micro poros, pero la determinación de sus cantidades individuales o proporción es muy difícil. Si se pudiera calcular, se podría determinar fácilmente el movimiento de humedad en el interior del suelo. Los macro poros (no capilares) permite el movimiento libre del aire y del agua y en condiciones normales no retienen mucha agua. Los micro poros (capilares) pueden retener más agua, pero el movimiento del aire y de agua se restringen en cierto grado. El tamaño de los poros individuales, y no el espacio poroso total en un suelo, es más importante en relación con el desarrollo de las plantas. En condiciones ideales de aireación, permeabilidad y retención de agua, un suelo debe tener una cantidad más o menos igual de macro y micronutrientes.

La porosidad de un suelo se cambia con facilidad. Cualquier operación que reduzca la agregación y disminuya la cantidad de materia orgánica en el suelo, reduce el espacio poroso. Normalmente, la porosidad disminuye con la profundidad del suelo.

Vitorino, B. (1988). El valor de porosidad es importante en las relaciones de humedad y aire; pero el tamaño de los poros, que es difícil de determinar, es también muy importante, debido a que la proporción del movimiento de agua a través del suelo depende del tamaño de los poros (macro poros y micro poros).

La textura es esencialmente poco cambiante para un suelo dado, dentro de un periodo de tiempo igual a la generación del hombre, pero la estructura es influenciada por las labranzas, cultivos y otros factores; por consiguiente afectará las relaciones de espacio poroso y humedad. Los incas sí modificaron la textura del suelo, para construcción de suelos en los andenes.

Otras fórmulas para hallar la porosidad del suelo:

$$\% P = \frac{V_t - V_r}{V_t} \times 100 \quad : \quad \frac{V_{ep}}{V_t} \times 100$$

$$\% P = \frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100 \quad \text{ò} \quad \% P = 1 - \frac{d_a}{d_r} \times 100$$

Donde:

P = Porosidad

V_r = volumen real

V_t = volumen total

V_{ep} = volumen de espacio poroso

d_r = densidad real

d_a = densidad aparente

4.14.6. Humedad equivalente

Vitorino, B. (1988). La humedad equivalente es la cantidad de agua retenida por el suelo de un centímetro de profundidad, cuando se le somete a una fuerza centrífuga igual a 1000 veces la gravedad (succión equivalente a 0.98 atmósferas).

$$\% \text{ HE} = \frac{\text{MagE}}{\text{Ms}} \times 100$$

Donde:

HE = humedad equivalente

MagE = masa de agua equivalente

Ms = masa de suelo secado a la estufa

El procedimiento para determinar la humedad equivalente es:

- Tomar un embudo Buchner y humedecer con agua destilada, para adherir luego un papel filtro N° 42.
- Colocar una capa de tierra hasta un espesor de 1 a 1.5 cm. La tierra debe estar desecada a la temperatura ambiente y tamizado en tamiz de 2 mm.
- Adaptar el embudo a un kitasato, agregando agua destilada en toda su capacidad del embudo, luego conectar a la bomba de succión hasta que el suelo este bien asentado. Proseguir la succión durante 10 minutos a

partir del momento en que desaparece el agua.

- Pasar a una caja petri y poner 50 g de suelo en su humedad equivalente. Pesar el conjunto. Anotar los datos en cuadro de datos.
- Poner el conjunto en la estufa y secar a una temperatura de 100 – 110°C durante 24 horas. Al cabo de este tiempo, ponga el conjunto dentro de una campana de desecación por espacio de 10 minutos y finalmente pesar. Hacer los cálculos consiguientes.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|------------|---------------------------|-----------------|--------------|-----------|------------|
| N° suelo | Masa petri | Masa Petri + suelo húmedo | Masa petri + Ms | Mag E 3-4 | Ms 4-2 | %HE 5/6 |

4.14.7. Capacidad de campo

La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente. En un suelo bien drenado por lo menos se llega a este punto aproximadamente 48 horas después de irrigar y cuando se ha perdido toda el agua gravitacional. También se define como el contenido de humedad del suelo a una tensión de 1/3 atm. La capacidad de campo se expresa en porcentaje en base al peso del suelo secado a la estufa (100 – 110°C).

$$\% \text{ CC} = \frac{\text{MagCC}}{\text{Ms}} \times 100$$

Donde:

CC = Capacidad de campo

Mag CC= Masa de agua de capacidad de campo

Ms = Masa de suelo secado a la estufa

Otras fórmulas:

$$\% \text{ HE} = 0.555 (\% \text{Arcilla}) + 0.187 (\% \text{Limo}) + 0.027 (\% \text{Arena}) + 3 (\% \text{M.O.})$$

$$\% \text{ CC} = 0.865 \times \text{HE} + 2.62 \text{ (para suelos francos, franco arcillosos y arcillosos).}$$

$$\% \text{ CC} = 0.774 \times \text{HE} \times 4.41 \text{ (para suelos franco arenosos y arcillosos).}$$

$$\% \text{ PMP} = \frac{\text{HE}}{1.84 + 0.013}$$

Donde PMP: Punto de marchitez permanente.

El procedimiento para determinar la capacidad de campo es como sigue:

1. Llenar la probeta con el SSA y tamizado en tamiz de 2 mm, hasta un volumen aproximado de 40 ml.
2. Golpear la base de la probeta sobre la palma de la mano, repetidas veces. Agregar 10 ml de agua destilada. Dejar en reposo para que el agua se filtre en el suelo durante 45 minutos.
3. Al cabo de este tiempo, toda el agua debe haberse infiltrado hacia las partes inferiores de la probeta. El agua que se ha movido hacia el fondo es el agua de percolación o gravitacional y la parte mojada del suelo está en su capacidad de campo.

4. Pesar un petri y poner en ello una muestra de suelo húmedo de aproximadamente 20 g. Anotar los datos en el cuadro.
5. Colocar el conjunto en la estufa y secar en la estufa a una temperatura de 100 – 110 °C, durante 24 horas. Al cabo de este tiempo, poner dentro de la campana de desecación durante 10 minutos para su enfriamiento y luego pesar el conjunto.
6. Hacer los cálculos consiguientes, haciendo el uso del registro de datos.

| | | | | | | |
|----------------------|------------|---------------------------|-----------------|---------------|-----------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| N ^a suelo | Masa petri | Masa petri + suelo húmedo | Masa petri + Ms | Mag CC 3-4 | Ms 4-2 | %CC 5/6 |

4.14.8. Punto de marchitez permanente

Vitorino, B. (1988). Se ha definido como el contenido de la humedad del suelo, al cual las plantas no vuelven a recobrar su turgencia en una atmósfera saturada.

Factores que afectan la marchitez:

1. Factores ambientales: Cuando la velocidad de absorción de agua por las raíces es menor que la velocidad de transpiración, las plantas muestran síntomas de marchitamiento. Esto puede suceder aunque el contenido de humedad esté cercano a la llamada capacidad de campo, pero la planta puede recobrase en las noches, durante la cual la velocidad de transpiración es menor que la velocidad de absorción de humedad por las raíces. Esta marchitez se la denomina, marchitez temporal o transitoria.

2. Marchitez repetida de la planta de prueba: Se puede pensar que las plantas marchitadas varias veces, manifiestan un ajuste fisiológico que le permite llegar a contenidos de humedad menores al del punto de marchitez; los informes experimentales indican que llegan al mismo punto de marchitez, como las plantas marchitadas por primera vez.
3. Sistemas de raíces de plantas: Bajo condiciones de campo, muchas plantas tienen un sistema pobre de raíces debido a varias razones:
 - Características genéticas de las plantas, que determinan la morfología de las raíces.
 - Condiciones desfavorables del suelo; los suelos en el campo, pueden estar tan compactados que las raíces no pueden penetrarlos completamente, a pesar de que la densidad aparente no sea lo suficientemente alta para que el suelo no sea considerado como un clay pan o hard-pan.
4. Textura del suelo: El contenido de humedad del suelo en el punto de marchitez es variable según la textura del suelo. Así por ejemplo:

| <u>Tipo de suelo</u> | <u>Punto de Marchitez Permanente</u> |
|----------------------|--------------------------------------|
| Arenoso | 3.05 % |
| Franco | 8.82 % |
| Franco – limoso | 10.20 % |
| Arcilloso | 17.10 % |

5. Efecto de los fertilizantes: Bovie (1910) informó que al agregar NaCl a un suelo arenoso, no variaba el contenido de humedad después de que el trigo se marchitaba en una atmósfera con baja humedad relativa.

Kearney (1913), informó que la salinidad no afectaba el punto de marchitez a menos que el contenido de sales fuese tan alto que produjese daño a las plantas. Thomas (1939), informó que la agregación de sal en un suelo franco-arenoso, aumentó el valor del punto de marchitez. Webster y Wiswanath (1921), plantearon que las plantas se marchitan a un contenido de humedad más alto en los suelos salinos que en los mismos suelos sin sales. Veihmeyer y Hendrickson, informaron que el punto de marchitez no era seriamente afectado con la agregación de fertilizantes siempre que no se llegara a un punto que cause daño a las plantas y de que la agregación de fertilizantes en cantidades corrientemente empleadas en las prácticas culturales, no afecten la medida del punto de marchitez.

El procedimiento para determinar el PMP es el siguiente:

- Tomar 100 g del suelo y poner en un petri tarado.
- Colocar en la estufa de 100 – 110 °C, durante 24 horas.
- Determinar el porcentaje de humedad del punto de marchitez permanente.

$$\% \text{ PMP} : \frac{\text{Mag}}{\text{Ms}} \times 100$$

Donde: Mag : masa de agua
 Ms : masa de sólidos

| | | | | | | |
|----------------------|------------|--------------------|-------------------------|------------|-----------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| N ^a suelo | Masa petri | Masa petri + suelo | Masa petri + suelo seco | Mag 4-3 | Ms 4-2 | %PMP 5/6 |

Según **Guillermo Aguirre** (Copia de la UNA – La Molina), citado por **Vitorino, B. (1988)**.

| <u>Tipo de suelo</u> | <u>Punto de Marchitez</u> | <u>Capacidad de Campo</u> |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | <u>Permanente</u> | |
| Arenoso | 1.7 – 2.3 % | 6.8 – 8.5 % |
| Franco | 6.8 % | 18.1 % |
| Franco – limoso | 7.9 % | 19.8 % |
| Arcilloso | 14.7 % | 22.6 % |

4.14.9. Coeficiente de higroscopicidad

Vitorino, B. (1988). Coeficiente de higroscopicidad de un suelo es la capacidad que este suelo secado a la estufa (100 – 110 °C) debe adsorber agua higroscópica, colocado dentro de una campana de desecación con una humedad relativa de 98%.

Los suelos finos adsorben mayor cantidad de agua higroscópica que los suelos gruesos.

TABLA 1. Coeficiente higroscópico de diversos suelos.

| <u>Suelos</u> | <u>% Coeficiente de higroscopicidad</u> |
|-------------------------|---|
| Arcilla montmorillonita | 20 |
| Arcillo – limoso | 16 |
| Arcillo – silíceo | 10 |
| Limo – arcilloso | 7 |
| Silíceo – limoso | 2 |
| Limo – silíceo | 4 |
| Arena – cuarzosa | 0.03 |

Entre los **materiales** empleados para determinar el porcentaje de coeficiente de higroscopicidad se tiene: Cajas petri, estufa eléctrica, ácido sulfúrico al 3.3%, campana de desecación, balanza con aproximación de 0.01.

Procedimiento:

- Pese una caja petri y coloque en ella aproximadamente 10 g de SSA, tamizado en tamiz de 2 mm. Pese el conjunto.
- Ponga a secar en la estufa eléctrica a 105 °C durante 8 horas. Al cabo de este tiempo introduzca dentro de la campana de desecación conteniendo H₂SO₄ al 3.3% (humedad relativa 98%) durante 48 horas.
- Finalmente pese el conjunto. Anote los resultados en el cuadro de registro de datos. Determine el coeficiente de higroscopicidad aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Coeficiente de higroscopicidad} = \frac{\text{Masa de agua ganada}}{\text{MSSA}} \times 100$$

Donde:

MSSA = Masa del suelo seco al aire.

Ejemplo de registro para determinar el porcentaje de coeficiente de higroscopicidad:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|------------|------------------|----------------------------|---------------------|-------|------------------|
| Nº Suelo | Masa petri | Masa petri + SSA | Masa conjunto a las 48 hs. | Masa de agua ganada | MSSA | % Coef. Higrosc. |
| | | | | 4 - 3 | 3 - 2 | 5/6 |

4.15. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

4.15.1 Nitrógeno

Fundamento:

La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra en forma orgánica. Muy pequeñas cantidades se encuentran en forma utilizable por las plantas, esto es, en forma mineral (NO_3^- , NH_4^+). Hay dos tipos generales de procedimientos analíticos: el método de Kjeldahl, por conversión del nitrógeno a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y el de Dumas, por conversión a gas nitrógeno.

La aproximación general del contenido total de nitrógeno orgánico del suelo puede hacerse partiendo del contenido de materia orgánica.

M.O. x 0.05 = N (nitrógeno total)

Método:

Walkley – Black.

Materia orgánica oxidable:

La materia orgánica total comprende la materia orgánica no transformada, que está constituida por carbohidratos, lignina, proteínas, grasas, ceras, resinas y otros; y por la materia orgánica transformada en humus, es decir que esta va a pasar a mineralizarse.

Oxidamos la materia orgánica total, atacándole con un fuerte oxidante: el

bicromato de potasio en medio ácido. Luego valiéndonos de una sal ferroso- amoniacal, valoramos el exceso de dicromato. Por diferencia calcularemos el volumen de bicromato que se ha consumido en la oxidación de la materia orgánica.

El resultado que se obtiene corresponde al carbono de la muestra. Luego por medio de un factor (0.04) apropiado se convierte el C en M.O.

Materiales:

- Erlen meyer de 300 ml.
- Suelo problema seco a la estufa.
- Balanza con aproximación de 0.0001 g.
- Bureta de 50 ml (para titular).
- Pipeta contrastada de 10 ml.
- Pipeta de 5 ml.
- Pipeta de 1 ml.

Reactivos:

- Solución acuosa de dicromato de potasio 1N: 49.04 g de $\text{Cr}_2\text{K}_2\text{O}_7$ R.A. secado previamente en estufa de 100-110°C, se introducen en un matraz aforado de 1 litro. Disolver y llevar a volumen con agua destilada.
- Ácido sulfúrico concentrado R.A.
- Solución de difenilamina: 0.5 g de difenilamina se disuelven en 20 ml de agua destilada y 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido fosfórico concentrado R.A. al 85%.

- Solución de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) 0.5 N: Disolver 196.10 g de $(\text{SO}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en unos 800 ml de agua destilada conteniendo 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se diluye a un litro.

Procedimiento:

1. Pesar 0.5 g de suelo secado a medio ambiente, finamente pulverizado (debe pasar todo por un tamiz de 0.5 mm de luz de malla). 0.5 g de suelo para suelos ricos, 1 a 2 g para suelos pobres en materia orgánica.
2. Agregar 10 ml de solución de dicromato de potasio, agitando suavemente hasta empapar el suelo con la solución.
3. Agregar 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (químicamente puro) agitando suavemente durante 30 segundos. La mezcla se deja en reposo durante 30 minutos.
4. Agregar de una vez 200 ml de agua destilada, dejar enfriar a la temperatura ambiente.
5. Agregar 10 ml de ácido fosfórico, seguidos de un ml (1) difenilamina. Enfríe bajo el grifo de agua hasta temperatura ambiente. El color es verde opaco o pardo oscuro al principio debido al ión cromoso.
6. Valore el dicromato no reducido con la sal de Mohr. Durante la valoración pasa a azul turbio o violeta a medida que la titulación prosigue. Si en la proximidad del punto final no aparece un color violeta brillante, debe repetirse todo el proceso, utilizando ahora 5 ml de difenilamina. En el punto final el color pasa netamente a verde brillante.

7. Los resultados se calculan midiendo la ecuación.

$$\% \text{ M.O.} = (10 - (S \times N)) \times 1.34$$

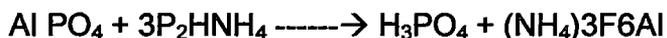
Donde:

S : Número de ml de solución 0.5 N de sulfato ferroso amoniacal gastados en la titulación (se multiplica por N, normalidad de la solución sulfato ferroso amoniacal para reducir a ml 1 N y poder restar de 10). El factor 1.34 es el resultado de considerar el peso de la muestra 0.5 g, la normalidad, el equivalente químico del carbón dividido entre 1000, el factor 1.724 para el carbón, el factor de recuperación de la M.O. (0.77 según Walkley).

4.15.2. Fósforo

Fundamento: (Fósforo extraíble por fluoruros)

El ión F_2^{-2} puede solubilizar los fosfatos de hierro y aluminio por su propiedad de formar complejos en estos cationes. El proceso en medio ácido, sería:



En esta reacción el PO_4Al puede ser asimismo uno de los variados fosfatos hidratados o hidroxilados de Al, así mismo óxidos o aluminio-silicatos absorbidos o precipitados superficialmente (la reacción con el Fe sería similar). Como el medio es ácido también disuelve la parte más activa de los fosfatos de Ca presentes.

Método:

Colorimétrico

Materiales:

- Erlen meyer de 125 y 50 ml con tapones.
- Pipetas de 20, 2 y 1 ml.
- Embudos y papel filtro de 7 cm de diámetro.
- Colorímetro con filtro de 660 μ (mili micrones de longitud de onda) o (espectro-fotocolorímetro).
- Matraces aforados de 50 y 1,000 ml.

Reactivos:

Solución extractora: (HCl 0.025 N + NH_4F 0.030 N).- Disolver 1.11 g de NH_4F y 4.16 ml de HCl 6N en 1 litro de agua destilada.

Molibdato de Amonio al 1.5 %.- (en medio clorhídrico 3.5 N) Disolver 15.0 de Molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, en unos 300 ml de agua destilada (50 %) que se deja enfriar y a continuación se añaden lentamente y agitando 300 ml de HCl concentrado. Cuando la solución se ha vuelto a enfriar a la temperatura ambiente, se diluye con agua a 1,000 ml en matraz aforado, se agita bien y guarda en frasco protegido de la luz. Dura unos dos o tres meses sin estropearse.

SnCl_2 .- Disolver 10 g de $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 25 ml de HCl concentrado calentando ligeramente. Esta disolución mantenida en frasco cerrado en la oscuridad dura unos dos meses. Para cada jornada de trabajo, se prepara

una solución diluida pipeteando 1 ml diluyendo en 330 ml de agua destilada, recientemente hervida y enfriada.

Fosfato patrón.- Desecar a 40°C fosfato mono potásico y después de enfriado en desecador, pesar 0.2195 g y disolver en unos 400 ml de agua destilada en un matraz aforado de 1 litro. Adicionar 1 ml de H₂SO₄ C y enrasar. Guardar la solución patrón (50 ug P/ml) en frasco de vidrio ordinario (no pyrex) lavado previamente en mezcla sulfocrómica. A partir de esto se prepara una solución patrón 2 ppm por dilución pipeteando 4 ml a una matraz de 100 ml y enrasando la solución diluida (2ug P ml), conviene preparar fresco cada mes.

Procedimiento:

1. Pesar 2.85 g de suelo tamizado y ponerle en Erlen meyer de 50 ml junto con 20 ml de solución extractora (HCl + NH₄F).
2. Tapar y agitar durante 1 minuto.
3. La suspensión se filtra a través de embudo con filtro Whatman N° 42 (humedecido previamente con agua). El filtrado debe ser clara y si no, se vuelve a pesar la solución por el mismo filtro.
4. Se pipetean 2 ml de molibdato amónico y se agita a continuación con agitador.
5. Por último se adiciona 1 ml de solución recientemente diluida de cloruro de estaño y se mezcla rápidamente.
6. El color se lee en el colorimétrico con 660 mu (mili micrones), después de 5 minutos y antes de 15 minutos.

7. Se llevan dos blancos y un patrón en cada serie de determinaciones que han sido preparados de modo semejante.
8. A partir de la lectura del colorímetro se calcula los ppm de P en el gráfico.
9. Antes de realizar los análisis conviene calibrar el colorímetro para lo cual se preparan varios patrones en el intervalo de 0.1 a 1 ppm con las solución patrón en el tubo de ensayo (equivalente a 0.5 a 5 ml de solución a 2 ppm) y se completa a 5 ml. Después se adicionan 2 ml de la solución extractora, 2 ml de molibdato de amonio y 1 ml de SnCl_2 . También aquí debe de incluirse dos blancos, que se someten a los mismos procesos y sirven para colocar el colorímetro en la lectura de 100 % de transmisión de la luz.

Obtenido el % de transmisión, se convierte estos valores a Extinción o densidad óptica utilizando una tabla de conversión (o usando la fórmula $\text{Ext} = -\log \text{Trans por } 100$). Luego se construye el gráfico en el campo cartesiano, correspondiendo la ordenada a Extinción y la abscisa a ppm de P. Construido el gráfico es posible encontrar el P extraíble del suelo por este método con el cálculo siguiente:

Ppm P (suelo): ppm P (solución) x 35

O también, cuando el suelo pesa 2,000 toneladas la hectárea

P_2O_5 Kg/ha: ppm P (solución) x 160.

Donde : 160 viene de multiplicar 35 x 2 toneladas de suelo x 2.3 factor de conversión de P a P_2O_5 .

4.15.3. Potasio

Fundamento:

Consideramos potasio disponible a la suma de potasio intercambiable, absorbido por la micela coloidal, más la pequeña cantidad de potasio que puede encontrarse en forma de no intercambiable, pero soluble.

La determinación del potasio es ordinariamente más rápida cuando se hace por espectrofotometría de emisión de llama, que por medio de cobaltinitrito. En ausencia de un equipo adecuado para la obtención de la llama de emisión, que es caro, el cobaltinitrito resulta eficaz para la determinación de K cambiante o de K en sales solubles, K total en minerales y K de los vegetales.

Método: Turbidimétrico.

Materiales:

- Tubos de ensayo.
- Tubos centrífugas.
- Centrífuga.
- Tubos colorimétricos.
- Colorímetro

Reactivos:

- a. Solución extractora: Para determinar el K asimilable por las plantas en los suelos. Medir 10 ml de ácido acético glacial, añadirle 100 ml de formaldehído del 40 % y completar todo a 1 litro.

- b. Reactivo cobaltinitrito: Pesar 2.5 g de cobaltinitrito de sodio, más 15 g de nitrito de sodio, se disuelven en 40 ml de agua destilada, se añaden 5 ml de ácido acético glacial y se afora todo a 100 ml con agua destilada. Guardar en frasco color caramelo en lugar fresco. Dura unos 6 meses.
- c. Patrón de K: Pesar 0.446 g de K_2SO_4 y disolver todo a 200 ml. De tal manera que 1 ml de solución: 1 mg de K.

En 174 mg de K_2SO_4 hay 78 mg de K

En x habrán 200 mg de K

X = 0.446 g de K_2SO_4

Procedimiento:

1. En un tubo centrífuga colocar 1 g de suelo seco al aire, tamizado en tamiz de 2 mm.
2. Añadir 10 ml de solución extractora y agitar enérgicamente por 5 minutos.
3. Luego centrifugue por 5 minutos.
4. Tome 5 ml del líquido claro y ponga en un tubo colorímetro, añadirle 1 ml de reactivo cobaltinitrito, mezcle y deje por 2 minutos. Luego añada 5 ml de etanol, mezcle y deje por 5 minutos. Lea la transmitancia con la curva de calibración directamente en ppm.

Los resultados obtenidos en porcentaje de transmitancia se convierten en densidad óptica o extinción, utilizando las tablas respectivas. Luego se grafican en el campo cartesiano, correspondiendo la ordenada al porcentaje de transmitancia ya convertido en densidad óptica y a la

abscisa a ppm de K en la solución del suelo. Con los puntos encontrados se traza la curva patrón (recta).

Para conocer el contenido de K en el suelo, se multiplicará los ppm de K encontrados en curva por 20, o sea:

$$\text{ppm de K en el suelo} = \text{ppm de K (curva)} \times 20$$

Cálculos:

En 10 ml de solución extractora hay 1 g de suelo

en 5 ml que se toman habrán 0.5 g de suelo

En 500 mg de suelo existen n ppm de K ò n/100 mg de K

en 1,000,000 mg de suelo existirán X

$$x = \frac{n/100 \times 1,000,000 \text{ mg}}{500 \text{ mg}} = \frac{n \times 10,000}{500} = n \times 20$$

X : n x 20 ppm de K en el suelo.

N : ppm de K leído en la curva patrón.

Cuadro N° 1. Niveles críticos de interpretación de análisis de suelo.

| Nivel de fertilidad | M.O. % | N total % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm | |
|---------------------|--------|-----------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | | | pH < 6.5 | pH > 6.5 |
| BAJO | < 2 | < 0.1 | < 20 | < 60 | < 90 |
| MEDIO | 2 - 4 | 0.1 - 0.2 | 20 - 40 | 60 - 120 | 90 - 180 |
| ALTO | >4 | > 0.2 | > 40 | >120 | >180 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA) – FAZ- UNSAAC.

4.15.4. Conductividad eléctrica (CE) sales solubles

Fundamento:

Conductividad eléctrica es la facilidad que ofrece el suelo al paso de la corriente eléctrica. Es una función inversa de la resistencia a la misma. Las unidades en que se miden son: milimhos /cm (mmhos/cm), micromhos/cm (muhos/cm).

Todos los suelos fértiles tienen sales solubles. Cuando un suelo contiene un exceso de sales solubles (su conductividad es mayor de 4 mmhos/cm se le denomina suelo salino. Aquellos suelos en los que el porcentaje de Na intercambiable es alto (mayor de 15 % de la CTC) reciben el nombre de suelos alcalinos o sódicos. Los suelos salinos se corrigen con lavajes y los suelos sódicos con enmiendas químicas.

Materiales:

- Suelo problema.
- Balanza con aproximación de 0.1 g.
- Vasos de 100 ml y de 500 ml.
- Vaguetas de vidrio.
- Embudos Bushner.
- Vasos de 25 ml.
- Kitasato.
- Papel filtro.

- Bomba de succión.
- Salómetro o conductímetro (solu bridge de lectura directa).

Procedimiento:

1. Pese 20 g de SSA y tamizado en tamiz de 2 ml.
2. Ponga en un vaso de 100 ml y agregue 50 ml de agua destilada (relación suelo: agua 1:2.5).
3. Agite con una vagueta durante 5 minutos o en un agitador.
4. Prepare un embudo con su papel filtro humedecido y filtre utilizando bomba de succión.
5. Tome el filtrado en vaso de 25 ml.
6. Determine la conductividad eléctrica del filtrado usando el salómetro o conductímetro Solu bridge en mmhos/cm.

La lectura de la conductividad se corregirá a la temperatura de 25°C multiplicando la lectura por el factor ft de corrección de temperatura y además x k. O sea C.E. a 25 °C : C.E. x ft x k. En el caso de utilizar el Solu bridge la lectura de la C.E. es directa y corregido a 25°C.

La conductividad eléctrica de aguas se determina del mismo modo.

Si no se corre el riesgo de perjudicar a las plantas se recomienda que las aguas de riego tengan una conductividad de 0.75 a 0.1 mmhos/cm o menos.

Cuadro N° 2. Clasificación de los suelos salinos y de álcali.

| Características | Tipo de suelo | | | |
|------------------|--------------------------------|--|---|-----------------------|
| | Normal | Salino | Salino Sódico | Sódico No Salino |
| C.E. mmhos/cm | < 4 | > 4 | > 4 | < 4 |
| PSI en % | < 15 | < 15 | > 15 | 15 - 95 |
| pH | 5.0 – 8.5 | < 9.5 | Raras veces > de 8.5 | Generalmente > de 8.5 |
| Iones frecuentes | Todos en proporción balanceada | Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , CO ₃ ⁼ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , CO ₃ ⁼ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , Ca ⁺⁺ | Na ⁺ |

Fuente: VITORINO, B. 1988. Manual de análisis de suelos. FAZ-UNSAAC.

4.15.5. Reacción del suelo (pH)

Vitorino, B. (1988). El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones H⁺ actualmente disociados en la solución del suelo.

Este valor se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{pH del suelo} = \log \frac{1}{(\text{H}^+)} = - \log (\text{H}^+)$$

Donde: () es la concentración y H se refiere a los iones de H disociados en la solución del suelo.

En vista de que la escala del pH se hizo en base a la constante de disociación del agua K : (H⁺) x (OH⁻) : 10⁻¹⁴ a 24 °C, la concentración de iones hidrógeno, puede variar de 10⁰, pH 0, en una solución normal de ácido fuerte, hasta 10⁻¹⁴, pH 14, en una solución fuertemente alcalina.

Lógicamente el término medio 10⁻⁷ ò pH 7.0, indicará una solución neutra, pH neutro.

Método potenciométrico o electrométrico

Fundamento:

Se basa en la medición potenciométrica de la actividad de H contra un electrodo de referencia, generalmente un electrodo de calomela saturado.

El potenciómetro es un voltímetro que consta de dos electrodos; uno de vidrio y el otro de referencia o también calomelano. La parte sensible a los cambios de pH es el electrodo de vidrio. Este por medio de una pared de vidrio especial muy delgada, permite que se desarrolle una diferencia de potencial eléctrico entre los iones H que están dentro del electrodo y, los que están fuera de él, o sea la solución suelo. Como el aparato es en realidad un voltímetro, compara este potencial con una constante sumergido en una misma solución, que en este caso estaría dado por el electrodo de referencia o de calomelano. El resultado de esta comparación es registrado en una escala adecuadamente calibrada en unidades de pH. Usualmente el suelo necesita prepararse diluyendo en agua destilada o una sal, que puede ser el HCl 1N o el CaCl 0.01N.

Materiales:

- Suelo problema.
- Vasos de vidrio o plástico de 100 ml.
- Vagueta de vidrio.
- Pizeta con agua destilada.
- Frasco con KCl.
- Potenciòmetro (Triti – pH meter).

- Frasco con solución tampón o Buffer.
- Probetas de 50 ml.

Procedimiento:

1. Calibre el potenciómetro con la solución Buffer a pH 7 y a temperatura ambiente, accionando las perillas correspondientes. El aparato debe calentarse por espacio de 20 minutos. El electrodo de vidrio debe estar conectado en el receptáculo G y el electrodo de calomelán en el receptáculo R, que se encuentran en la parte posterior del aparato.
2. Lave los electrodos con agua destilada y seque con papel filtro fino.
3. Pese 20 g de muestra (SSA), tamizado en tamiz de 2 mm y ponga en un vaso y agregue 50 ml de agua destilada (relación suelo : agua 1:2.5). Agite con una vagueta de vidrio y deje reposar durante 20 minutos.
4. Introduzca los electrodos en la suspensión de suelo y luego de 1 a 2 minutos lea el pH accionando el dispositivo correspondiente (operation).

Nota: Por lo general, cuanto más diluido es la suspensión del suelo, más alto es el valor de pH encontrado, sea el suelo ácido o alcalino. De allí que para obtener valores comparables con distintas muestras, es necesario operar siempre en idénticas condiciones de dilución.

Cuadro N° 3. Clasificación de los suelos de acuerdo a su pH.

| Segùn Scheffer y Schachtschabel pH (KCl) | | Adaptado de Troug pH (H ₂ O) | |
|---|------------|--|-----------|
| Extremadamente ácido | < 4.0 | Muy ácido | < 5.5 |
| Fuertemente ácido | 4.0 – 4.9 | Acidez media | 5.5 – 6.0 |
| Medianamente ácido | 5.0 – 5.9 | Acidez débil | 6.0 – 6.5 |
| Ligeramente ácido | 6.0 – 6.9 | Acidez muy débil | 6.5 – 7.0 |
| Neutro | 7.0 | | |
| Ligeramente alcalino | 7.0 – 8.0 | Alcalinidad muy débil | 7.0 – 7.5 |
| Medianamente alcalino | 8.1 – 9.0 | Alcalinidad débil | 7.5 – 8.0 |
| Fuertemente alcalino | 9.1 – 10.0 | Alcalinidad media | 8.0 – 8.5 |
| Extremadamente alcalino | > 10.0 | Muy alcalino | > 8.5 |

4.15.6. ACIDEZ CAMBIABLE (Al⁺³, H₃O⁺)

Fundamento

Consiste en determinar el Al⁺³, H₃O⁺ (hidronio o simplemente hidrogenión) cambiables, llamado también acidez cambiabile; desplazando estos cationes adsorbidos por el suelo, con el catión K, en forma de KCl en solución al 1N. Luego el Al⁺³ y H⁺ son valorados por titulación con NaOH al 0.01 N, en presencia del indicador azul de bromitol.

Valoración:



El resultado del contenido de la acidez cambiabile, expresado en mili equivalentes de Al⁺³ y H⁺ cambiables, puede ser empleado para calcular la cantidad de encalado.

Método:

Kamprath Modificado.

Materiales:

- Cloruro de potasio 1 N; se prepara disolviendo 74.56 g de KCl en un litro de agua destilada.
- NaOH 0.01 N; se prepara disolviendo 0.4 g de NaOH en un litro de agua destilada.
- Indicador azul de bromotimol 0.1%; se prepara disolviendo 0.1 g de azul de bromotimol en cm^3 de alcohol, etanol al 95%.
- Erlenmeyer e 50 ml, con tapa esmerilada.
- Papel filtro.
- Embudos de vidrio.
- Pipeta de 10 ml.
- Vaso de 50 ml.
- Bureta de 100 ml.

Procedimiento:

1. Pesar 2.2 g de SSA y tamizado en tamiz de 2 mm.
2. Colocar en un Erlenmeyer de 50 ml.
3. Agregar 22 ml de KCl 1N y agitar durante 15 minutos.
4. Filtrar a través de un papel filtro y tomar una alícuota de 10 ml.

5. Agregar 2 a 3 gotas de indicador azul de bromotimol, con el cual el filtrado tomará un color amarillo, debido a la presencia de Al^{+3} y H^+ .
6. Titular con NaOH 0.01 N hasta que el color vira de amarillo a verde azulado (punto de neutralización de la acidez) y anotar el gasto.
7. Calcular la acidez cambiante de Al^{+3} y H^+ en meq/100 g de suelo. El gasto de NaOH 0.01 N en la titulación da directamente la acidez cambiante. Es decir, 1 ml de NaOH 0.01 N es igual a 1 meq de acidez cambiante/100 g de suelo.

El cálculo se puede hacer también a través de la fórmula siguiente:

$$\text{Acidez cambiante } (Al^{+3}, H^+) = \frac{N \times b}{ms} \times 100 \text{ meq/100 g de suelo}$$

Donde: N : Normalidad del NaOH (0.01)

b : Gasto del NaOH en ml.

ms: Masa del suelo.

4.15.8. Carbonatos de calcio

Fundamento

Vitorino, B. (1988). El carbonato de calcio ($CaCO_3$) es el más común en los suelos y se llama calcita en su forma bien cristalizada. En suelos poco desarrollados se le puede encontrar a veces en el horizonte A. Es poco estable y según su contenido, el tamaño de sus partículas, el régimen hídrico y biológico del suelo, es lavado y acumulado en el horizonte C_{Ca} . En suelos de áreas tropicales húmedas es muy difícil encontrar calcita, a menos que provengan de calizas.

La reacción de disolución del carbonato de calcio sigue la ecuación:



Los iones de Ca y/o Mg resultantes reemplazan al H^+ y Al^{+3} del complejo de intercambio, resultando los cambios en el pH y las otras características del suelo.

Método:

Volumétrico de laboratorio.

Donde al aplicar unas gotas (1 – 2) de HCl al 10% a muestra de suelo. Si existe apreciable altura de espuma se pesará 1 ò 2 g de suelo, si hay pobre formación de espuma se tomará 5 ò 10 g de suelo.

Además este método se fundamenta, en que se neutralizan los carbonatos con un exceso de HCl, valorado y exactamente medido. Luego el exceso de este ácido que no haya reaccionado con el calcáreo, se determina titulando con NaOH de la misma normalidad.

Materiales:

- HCl al 0.1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Anaranjado de metilo al 0.1% (heliantina).
- Vasos de 150 ml.
- Probeta de 50 ml.
- Papel filtro.
- Kitasato.
- Bureta de 25 ml.

- SSA y desmenuzado.

Procedimiento:

1. En un vaso de 150 ml coloque (5 g) la cantidad apropiada de muestra exactamente pesada y agréguele 50 ml de HCl 0.1 N. Mezcle bien y deje en reposo por 20 ò 30 minutos.
2. Filtre a un kitasato y tome 20 ml del filtrado en un vaso añadiendo 2 ò 3 gotas de anaranjado de metilo que dará a la solución un color rosado y titule con NaOH 0.1 N hasta el viraje de anaranjado.
3. Haga los cálculos siguientes:

50 ml de HCl han reaccionado sobre 5 g de suelo.

20 ml de HCl reaccionarán con X g de suelo.

X = 2 g de suelo.

Gasto de NaOH 0.1 ejemplo: 6 ml.

El gasto de NaOH nos indica que de los 20 ml de HCl colocados sobre 2 g de suelo, una parte ha reaccionado con los carbonatos de éste y el resto 6 ml ha quedado sin reaccionar. Por lo tanto la diferencia nos indicará cuánto de ácido fue neutralizado por el calcáreo.

$20 \text{ ml} - 6 \text{ ml} = 14 \text{ ml}$ de HCl al 0.1 N

1 ml de HCl 0.1 neutralizará la décima parte de un mili equivalente de $\text{CO}_3=$

1 .e. de CaCO_3 es 0.05 g CaCO_3

1 ml de HCl 0.1 neutralizará : 0.005 g de CaCO₃. Por lo tanto en 2 g de suelo de la muestra la cantidad de CaCO₃ será:

14 x 0.005 g : 0.07 g de CaCO₃, lo que refiriéndonos a 100 g de suelo nos da 3.5% o sea:

2 g de suelo ----- 100%

0.07 g ----- X

X = 3.5% de CaCO₃

$$\text{ó \% CaCO}_3 = \frac{20 (\text{me} - \text{volumen NaOH}) 0.005}{2 \text{ g (peso muestra)}} \times 100$$

Cuadro N°4. La cantidad de cal extraída por hectárea/año en algunos cultivos.

| Plantas cultivadas | Cosecha t/ha | Cantidad de cal extraída Kg |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------------|
| Trigo (grano y paja) | 4 | 40 |
| Maíz | 5 | 50 |
| Remolachas azucareras | 40 | 70 a 100 |
| Papas | 30 | 90 a 120 |
| Alfalfa (heno) | 10 | 300 |
| Ray – grass italiano (materia seca) | 10 | 70 |

FUENTE: VITORINO, B. 1988. Guía Práctica de Edafología.

Zonas de pH más favorables a la asimilación de los elementos nutritivos (Según Pettinger y Truog, rectificación de M. Coppenet).

| | |
|------------------|----------|
| Nitrógeno | 6 a 8 |
| Ácido fosfórico | 6.25 a 7 |
| Potasa, azufre | 6 a 8.5 |
| Calcio, magnesio | 7 a 8.5 |

| | |
|-------------------|---------|
| Boro, cobre, zinc | 5 a 7 |
| Molibdeno | 7 a 8.5 |

Así, y con excepción del molibdeno, la asimilación de los oligoelementos es mejor en un medio ácido y llega a hacerse difícil en medio alcalino, pudiendo aparecer carencias. Para los elementos fertilizantes N-P-K y la mayor parte de los oligoelementos, un medio ligeramente ácido es; por consiguiente, favorable a una buena nutrición de la planta.

4.15.9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Fundamento

Vitorino, B. (1988). El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencia sobre una gran cantidad de sus características. Los cationes cambiabiles influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y en su formación. Los cationes aplicados en forma de fertilizantes presentan interacciones con los cationes cambiabiles del suelo; generalmente son adsorbidos, quedando protegidos del lavado pero aún disponibles para la planta.

Se entiende por intercambio catiónico, los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo absorben iones de la parte acuosa, adsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases. Estos fenómenos se deben a las propiedades específicas y una gran superficie. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan como cambiadores.

Como cationes cambiables en el suelo se presentan principalmente, H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Al^{+++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Cu^{++} , etc. Ellos forman el "enjambre" de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes Ca, Mg, K y Na cambiables se denominan bases cambiables (valor S) y su porcentaje dentro de la capacidad total de intercambio se llama porcentaje de saturación (valor V). Si el valor V es por ejemplo 75%; indica que la cubierta de iones está compuesta en un 75% por Ca, Mg, K y Na, y en un 25% por H, Al y otros elementos.

$$V = \frac{S}{CIC} \times 100$$

El H, Al y Mn cambiables se agrupan bajo la acidez cambiables en la capacidad de intercambio catiónico (antiguamente valor T).

Algunos suelos se caracterizan por retener no solamente cationes sino también aniones. Estos últimos están sujetos a desplazamiento por los aniones de cambio. Los principales aniones de cambio son, el BO_3^- , PO_4^{-3} , Cl^- , NO_3^- entre otros.

La CIC se denomina también con los sinónimos: Capacidad de Intercambio Iónico (CII), Capacidad Total de Cambio (CTC), Capacidad de Cambio (CC).

Fuentes de intercambio iónico (Fassbender H.W.):

- a. Cargas electromagnéticas de los minerales arcillosos.
- b. Cargas electrostáticas de los óxidos e hidróxidos de Si, Fe y Al.
- c. Cargas electrostáticas de la materia orgánica.
- d. Importancia de la superficie y la densidad de cargas.

Materiales:

- Balanza.
- Erlenmeyer de 125 ml.
- Embudos.
- Vasos de 100 ml.
- Pipetas de 5 ml.
- Papel filtro.
- Probetas de 25 ml.
- Pipetas de 25 ml.
- Goteros con ácido oxálico u oxalato de amonio.
- Solución de cloruro de calcio 1 N.
- Solución de cloruro de potasio 1 N.
- Agua destilada.
- Solución de Versenato EDTA 0.02 N.
- Solución de hidróxido de sodio 4 N.
- Indicador purpurato de amonio (murexide).

Procedimiento:

1. Pese 5 g de suelo problema.
2. Coloque el suelo en un Erlenmeyer y agregue 20 ml de cloruro de calcio 1N, utilizando la probeta de 25 ml.
3. Agite el contenido del Erlenmeyer varias veces durante un periodo de 5 minutos. Instale embudos para filtrar.

4. Filtre el contenido del Erlenmeyer hacia vaso de los 100 ml. Deseche el filtrado.
5. Agregue agua destilada al Erlenmeyer en un volumen de 20 ml, en el cual ha quedado algo del suelo, agite bien y vierta hacia el embudo respectivo. Recoja el filtrado en el vaso y descarte.
6. Repita el paso 5, menos dos veces más. Espere un buen tiempo para para una filtración completa durante cada lavado y agregue unas gotas de ácido oxálico y oxalato de amonio. Si se forma un color blanco lechoso “repita” el procedimiento de lavado y continúe hasta que la adición de ácido oxálico u oxalato de amonio no dé color blanco. Constate la ausencia del color blanco.
7. Después de haber obtenido un filtrado claro, tome cuidadosamente el papel de filtro con el suelo contenido en él. Coloque el papel de filtro que contiene el suelo dentro del Erlenmeyer, el cual ha sido lavado con agua destilada.
8. Agregue 20 ml de la solución de cloruro de potasio 1N al Erlenmeyer. Agite y mezcle completamente con el suelo y el papel filtro por espacio de 5 minutos. Instale nuevo papel de filtro en el embudo.
9. Filtre el contenido hacia un vaso limpio de 100 ml. Después de obtener una cantidad suficiente del filtrado, transfiera 5 ml del filtrado a otro Erlenmeyer limpio. Determine la concentración de calcio en el filtrado siguiente el método conocido como el Versenato o EDTA.

10. Este método consiste en que a los 5 ml de filtrado que entra en el Erlenmeyer, se le agrega 1 ml de hidróxido de sodio 4N, además de una cantidad de agua destilada para hacer volumen, aproximadamente 1/3 de volumen del volumen del recipiente. Añada 50 mg, aproximadamente, del indicador purpurato de amonio (murexide). Titule con Versenato 0.02 N, hasta que el color cambie de rojo-rosa a violeta o lila.

11. Realice los cálculos pertinentes:

a : ml gastados de versenato 0.02 N.

b : ml tomados del filtrado.

1 meq de Ca : 20 mg de Ca

Cálculos:

a. Cálculos del Ca en meq/Lt

1 meq de Versenato : 1 meq de Ca

Solución 0.02 N de Versenato : solución 0.02 N de Ca

0.02 N : 0.02 eq g/Lt : 20 meq/Lt

Para b ml de Ca ----- a de Versenato

Para 20 meq/Lt ----- X 1

$$X1 \text{ meq/Lt} : \frac{20 \times a}{b}$$

b. Cálculo para 20 ml (cantidad de KCl agregado)

$$\frac{20 \times a}{b} \text{ ----- } 1,000 \text{ ml}$$

$$X 2 \text{ ----- } 20 \text{ ml}$$

$$X 2 : \frac{20 \times a \times 20}{a \times b \times 1000} : \frac{4 \times}{10 \times b}$$

c. Cálculo para 100 g de suelo:

$$\frac{4 \times a}{10 \times b} \text{ meq} \text{ ----- } 5 \text{ g de suelo}$$

$$X 3 \text{ ----- } 100 \text{ g de suelo}$$

$$X 3 \text{ meq/100 g de suelo} : \frac{4 \times a \times 100}{5 \times 10 \times b} : \frac{8 \times a}{b}$$

$$\text{CIC del suelo} : \frac{8 \times a}{\text{suelo b}} \text{ meq/100 g de}$$

$$\text{CIC del suelo} : 1.6 \times \text{Gasto meq/100 g de suelo}$$

4.16. DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUELO

4.16.1 La materia orgánica, ciclo de los nutrientes y ecología del

suelo ww.madrimasd.org/blogs/universo/. Refiere que:

1. La actividad de las lombrices acelera la descomposición de los restos vegetales, incrementando la tasa de transformación de nutrientes, promueve la agregación del suelo y la porosidad, aumenta la infiltración de agua y el transporte de solutos.
2. La mineralización de nutrientes está gobernada por las actividades de las bacterias y de los hongos. Estas actividades están influenciadas por la fauna del suelo que vive junto a los microorganismos, y por distintas interacciones de la red trófica que determinan la transferencia de nutrientes a través del sistema. Las deyecciones de las lombrices de tierra juegan un papel importante en la descomposición porque contienen nutrientes y microorganismos que son diferentes a los contenidos en el material orgánico antes de la ingestión. Esto permite una mejor

explotación de los recursos remanentes por la aparición de nuevas especies de microbios en los sustratos frescos a procesar o por la presencia de un conjunto de compuestos asimilables en las deyecciones. Las lombrices pueden asimilar carbono de las fracciones más lábiles de los restos orgánicos, su contribución a la respiración heterotrófica total es pequeña debido a su baja capacidad de asimilación.

3. Estos organismos tienen una influencia en el ciclo de los nutrientes en varios ecosistemas. Incrementan la mineralización del carbono en el suelo, disminuyen al contribuir a la formación de agregados estables en los cuales el carbono es protegido de futuras descomposiciones. Las excretas de las lombrices contienen cantidades de Nitrógeno orgánico en comparación a la que existen en los suelos adyacentes.
4. Los microorganismos producen las enzimas responsables de la descomposición bioquímica de la materia orgánica y donde por abundancia de lombrices son elementos claves e influyen en él a través de efectos directos e indirectos. Las lombrices de tierra modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los microorganismos e interaccionan con otros componentes biológicos del sistema del suelo, afectando a la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna.
5. La descomposición de la materia orgánica incluye dos fases diferentes en la actividad de las lombrices de tierra, (i) una fase activa o directa, durante la cual las lombrices procesan la materia orgánica, modificando sus propiedades físicas y su composición microbiana, y (ii) una fase de maduración o indirecta durante la cual los microbios asumen el control de

la descomposición del material previamente procesado por las lombrices.

6. Las lombrices participan en la descomposición de la materia orgánica a través de los procesos asociados por intermedio de sus intestinos, que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica en descomposición y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partícula tras el paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de la actividad y de la diversidad microbiana, la modificación de las poblaciones de la microfauna, la homogeneización del sustrato y los procesos intrínsecos de digestión y asimilación; incluyen también la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que son fuentes de nutrientes asimilables para los microorganismos. La descomposición es favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices, producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido. Otras modificaciones físicas del sustrato originadas por las actividades excavadoras de las lombrices, como la aireación y la homogeneización del sustrato, favorecen la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica. La actividad directa de las lombrices aumenta la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato cuyos efectos son proporcionales a la densidad de lombrices .
7. Al finalizar los procesos asociados al intestino las deyecciones de las lombrices o materiales excretados sufrirán los procesos asociados a las deyecciones más relacionados con procesos de envejecimiento, con la acción de la microflora y la microfauna presente en el sustrato y con la

modificación física de los materiales excretados lo cual pueden variar en duración de semanas a meses.

8. La mineralización de nitrógeno está regulada por la disponibilidad de nitrógeno orgánico disuelto y amonio, la actividad de los microorganismos y sus requisitos de carbono y nitrógeno. Las lombrices de tierra tienen un gran impacto en las transformaciones del nitrógeno a través de modificaciones de las condiciones ambientales y de sus interacciones con los microorganismos y su actividad en los restos orgánicos produce condiciones que favorecen la nitrificación, que resulta en la conversión rápida del nitrógeno amoniacal en nitratos, aumentando la mineralización de nitrógeno.

4.16.2. Lombrices de tierra en la cadena trófica y efectos sobre las

Comunidades microbianas

Todavía no está claro el nivel trófico que ocupan las lombrices de tierra, es muy probable que combinen hábitos detritívoros y microbívoros. Por lo que los efectos de la fauna microbívora sobre la actividad microbiana y la mineralización de nutrientes son positivos. La estimulación de la mineralización del carbono se debe al aumento de la actividad de las poblaciones microbianas y de la tasa de reposición de las poblaciones microbianas consumidas y el aumento de la mineralización de N se debe a la excreción directa del exceso de N. Los microbívoros tienen eficiencias de asimilación más bajas que los microbios sobre los que “pastan”, y por eso excretan los nutrientes excedentes en formas biológicamente disponibles como los protozoos bacterívoros liberan alrededor de un tercio del N consumido. Esta liberación de nutrientes constituye una removilización de

los nutrientes que estaban secuestrados en la biomasa microbiana, y se conoce como "bucle microbiano".

Las lombrices tienen un gran impacto en la estructura y en la función de las comunidades microbianas. Por lo que la presencia y la actividad de las lombrices reduce hasta cuatro o cinco veces la biomasa microbiana viable de la materia orgánica en descomposición la abundancia de bacterias y de hongos se vió disminuida por la acción de las lombrices que reducen la biomasa microbiana directamente mediante consumo selectivo de bacterias y hongos o indirectamente aceleran la reducción de recursos para los microbios.

La actividad de las lombrices produjo una gran disminución de la tasa de crecimiento bacteriana y no afectó a la tasa de crecimiento fúngico. Los estiércoles animales son ambientes ricos en microorganismos en los que las bacterias constituyen la fracción más grande, con los hongos presentes en forma de esporas; por lo tanto, se espera que la actividad de las lombrices afecte a la tasa de crecimiento bacteriano en mayor grado que al crecimiento fúngico. Además, la disponibilidad de carbón es un factor limitante para el crecimiento de las lombrices y se nota que las lombrices y los microorganismos pueden competir por el carbono. La actividad de las lombrices puede reducir la cantidad de recursos disponibles para las comunidades microbianas, y la tasa de crecimiento bacteriano. Entonces se debe esperar que la tasa de crecimiento fúngico disminuya posteriormente, durante la etapa de maduración, una vez que los recursos menos recalcitrantes se agoten.

La metodología para el análisis biológico: Para determinar la presencia

microbiana del suelo, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas siguiendo la metodología de Garcia Trejo, siembra por incorporación y el resultado es en unidades formadoras de colonias (ufc/g) realizado en cuatro repeticiones (ver anexo 28).

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. UBICACIÓN ESPACIAL

5.1.1. Ubicación política:

Región : Cusco
Distrito : Santo Tomás
Provincia : Chumbivilcas
Lugar : Comunidad Campesina de *Pfullpuri Puente Ccoyo y Uskamarka*; Sector *Q'enqo*

5.1.2. Ubicación geográfica:

Altitud : 3660 m
Latitud : 14° 26' 45"
Longitud : 72° 04' 50"

5.1.3. Ubicación Hidrográfica:

Cuenca : Rio Apurímac
Subcuenca : Rio Santo Tomás
Microcuenca : Rio Santo Tomás

5.1.4. Ubicación temporal

El presente trabajo de investigación se ha implementado y desarrollado entre los meses de Setiembre del 2014 a mayo del 2015, que coincide con las actividades de la campaña agrícola del cultivo de papa nativa en la zona; incluyendo la presentación del anteproyecto.

5.1.5. Ubicación ecológica

De acuerdo a Pulgar Vidal, corresponde a la región natural de Suni, que abarca desde los 3500 a 4000 metros de altitud, así también según HOLDRIGE corresponde a la zona agroecológica de Tundra Pluvial Alpino Subtropical (TP-AST).

5.1.6. Límites:

La Comunidad Campesina de Pfullpuri Puente Ccoyo Uskamarka y su sector Q'enqo se ubica hacia el Este de la Ciudad de Santo Tomás; y limita:

- Por el Norte : Comunidad de Urinsaya
- Por el Sur : Comunidad de Hanansaya
- Por el Este : Con los Fundos Huisayuyo, Q'asapata y Ch'ilarani
- Por el Oeste : Río de Santo Tomás

5.1.7. Vías de acceso:

Partiendo de la ciudad del Cusco, encontramos a la ciudad de Santo Tomás (capital de la provincia de Chumbivilcas), a través de una carretera asfaltada y afirmada de 245 Km. Los pobladores del anexo de Q'enqo utilizan un camino de herradura y trocha carrozable para comunicarse con la capital que es Santo Tomás.

5.1.8. Clima

El clima de la zona de influencia del presente estudio es variado; es así que durante el año se presentan 2 épocas bien definidas: la época con presencia de lluvias, granizos, nevadas y otros (Diciembre a Abril), siendo la lluvia única fuente de agua para los cultivos en la zona. La época de secano (Mayo a Noviembre) con calor, heladas, bastante frío y algunos ventarrones en el mes de Agosto.

5.1.9. Topografía

La topografía es poco accidentado y de paisaje característico de la Sierra peruana, con presencia de pampas, laderas, pequeñas montañas o cerros y en la parte alta con huaycos que corresponden al piso ecológico de quechua y puna. El lugar tiene características fisiográficas con pendiente no mayor a 15%, con presencia de lomas y quebradas no pronunciadas, así también posee poca población de bosques y pastizales nativos.

5.1.10. Aspectos generales de la comunidad

La población del anexo de Q'enqo es eminentemente rural, con más de 120 familias dedicados principalmente a la actividad agrícola, siendo el sustento diario de las familias, y escasamente se dedican a la ganadería (vacuno, ovino, equino, porcino y animales menores: cuyes, gallinas, conejos y otros), algunos pobladores también se dedican al comercio y artesanía. Para sus labores agrícolas utilizan generalmente herramientas ancestrales: *chakitaqlla*, *rauk'ana*, *k'upana*, *arado de bueyes*, etc.

5.2. MATERIALES

5.2.1. Materiales, equipos y herramientas

- Muestras de suelo
- Etiquetas de papel
- Bolsas de plástico
- Envases de polipropileno
- Balanza de platillo y plataforma
- Cinta rafia
- Regla milimetrada
- Croquis de campo
- Útiles de escritorio (Libreta de campo, lápices, plumones, otros)
- Equipos de laboratorio de análisis físico de suelos
- Equipos de laboratorio de análisis químico de suelos
- Equipos de laboratorio de análisis biológico de suelos
- GPS – Garmin
- Cámara fotográfica
- *Chakitaqlla*, *rauk'ana*, *k'upana*, *arado de bueyes*
- Pico, pala y otros.

5.2.2. Recurso suelo en estudio

Para este trabajo de investigación se utilizó los terrenos de cultivo en un área de 360 m², que permitió sembrar los morfotipos de papa nativa llamado “*Wank’ucho*” (*S. tuberosum*, spp *andigena*) proporcionado por los agricultores de la comunidad.

- **MATERIAL BIOLÓGICO**
Semillas de papas nativas *Wank’ucho*:
 - *Yana Wank’ucho*
 - *Puka Wank’ucho*
 - *Wachuy Warmi*.

- **ABONO ORGÁNICO**
Estiércol descompuesto de vacuno y ovino.

5.3. METODOLOGÍA

5.3.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo diagnóstico y descriptivo.

Para determinar las propiedades físicas se utilizaron los siguientes métodos de análisis de suelos:

| | |
|--------------------------------|---|
| Estructura | Método visual (granulometría) |
| Textura | Método de hidrómetro de Bouyoucus |
| Color | Método de tablas de Munsell |
| Porosidad | Mediante tablas y fórmulas |
| Densidad | Método de probeta |
| Humedad equivalente | Método de estufa por diferencia de peso |
| Capacidad de campo | Método de estufa por diferencia de peso |
| Punto de marchitez permanente | Método de estufa por diferencia de peso |
| Coeficiente de higroscopicidad | Método de estufa por diferencia de peso |

Para determinar las propiedades químicas se utilizaron los siguientes métodos de análisis de suelos:

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Materia orgánica | Método de Wakley-Black |
| Nitrógeno total | Método de Wakley-Black |
| Fósforo P ₂ O ₅ | Colorimétrico |
| Potasio K ₂ O | Turbidimétrico |
| Conductividad eléctrica | Método de Salómetro o Conductímetro |
| pH del suelo | Método de Potenciómetro |
| Acidez cambiante | Método de Volumetría por titulación. |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | Método de volumetría por titulación. |
| Carbonato de calcio | Método de Volumetría por titulación |

Para determinar las propiedades biológicas se utilizó el método de muestreo por metro cuadrado y respectivo pesado. Donde en cada periodo de evaluación de las demás variables se muestreó con un anillo de alambre de 1 m², tirando al azar en las parcelas experimentales, y luego se ha excavado el suelo a una profundidad de 30 cm a fin de revisar a simple vista y contabilizar los animales que se encontraban, e inmediatamente se pesaron en una balanza pequeña en gramos.

Para explorar los microorganismos mesófilos y hongos, se llevaron las muestras de suelo a la Facultad de Ciencias Biológicas para el análisis microbiológico del suelo.

Para determinar el rendimiento de tubérculos de papa nativa, se adoptó el Diseño de Bloques al Azar, con 6 tratamientos y 4 repeticiones, haciendo un total de 24 parcelas experimentales.

5.3.2. Características del campo experimental

Según los agricultores del sector con más años de experiencia en el sector, apreciaron que son suelos turbosos, de textura media, con coloración gris oscuro y piedras menudas, hay presencia de plantas herbáceas entre malezas y algunas

plantas benéficas (leguminosas como fijadoras de nitrógeno) alrededor de los campos de cultivo. No cuenta con riego, por lo que los cultivos son temporales.

5.3.3. Tratamientos

| N° Tratamientos | Combinaciones | Clave |
|----------------------------|---|--------------|
| 1 | <i>Yana Wank'ucho sin abono orgánico</i> | YSA |
| 2 | <i>Puka Wank'ucho sin abono orgánico</i> | PSA |
| 3 | <i>Wachuy Warmi sin abono orgánico</i> | WSA |
| 4 | <i>Yana Wank'ucho con abono orgánico</i> | YCA |
| 5 | <i>Puka Wank'ucho con abono orgánico</i> | PCA |
| 6 | <i>Wachuy Warmi con abono orgánico</i> | WCA |

Los muestreos de suelos y sus respectivas evaluaciones en campo y laboratorio se efectuaron en tres estadios fenológicos de las plantas: La primera en la emergencia, la segunda en plena floración y la tercera a la madurez de cosecha.

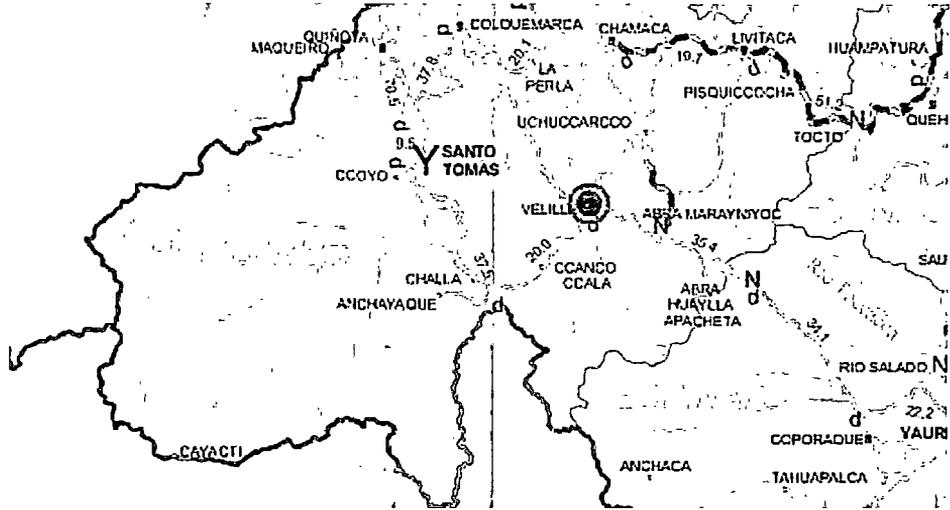
La obtención de muestras de suelo se realizaron para cada tratamiento en estudio, a una profundidad de 30 cm (capa arable), los mismos que fueron em bolsados y sellados herméticamente a fin de ser protegidos de las influencias ambientales; los que después fueron llevados al laboratorio y gabinete para sus respectivas evaluaciones y mediciones.

5.3.4. Mapa de ubicación de la Provincia de Chumbivilcas en la Región Cusco



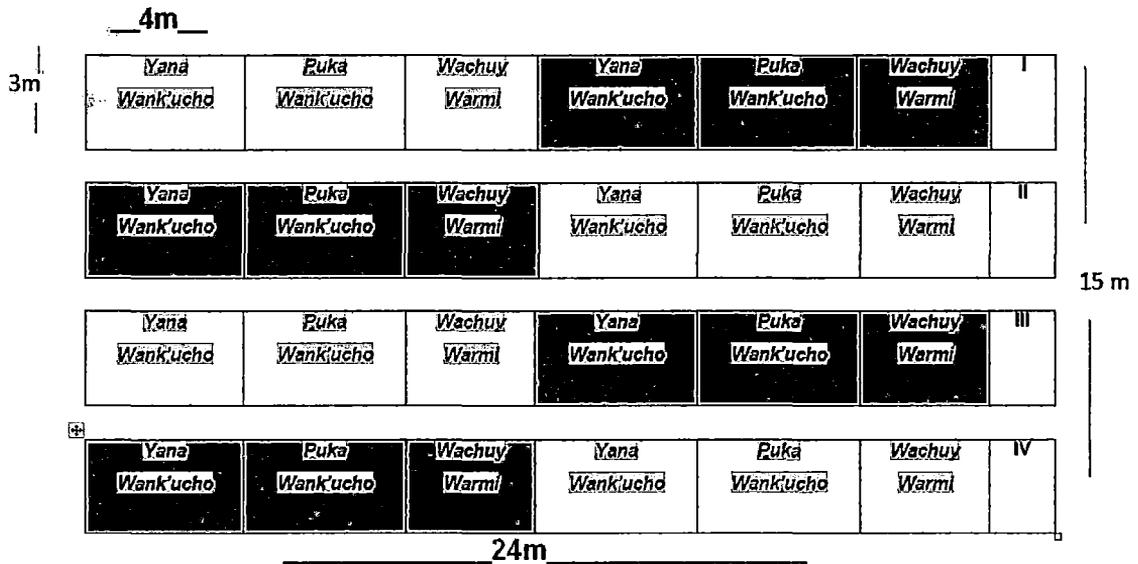
FUENTE: <https://www.google.com.pe/search?q=mapa+de+chumbivilcas+santo+tomas>

Mapa de ubicación de la capital de Provincia: Santo Tomás



FUENTE: <https://www.google.com.pe/search?q=mapa+de+chumbivilcas+santo+tomas>

5.3.5. Croquis de distribución de parcelas de investigación



5.3.6. Descripción del campo experimental

Bloques : 6 tratamientos y repeticiones (24 parcelas).

Largo : 24 m

Ancho : 15 m

Ancho de las calles: 1 m

Area : 360 m²

Parcelas:

Largo : 4 m

Ancho : 3 m

Area neta : 12 m²

Densidad:

N° Surcos : 4

Distancia entre plantas: 0.30 m

5.3.7. Evaluación de variables

5.3.7.1. Variables independientes:

- Estadíos fenológicos.
- Morfotipos del cultivo.
- Abonos orgánicos.

5.3.7.2. Variables dependientes:

- **Propiedades físicas:**

- Estructura.
- Textura.
- Color.
- Porosidad.
- Densidad.
- Humedad equivalente.
- Capacidad de campo.
- Punto de marchitez permanente.
- Coeficiente de higroscopicidad.

- **Propiedades químicas:**

- Materia orgánica.
- Nitrógeno.
- Fósforo.
- Potasio.
- Conductividad eléctrica.
- pH del suelo.
- Acidez cambiante.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Carbonato de calcio.

- **Propiedades biológicas:**

- Número de animales por metro cuadrado (densidad).
- Peso fresco en gramos de animales contabilizados (biomasa).
- Número de mesófilos viables.
- Número de hongos.

- **Rendimiento:**

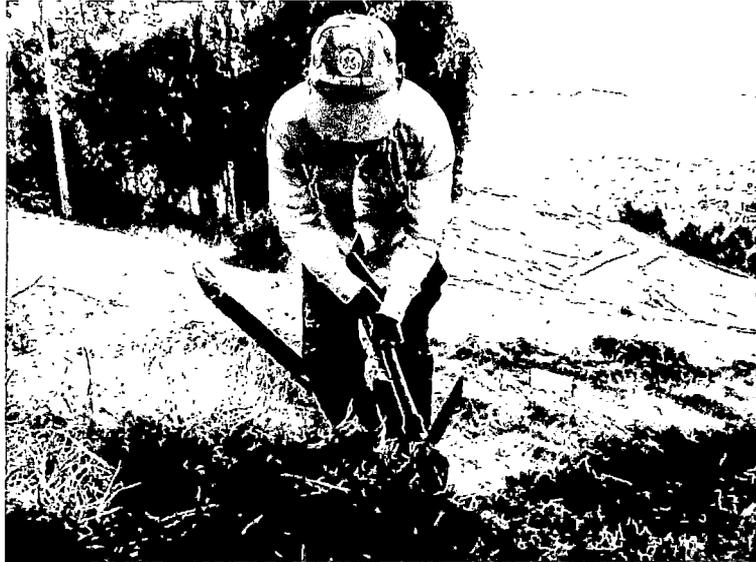
- Peso de tubérculos, en Kg/ha

5.4. CONDUCCIÓN DEL CULTIVO

5.4.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó del 25 al 30 de setiembre del 2014, con la ayuda de una herramienta de labranza de la zona conocida como “chakitaqlla”, removiendo el suelo a una profundidad de 30 cm (capa arable). Luego después de esperar una semana, se procedió a desterronar o desmenuzar los “terrones” empleando las “k’upanas”, y así dejar nivelado la superficie del terreno.

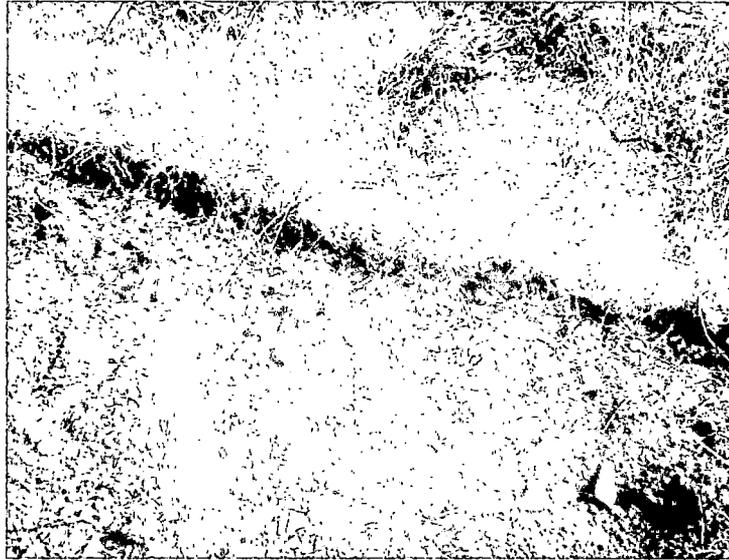
Fotografía 01. Preparación del terreno.



5.4.2. Marcado de parcelas experimentales

Según el croquis del campo experimental, se marcaron líneas con la ayuda de un pico y cordel, sobre las que se identificaron con un letrero indicando los morfotipos de la papa nativa *Wank'ucho*: *Yana Wank'ucho*, *Puka Wank'ucho* y *Wachuy Warmi*.

Fotografía 02. Marcado de parcela experimental.



5.4.3. Selección de semillas

A fin de uniformizar las plantas de papa nativa como uno de los factores de producción del cultivo, se seleccionó los tubérculos de regular tamaño (promedio 50 g de peso por tubérculo), eliminando tubérculos mal formados, enfermos y de tamaño menor a 40 g o mayor a 60 g. De preferencia se escogieron tubérculos que tengan uno o más ojos para la emergencia de brotes (futura planta).

Fotografía 03. Semilla de papa nativa variedad Yana wank'ucho.



Fotografía 04. Semilla de papa nativa variedad Puka wank'ucho.



Fotografía 05. Semilla de papa nativa variedad Wachuy warmi.



5.4.4. Siembra

Esta labor se llevó a cabo el 10 de octubre del 2014, empezando con el surcado utilizando arado de palo traccionado por dos bueyes; luego fueron depositados al fondo del surco las semillas de papa a una distancia de 0.30 m, y 1.00 entre surcos, e inmediatamente es tapado con el mismo suelo y con ayuda de un pico, a una profundidad promedio de 10 a 15 cm. Cabe indicar que en el momento de siembra el suelo estuvo ni muy húmedo ni muy seco (condiciones de humedad del suelo a capacidad de campo).

Fotografía 06. Siembra de papa nativa Wank'ucho.



5.4.5. Deshierbo

A fin de evitar la competencia de absorción de nutrientes, agua y luminosidad del cultivo de papa nativa, además de ser una práctica cultural de la zona, se eliminaron plantas extrañas o malezas al cultivo; todo ello fue en forma manual utilizando herramientas como la "rauk'ana" y en dos oportunidades: el primero antes del primer aporque y el segundo después del segundo aporque. Entre las malezas más representativas fueron: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), trébol (*Trifolium pratense L.*) y malva silvestre (*Malva sylvestris*).

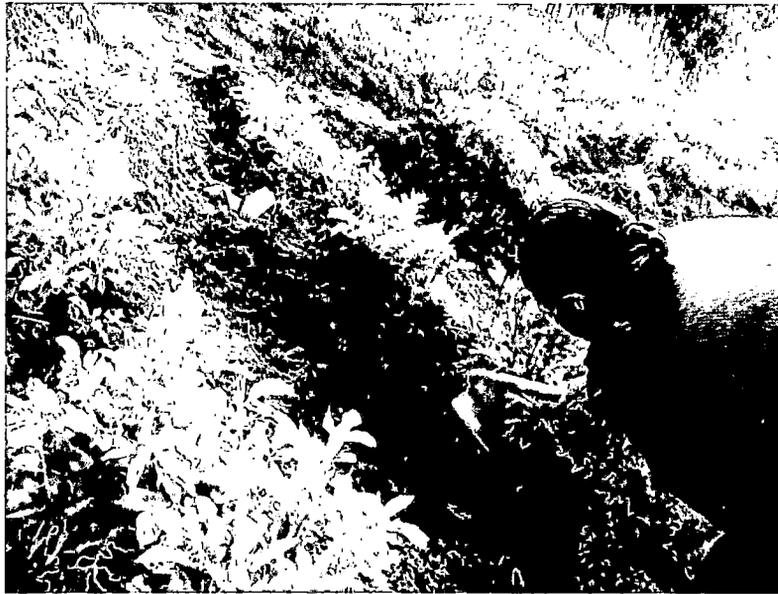
Fotografía 07. Deshierbo manual del cultivo de papa nativa.



5.4.6. Aporque

Esta labor agrícola se realizó en dos oportunidades, primero a los dos meses de la siembra cuando las plantas de papa tenían una altura promedio de 20 cm y el segundo aporque a un mes y medio después del primer aporque, cuando las plantas alcanzaron una altura de 40 cm. En esta actividad se emplearon lampas, procurando en lo posible cubrir las raíces y estolones de la papa, con suelo extraído del fondo del surco.

Fotografía 08. Aporque manual con lampa.



5.4.7. Muestreo de suelo

La toma de muestras de suelo se realizaron en cada periodo vegetativo del cultivo de papa nativa: Emergencia, floración y madurez de cosecha. Para ellos, en forma aleatoria se tomaron 5 sub muestras por tratamiento, luego de ser mezcladas uniformemente, nuevamente se tomaron una muestra representativa de 1 Kg de suelo para los análisis en el laboratorio de suelos del Centro de Investigación en Suelos y Abonos de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSAAC. Sin embargo, por seguridad y por el gran número de variables a evaluar, las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio en duplicado. Luego, después de que las muestras de suelo son procesadas en laboratorio, los resultados se compararon con las tablas recomendadas para dichos análisis de suelos e interpretadas para cada variable en estudio.

Las muestras fueron extraídas a una profundidad de 30 cm, para los que se utilizaron piquillos, regla graduada, bolsas de plástico, etiquetas y cubiertas de polipropileno.

Además, algunas evaluaciones físicas y biológicas del suelo se registraron en el mismo campo de cultivo experimental con ayuda de un experto en suelos.

Fotografía 09. Muestreo del suelo para evaluación de variables.



5.4.8. Riego

Por estar dentro de un calendario agrícola de carácter temporal en la zona de estudio, no fue necesario la aplicación de ningún sistema de riego.

5.4.9: Cosecha

La cosecha se llevó a cabo del 27 al 30 de mayo del 2015, cuando el 60% de la parte aérea de las plantas y principalmente presentaban

amarillamiento, así mismo cuando los tubérculos no se pelaban al frotar con los dedos de la mano.

Cada morfotipo de papa nativa fueron cosechadas en forma separada, luego pesadas y conservadas hasta concluir con la evaluación de las variables correspondientes.

Fotografía 10. Cosecha de papa nativa en madurez fisiológica.



Fotografía 11. Cosecha de morfotipos de papa nativa.



Fotografía 12. Cosecha de papa nativa por mofotipos.



5.5. EVALUACIÓN DE VARIABLES

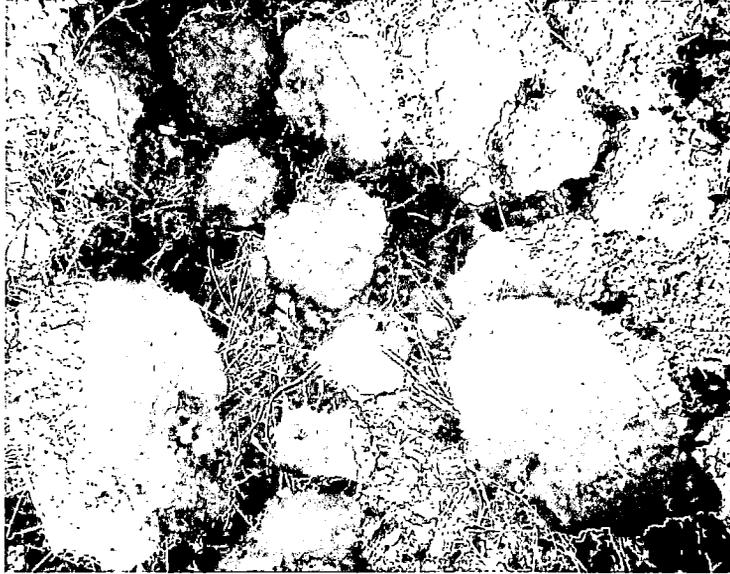
5.5.1 Características físicas del suelo

- **Estructura**

Tomando en cuenta que la estructura es la forma y disposición en que se agrupan las partículas para formar agregados o conglomerados, esta determinación se realizó en el mismo campo experimental.

Para determinar esta propiedad física (forma o tipo) se tomaron bloques húmedas de suelo con ayuda de una pala y luego con la mano se procedió a separar en pedazos para determinar la forma de los agregados; en seguida para conocer la clase o tamaño se midieron los agregados con una regla graduada (vernier) para obtener el promedio en milímetro; y al mismo tiempo para determinar el grado o resistencia de los agregados estos son sometidos a ligera presión de los dedos para apreciar la resistencia a ser destruidos.

Fotografía 13. Agregados del suelo.



• Textura

Siendo el objetivo de la textura hallar la proporción porcentual de los constituyentes minerales del suelo: arena, limo y arcilla, por el método del hidrómetro; esta determinación se ha iniciado en el laboratorio con el tamizado del suelo, dispersión de las partículas, suspensión en el cilindro de sedimentación, primera lectura del hidrómetro a los 40 segundos que corresponde al porcentaje de arena y una segunda lectura a la hora de la primera que corresponde a la cantidad de partículas de arcilla y limo.

Para el cálculo del porcentaje de las partículas minerales resultantes se emplearon las siguientes fórmulas:

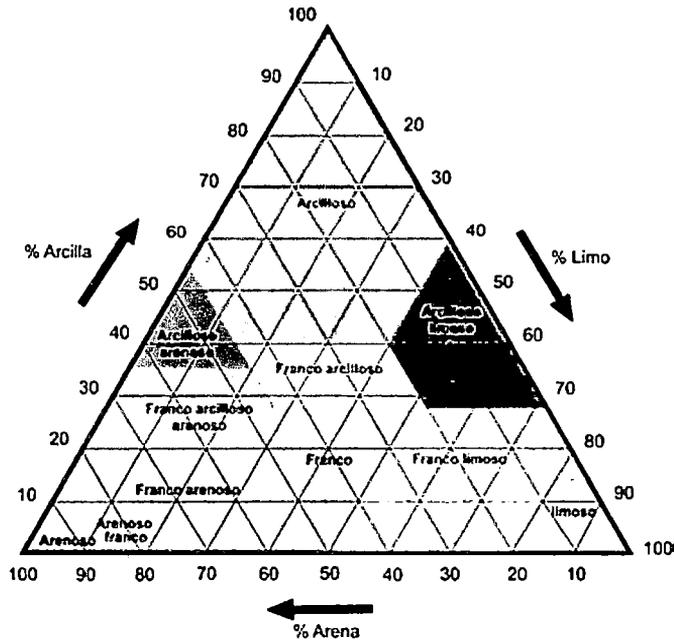
$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40"} \times 100}{\text{Masa del suelo}}$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida a la hora} \times 100}{\text{Masa del suelo}}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

Luego, para la interpretación de la textura se ha utilizado el triángulo de texturas como instrumento preciso para la determinación de la clase textural del suelo.

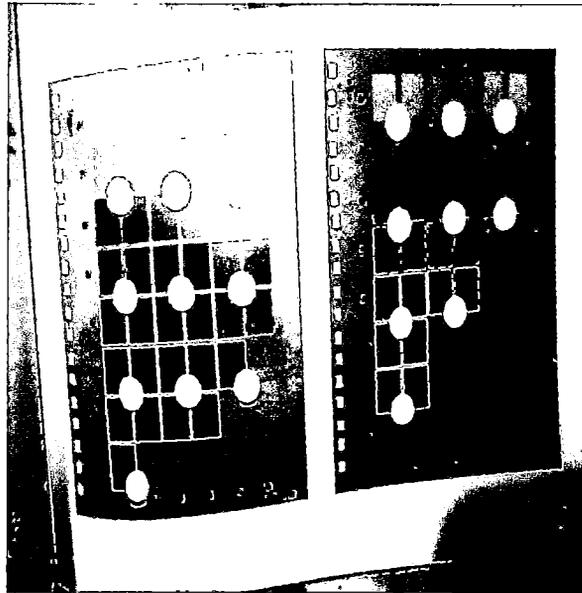
Fotografía 14. Triángulo textural.



- **Color**

Para determinar el color como propiedad física del suelo, se ha empleado la Tabla de colores de Munsell, donde los colores del suelo se determina mediante la comparación con los cuadros descritos de color estándar. El color del suelo es el resultado de la luz reflejada desde el suelo y combinada con los términos del color: el tono que significa matiz, el valor que significa brillo y el croma que significa la saturación.

Fotografía 15. Tabla de Munsell.



- **Densidad**

Siendo la densidad que representa el peso por volumen unitario de una sustancia. La densidad del suelo se expresa por 2 conceptos muy aceptados: La densidad de masa, de volumen o aparente y densidad de las partículas o densidad real, ambos expresado en g/cm^3 ó Kg/cm^3 ó t/m^3 .

En cada periodo vegetativo (emergencia, floración y madurez de cosecha), la muestra de suelo se tomó de los tres tratamientos y luego juntadas para obtener el promedio de muestra con la que se hizo los análisis en laboratorio.

Para hallar la densidad aparente se pesó 50 g de muestra de suelo (M_s), tamizado y secado a la estufa a 105°C , luego se colocó en una probeta para anotar el volumen total del suelo (V_s), y después el resultado se calculó mediante la relación M_s/V_s en g/cm^3 .

Para determinar la densidad real, a los 50 g de muestra de suelo se llenó con 50 ml de agua (V_a), y luego se anotó el volumen combinado de suelo más agua (V_{sa}), con los que determinó bajo la fórmula: M_s/V_r ; donde V_r (volumen real o volumen de los sólidos) = $V_{sa} - V_a$.

Fotografía 16. Preparando materiales para determinación de densidad.



Fotografía 17. Análisis químico y físico en laboratorio de suelos.



- **Porosidad**

La porosidad se refiere al porcentaje del volumen del suelo que está ocupado por los espacios intersticiales o espacios porosos.

Con los resultados de densidad aparente y densidad real ya encontrados, para hallar la porosidad del suelo en los periodos fenológicos del cultivo, fueron reemplazados a la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de espacio poroso} = \left(1 - \frac{d.v.}{d.p.}\right) \times 100$$

- **Humedad equivalente**

Considerando que la humedad equivalente de un suelo es el grado de humedad que queda en una muestra de suelo centrifugada en un campo de 1,000 g (g: aceleración de la gravedad) en condiciones de ensayo fijadas, fáciles de reproducir.

Los análisis de muestras de suelo se hicieron por morfotipos en cada periodo fenológico del cultivo de papa nativa (ver anexo 6).

En la labor de laboratorio, se utilizaron embudos buchner, filtro N°42, kitasato, bomba de succión, estufa, campana de desecación y balanza; luego de registrado los datos se aplicó la fórmula siguiente:

$$\% \text{ HE} = 0.555 (\% \text{ Arcilla}) + 0.187 (\% \text{ limo}) + 0.027 (\% \text{ arena}) + 3 (\% \text{ materia orgánica}).$$

Los análisis de muestras de suelo se hicieron por morfotipos en cada periodo fenológico del cultivo de papa nativa (ver anexo 6).

- **Capacidad de campo**

Para determinar la cantidad de agua que un suelo retiene en los microporos, se ha utilizado la fórmula de Briggs Schantz conocida como fórmula de Roe para suelos francos, franco arcillosos y arcillosos:

$$\% \text{ CC} : 0.865 \times \text{HE} + 2.62$$

Los análisis de muestras de suelo se hicieron por morfotipos en cada periodo fenológico del cultivo de papa nativa (ver anexo 6).

- **Punto de marchitez permanente**

De acuerdo a los métodos indirectos que señala en la guía de análisis de suelos del Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA) sugerido por Briggs y Shantz, los mismos que adoptaron este coeficiente de marchitez calculado como equivalente al punto de marchitez:

Coeficiente de marchitez: $0.01 (\% \text{ arena}) + 0.21 (\% \text{ limo}) + 0.57 (\% \text{ arcilla})$.

Los cálculos a partir de los análisis de muestras de suelo se hicieron por morfotipos en cada periodo fenológico del cultivo de papa nativa (ver anexo 6).

- **Coeficiente de higroscopicidad**

Según la guía de prácticas de análisis de suelo (Vitorino, B. 1988), se ha utilizado muestras de suelo seco a ambiente, luego secadas a estufa y registrada los datos en un cuadro previamente establecida. Para ello se ha empleado la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Coeficiente de Higroscopicidad : } \frac{\text{Masa de agua ganada}}{\text{Masa de suelo seco al aire}} \times 100$$

Los análisis de muestras de suelo se hicieron por morfotipos en cada periodo fenológico del cultivo de papa nativa (ver anexo 6).

5.5.2 Características químicas del suelo

- **Materia orgánica**

La materia orgánica total comprende la materia orgánica no transformada, que está constituida por carbohidratos, lignina, proteínas, grasas, ceras, resinas y otros; y por la materia orgánica transformada en humus, es decir que ésta va a pasar a mineralizarse.

En este caso, utilizando el método Walkley – Black, oxidamos la materia orgánica total, atacándole con un exceso de un fuerte oxidante: el bicromato de potasio en medio ácido. Luego valiéndonos de una sal ferroso-amoniacoal, valoramos el exceso de bicromato. Por diferencia calculamos el volumen de bicromato que se ha consumido en la oxidación de la materia orgánica.

El resultado que se obtiene corresponde al carbono de la muestra. Luego por medio de un factor apropiado se convierte el carbono a materia orgánica.

- **Nitrógeno**

La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra en forma orgánica. Muy pequeñas cantidades se encuentran en forma utilizable por las plantas, esto es, en forma mineral (NO_3^- , NH_4^+).

La aproximación general del contenido total de nitrógeno orgánico del suelo se hace partiendo del contenido de materia orgánica, multiplicando por 5 % o 0.05. (ver anexos de resultados de análisis de suelos 2 Y 4). **Vitorino, B. (1988).**

- Los análisis de fósforo, potasio, conductividad eléctrica, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico, carbonato de calcio y cationes cambiabiles, se realizaron según los métodos enunciados en el manual de análisis de suelos de **Vitorino, B. (1988)**. Ver anexos 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

5.5.3 Características biológicas del suelo

Para la evaluación de variables biológicas, se utilizaron anillos muestreadores de un metro cuadrado, Tirándolos al azar y excavando el suelo a una profundidad de 30 cm como capa arable. Los datos se registraron en una libreta de campo para su tabulación en gabinete.

Fotografía 18. Evaluación de lombrices de tierra.



5.5.4. Rendimiento

Se cosecharon con la ayuda de una "rauk'ana" todos los tubérculos de la parcela correspondiente a cada morfotipo de papa nativa, en forma separada y marcadas con una etiqueta. Luego pesadas los tubérculos en una balanza colgada a la pared en Kg/parcela y después transformada en Kg/ha para los cálculos de rendimiento.

Cabe agregar, que como una curiosidad para saber el efecto del rendimiento de tubérculos con abonamiento orgánico (estiércol de ovino a la dosis de 3 toneladas por hectárea), se ha sembrado y cosechado al mismo tiempo. Datos que se acompaña en el anexo.

Fotografía19. Pesada de tubérculos en una balanza.



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

• ESTRUCTURA

Para los tres morfotipos de papa nativa: *Yana Wank'ucho*, *Puka Wank'ucho* y *Wachuy Warmi*, la forma, tamaño y resistencia de los agregados fueron similares.

Emergencia:

Tipo o forma: Granular (agregados pequeños y fuertes).

Clase o tamaño: Granular media (2 – 5 mm de diámetro).

Grado o resistencia: Moderado (los agregados están bien formados, estables y evidentes).

Floración:

Tipo o forma: Granular (agregados pequeños y fuertes).

Clase o tamaño: Granular media (2 – 5 mm de diámetro).

Grado o resistencia: Moderado (los agregados están bien formados, estables y evidentes).

Madurez de cosecha:

Tipo o forma: Granular (agregados pequeños y fuertes).

Clase o tamaño: Granular fina (1 – 2 mm de diámetro).

Grado o resistencia: Moderado (los agregados están bien formados, estables y evidentes).

Se puede apreciar que tanto en emergencia, floración y madurez de cosecha no hay diferencia en forma y grado, pero si hay variación en tamaño en estado de madurez de cosecha posiblemente debido a las labores de deshierbo y aporque practicados que muy posiblemente redujeron la proporción de los agregados. Esta evaluación se hizo con los parámetros establecidos en el manual de análisis de suelo de **Vitorino, B. (1988)**.

La estructura evaluada en cultivos con y sin abono orgánico fueron similares, posiblemente se debe al corto periodo vegetativo de papa nativa.

- **TEXTURA**

En los tres morfotipos de papa nativa: *Yana Wank'ucho*, *Puka Wank'ucho* y *Wachuy Warmi*, la clase textural de los suelos fueron iguales (ver cuadro anexo de resultados de análisis de suelos).

Emergencia:

Clase textural FRANCO

Floración:

Clase textural FRANCO

Madurez de cosecha:

Clase textural FRANCO

La igualdad de la clase textural de los suelos cultivados con morfotipos de papa nativa, se debe a que por definición la textura es una propiedad física del suelo que no se modifica fácilmente con las labores agronómicas, además de que la duración del ciclo vegetativo del cultivo fue solamente de siete meses.

La textura del suelo en cultivos con y sin abonamiento orgánico fue igual, debido que el contenido de arena, limo y arcilla no es modificada con el incremento de la materia orgánica.

- **COLOR**

El color resultante de la lectura comparativa de la Tabla de Munsell, para el suelo del campo experimental es "gris oscuro".

La coloración se debe principalmente al contenido de materia orgánica que, en general, proporcionó tintes negros a gris oscuro.

El origen de la materia orgánica en el lugar de estudio es el resultado de la descomposición de residuos de plantas silvestres principalmente de la familia de las gramíneas, que fueron transportadas de las partes altas de las montañas circundantes, hasta formar suelos coluviales donde fue instalado el presente estudio.

El color del suelo se mantuvo igual, tanto en cultivo con y sin abonamiento orgánico, porque el contenido de materia orgánica fue alto en todos los estados fenológicos.

- **DENSIDAD**

Cuadro N°5. Resultados promedio de análisis de densidad del suelo.

| Estado fenológico | Densidad aparente | Densidad real (g/cm³) |
|--------------------------|--------------------------|---|
| Emergencia | 1.31 | 2.60 |
| Floración | 1.29 | 2.62 |
| Madurez de cosecha | 1.28 | 2.64 |

El contenido de materia orgánica disminuyó ligeramente a medida que va desarrollando el cultivo de papa nativa, lo que también permitió la disminución de la densidad aparente e incremento de la densidad real. Resultados que concuerda con lo indicado por **Calderón, A. (1992)**, en el sentido de que con el aumento de materia orgánica en el suelo, disminuye la densidad de las partículas.

El alto contenido de materia orgánica en los suelos con y sin abono orgánico, hace que la densidad no varíe.

- **POROSIDAD**

Cuadro N° 6. Resultados promedio del cálculo de porosidad del suelo.

| Estadio fenológico | Porosidad (%) |
|---------------------------|----------------------|
| Emergencia | 49.62 |
| Floración | 50.76 |
| Madurez de cosecha | 51.52 |

El incremento de la porosidad aunque no significativamente se debe posiblemente a la remoción de suelo con las prácticas de deshierbo y aporques; puesto que esta propiedad varía con la solidez y estructura tal como que de forma granular media de 2 – 5 mm durante la emergencia y floración, disminuyó a la forma de granular fina (1 – 2 mm de diámetro) al periodo vegetativo de madurez de cosecha.

En general, se interpreta que el porcentaje de porosidad es media durante la emergencia y alta en los periodos de floración y madurez de cosecha.

El total de poros en cultivos de papa nativa con y sin abono orgánico fueron similares debido al alto contenido de materia orgánica y textura similar en los suelos.

- **HUMEDAD EQUIVALENTE**

Cuadro N° 7. Resultados promedio del cálculo de humedad equivalente del suelo.

| Estadio fenológico | Humedad Equivalente (%) |
|---------------------------|--------------------------------|
| Emergencia | 37.751 |
| Floración | 37.189 |
| Madurez de cosecha | 37.166 |

Tomando en cuenta que la clase textural del suelo de la parcela experimental es FRANCO, la humedad equivalente en cada periodo vegetativo ligeramente superior a la humedad a capacidad de campo,

lo que indica que hay humedad necesario durante el desarrollo del cultivo; es decir en texturas gruesas, la humedad equivalente arroja valores menores que la capacidad de campo, mientras que en texturas finas sucede lo contrario.

- **CAPACIDAD DE CAMPO**

Cuadro N° 8. Resultados promedio del cálculo de capacidad de campo del suelo.

| Estadio fenológico | Capacidad de Campo (%) |
|---------------------------|-------------------------------|
| Emergencia | 35.272 |
| Floración | 34.788 |
| Madurez de cosecha | 34.768 |
| Promedio | 34.942 |

El contenido de humedad en todos los periodos fenológicos fue suficiente, es decir que el agua retenida en los microporos estuvo dentro del margen aceptable de 20 a 40% de humedad en el suelo; lo que quiere decir que no fue necesario prácticas de riego complementario. La permanencia de agua líquida en suelo, se debe a la riqueza de coloides orgánicos resultante del alto contenido de materia orgánica, a la clase textural de franco y a las precipitaciones temporales en la zona.

- **PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE**

Cuadro N° 9. Resultados promedio del cálculo de punto de marchitez permanente del suelo.

| Estadio fenológico | Punto Marchitez Permanente (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Emergencia | 17.29 |
| Floración | 17.12 |
| Madurez de cosecha | 17.00 |

Teniendo en consideración al coeficiente de marchitez permanente como el contenido de la humedad del suelo, al cual las plantas no vuelven a recobrar su turgencia; estos resultados nos indican que al estar menor al contenido de humedad del suelo a capacidad de campo en las tres etapas fenológicas del cultivo de papa nativa, es probable que antes de llegar a estos límites se disponga de agua mediante el riego. Sin embargo, el coeficiente de marchitez permanente de los suelos depende fundamentalmente de la textura y materia orgánica; lo que por otro lado indica que teniendo un suelo franco y alto contenido de materia orgánica, en este periodo de desarrollo del cultivo, el campo experimental no ha implicado estar dentro de este parámetro, de manera que no fue posible observar plantas ni siquiera en inicio de marchitez.

• **COEFICIENTE DE HIGROSCOPICIDAD**

Cuadro N° 10. Resultados promedio del cálculo de coeficiente higroscópico del suelo.

| Estadio fenológico | Coeficiente Higroscópico (%) |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Emergencia | 8.385 |
| Floración | 8.697 |
| Madurez de cosecha | 8.692 |
| Promedio | 8.591 |

En general, el grado de humedad higroscópica de las tierras húmedas, es bastante pequeño, del orden de 2 a 5 %; pero el rango de 8.385 a 8.697 % resultante, es un tanto mayor debido a que la humedad del suelo en cada periodo fenológico permaneció en capacidad de campo. Por otra parte, el estado de equilibrio alcanzado por el suelo depende de la temperatura y de la humedad relativa de la atmósfera. A pesar de eso se ha estimado que en el intervalo de 9 a 35 °C, la temperatura tiene poca influencia sobre la higroscopiedad.

Finalmente se deduce que el contenido de humedad del suelo en sus diversas formas y momentos es indiferente, tanto en cultivos de papa nativa conducidas sin o con abonamiento orgánico; todo ello posiblemente con alto contenido de materia orgánica en todos los periodos fenológicos evaluados.

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO

- **MATERIA ORGÁNICA**

Cuadro N° 11. Resultados promedio del contenido de materia orgánica del suelo.

| Morfotipos de papa nativa | Materia Orgánica (%) | | |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 6.98 | 6.80 | 6.90 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 6.76 | 6.70 | 6.70 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 7.13 | 7.00 | 6.60 |
| Promedio | 6.95 | 6.83 | 6.73 |

El contenido de materia orgánica entre los morfotipos de papa nativa es indiferente; mientras se aprecia ligera disminución desde la emergencia (6.95 %) hasta la madurez de cosecha (6.73 %), a pesar del alto contenido de este compuesto complejo en todos los estadios fenológicos; lo que significa que a mayor desarrollo de la planta mayor es la mineralización y mayor la pérdida debido a las diferentes labores agronómicas durante la campaña agrícola.

- **NITRÓGENO**

Cuadro N° 12. Resultados promedio del contenido de nitrógeno total del suelo sin abono orgánico.

| Morfortipos de papa nativa | Nitrógeno Total (%) | | |
|----------------------------|---------------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.35 | 0.34 | 0.34 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.34 | 0.33 | 0.34 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.36 | 0.35 | 0.33 |
| Promedio | 0.35 | 0.34 | 0.336 |

Cuadro N° 13. Resultados promedio del contenido de nitrógeno total del suelo con abono orgánico.

| Morfortipos de papa nativa | Nitrógeno Total (%) | | |
|----------------------------|---------------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.35 | 0.34 | 0.34 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.35 | 0.34 | 0.33 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.36 | 0.36 | 0.34 |
| Promedio | 0.35 | 0.34 | 0.33 |

El contenido de nitrógeno total entre los morfortipos de papa nativa cultivadas **sin abonamiento orgánico**, también muestra indiferente en sus resultados; mientras se aprecia ligera disminución desde a emergencia (0.35 %) hasta la madurez de cosecha (0.336 %), a pesar

del alto contenido de este elemento en todos los estadios fenológicos; lo que significa que a mayor desarrollo de la planta mayor es la asimilación por las plantas y mayor la pérdida debido a los diferentes factores ambientales y labores agronómicas durante la campaña agrícola. Por otra parte, el N no manifiesta reducción significativa por la poca asimilabilidad por la planta en corto periodo vegetativo y por la poca armonización y mineralización del N por su acidez orgánico.

El contenido de nitrógeno total entre los morfotipos de papa nativa cultivadas con abonamiento orgánico, es muy similar al comportamiento en cultivos sin abonamiento orgánico.

- **FÓSFORO**

Cuadro N° 14. Resultados promedio del contenido de fósforo disponible del suelo sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Fósforo Disponible (ppm P ₂ O ₅) | | |
|---------------------------|--|--------------|-----------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 71.4 | 71.10 | 70.1 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 73.5 | 73.00 | 71.5 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 83.6 | 83.00 | 80.5 |
| Promedio | 76.16 | 75.90 | 74.03 |

Cuadro N° 15. Resultados promedio del contenido de fósforo disponible del suelo con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Fósforo Disponible (ppm P ₂ O ₅) | | |
|---------------------------|--|--------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 74.6 | 73.10 | 72.1 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 75.5 | 74.00 | 73.5 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 85.7 | 84.00 | 79.5 |
| Promedio | 78.60 | 77.03 | 75.03 |

En general, entre los morfotipos de papa nativa se aprecia que la *Yana Wank'ucho* es menos exigente que *Puka Wank'ucho* y *Wachuy Warmi*, respecto a la asimilabilidad del fósforo disponible en el suelo.

En promedio, en cultivos de papa nativa sin abonamiento orgánico desde la emergencia hasta la madurez de cosecha (76.16 a 74.03 ppm de P₂O₅), existe una ligera disminución en la disponibilidad de fósforo en el suelo (casi se mantiene igual por la lenta solubilidad de los fosfatos), por corto periodo vegetativo de la planta y tal vez por la mayor asimilabilidad del macronutriente a medida que las plantas desarrollan, asimismo implica que a mayor tiempo las pérdidas incrementan debido a diferentes factores externos.

Igualmente en promedio, en cultivos de papa nativa con abonamiento orgánico desde la emergencia hasta la madurez de cosecha (78.60 a 75.03 ppm de P₂O₅), existe una ligera disminución en la disponibilidad de fósforo en el suelo (casi se mantiene igual por la

lenta solubilidad de los fosfatos), por corto periodo vegetativo de la planta y tal vez por la mayor asimilabilidad del macronutriente a medida que las plantas desarrollan.

- **POTASIO**

Cuadro N° 16. Resultados promedio del contenido de potasio disponible del suelo sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Potasio Disponible (ppm K ₂ O) | | |
|---------------------------|---|------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 412 | 410 | 400 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 135 | 133 | 120 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 254 | 250 | 248 |
| Promedio | 267 | 264 | 256 |

- **POTASIO**

Cuadro N° 17. Resultados promedio del contenido de potasio disponible del suelo con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Potasio Disponible (ppm K ₂ O) | | |
|---------------------------|---|---------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 220 | 219 | 220 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 139 | 130 | 128 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 262 | 259 | 248 |
| Promedio | 207.00 | 202.66 | 198.66 |

Entre los morfotipos de papa nativa cultivadas sin abonamiento orgánico la asimilabilidad o pérdida del potasio disponible en el suelo

es indiferente. Además, en promedio se aprecia una ligera variación descendente desde la emergencia (267 ppm de K_2O) hasta la madurez de cosecha (256 ppm de K_2O) o se mantiene casi igual por la lenta solubilidad de los potásicos, por corto periodo vegetativo de la planta, como también probablemente se debe a que a medida que las plantas desarrollan la asimilabilidad del macronutriente es mayor, al mismo tiempo implica que a mayor tiempo las pérdidas incrementan debido a diferentes factores externos.

En los morfotipos cultivados con abonamiento orgánico la asimilabilidad o pérdida del potasio disponible en el suelo también es indiferente. Además, en promedio se aprecia una ligera variación descendente desde la emergencia (207.00 ppm de K_2O) hasta la madurez de cosecha (198.66 ppm de K_2O) o se mantiene casi igual por la lenta solubilidad de los potásicos, por corto periodo vegetativo de la planta, como también probablemente se debe a que a medida que las plantas desarrollan la asimilabilidad del macronutriente es mayor, al mismo tiempo implica que a mayor tiempo las pérdidas incrementan debido a diferentes factores externos.

- **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Cuadro N° 18. Resultados promedio del análisis de salinidad del suelo sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) | | |
|----------------------------------|---|------------------|---------------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.98 | 0.96 | 0.94 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.44 | 0.42 | 0.40 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.60 | 0.58 | 0.55 |
| Promedio | 0.67 | 0.65 | 0.63 |

Cuadro N° 19. Resultados promedio del análisis de salinidad del suelo con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) | | |
|----------------------------------|---|------------------|---------------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.90 | 0.98 | 0.96 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.50 | 0.45 | 0.44 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.65 | 0.68 | 0.65 |
| Promedio | 0.68 | 0.70 | 0.68 |

En principio, el suelo experimental no presenta problema de salinidad, es decir, su contenido se considera normal, ya que el cultivo no va tener efectos negativos al efecto de sales existentes.

Asimismo, se aprecia que el contenido de sales en las parcelas de los morfotipos cultivados sin abonamiento orgánico es indiferente.

Sin embargo, en promedio se aprecia una ligera variación descendente

en el contenido de sales, desde la emergencia (0.67 mmhos/cm) hasta la madurez de cosecha (0.63 mmhos/cm); esto posiblemente se debe a que a medida que las plantas desarrollan la asimilabilidad como micronutriente es mayor, asimismo implica que a mayor tiempo las pérdidas incrementan debido a diferentes factores externos.

Por otro lado, se aprecia que el contenido de sales en las parcelas de los morfotipos cultivados con abonamiento orgánico también es indiferente. En promedio no se aprecia variación en el contenido de sales; esto posiblemente se debe a que a medida que las plantas desarrollan, los abonos orgánicos en el suelo a través del incremento de coloides orgánicos también van fijando los iones sodio además de ser asimilados como micronutriente.

- **pH DEL SUELO**

Cuadro N° 20. Resultados promedio del análisis de pH del suelos sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | pH | | |
|---------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 7.00 | 6.90 | 6.90 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 7.10 | 7.00 | 6.80 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 7.00 | 6.90 | 6.90 |
| Promedio | 7.03 | 6.93 | 6.86 |

Cuadro N° 21. Resultados promedio del análisis de pH del suelos con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | pH | | |
|---------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 7.10 | 7.10 | 7.00 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 7.10 | 7.10 | 7.00 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 7.00 | 7.00 | 7.00 |
| Promedio | 7.06 | 7.06 | 7.00 |

En general, el pH varía desde ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino (6.8 a 7.1). La acidez o alcalinidad del suelo experimental es indiferente entre los morfotipos cultivados **sin abonamiento orgánico** ; sin embargo, en promedio desde la emergencia (7.03) hasta la madurez de cosecha del cultivo (6.86) se aprecia una ligera disminución en los resultados de pH; posiblemente esto es debido que a medida que las plantas desarrollan y según se presentan los factores externos (remoción del suelo) y entre otros la pérdida por lixiviación de los elementos solubles en el suelo es mayor.

Por otra parte, la acidez o alcalinidad del suelo experimental, también es indiferente entre los morfotipos cultivados **con abonamiento orgánico**; sin embargo, en promedio desde la emergencia (7.06) hasta la madurez de cosecha del cultivo (7.00) se aprecia una ligera disminución en los resultados de pH; posiblemente esto es debido que a medida que las plantas desarrollan y según se presentan

los factores externos (remoción del suelo) y entre otros la pérdida por lixiviación de los elementos solubles en el suelo es mayor.

- **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO**

Cuadro N° 22. Resultados promedio del análisis de capacidad de intercambio catiónico del suelo sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | CIC (meq/100g suelo) | | |
|---------------------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 22.50 | 22.68 | 24.10 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 23.80 | 23.70 | 24.30 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 24.41 | 25.08 | 24.86 |
| Promedio | 23.57 | 23.82 | 24.42 |

Cuadro N° 23. Resultados promedio del análisis de capacidad de intercambio catiónico del suelo con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | CIC (meq/100g suelo) | | |
|---------------------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 22.90 | 22.80 | 24.20 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 23.90 | 23.80 | 24.40 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 24.81 | 25.68 | 24.96 |
| Promedio | 23.87 | 23.09 | 24.52 |

En promedio, la capacidad de intercambio catiónico en los tres morfotipos de papas nativas cultivadas **sin abonamiento orgánico** es indiferente y en todos con un contenido **alto**, lo que se debe posiblemente al contenido alto de materia orgánica y por ende la cantidad de coloides orgánicos así como también al contenido de arcilla en el suelo. Por otra parte, en promedio se aprecia que, a medida que los estadios de la planta pasa de emergencia (23.57 meq/100 g suelo) a madurez de cosecha (24.42 meq/100 g suelo), la CIC va en ascendencia numérica probablemente al incremento de coloides orgánicos e inorgánicos durante el proceso de mineralización del suelo.

Por otra parte, en promedio la capacidad de intercambio catiónico en los tres morfotipos de papas nativas cultivadas **con abonamiento orgánico** es también indiferente y en todos con un contenido **alto**, lo que se debe posiblemente al contenido alto de materia orgánica y por ende la cantidad de coloides orgánicos así como también al contenido de arcilla en el suelo. Además, el promedio se aprecia que, a medida que los estadios de la planta pasa de emergencia (23.87) meq/100 g suelo) a madurez de cosecha (24.52 meq/100. g suelo), la CIC va en ascendencia numérica probablemente al incremento de coloides orgánicos e inorgánicos durante el proceso de mineralización del suelo.

- **CARBONATO DE CALCIO**

Cuadro N° 24. Resultados promedio del análisis de carbonato de calcio del suelo sin abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Carbonato de Calcio (%) | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 2.79 | 2.80 | 2.79 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 2.81 | 2.80 | 2.80 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 2.80 | 2.77 | 2.81 |
| Promedio | 2.80 | 2.79 | 2.80 |

Cuadro N° 25. Resultados promedio del análisis de carbonato de calcio del suelo con abono orgánico.

| Morfotipos de papa nativa | Carbonato de Calcio (%) | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 2.80 | 2.80 | 2.79 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 2.82 | 2.79 | 2.78 |
| <i>78Wachuy Warmi</i> | 2.84 | 2.82 | 2.82 |
| Promedio | 2.82 | 2.80 | 2.79 |

En promedio, el porcentaje de carbonato de calcio en los morfotipos de papa nativa cultivados sin abonamiento orgánico es indiferente, y en todos con un contenido medio, lo que se debe posiblemente al material parental (piedra caliza) circundante que dio

origen a los suelos del sector Q'enqo, lugar donde se encuentra el campo experimental.

De igual manera, en todos los morfotipos de papa nativa con abonamiento orgánico, el porcentaje promedio de carbonato de calcio en los periodos fenológicos es indiferente, y manifiesta un contenido medio; lo que posiblemente se debe también a material parental de piedra caliza circundante en la zona de estudio.

- **ACIDEZ CAMBIABLE**

Cuadro N° 26. Resultados promedio del análisis de acidez cambiabile del suelo sin abono orgánico.

| Componentes | meq / 100 g suelo | | |
|------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | 23.57 | 23.82 | 24.42 |
| Bases Cambiables | 12.89 | 12.86 | 12.81 |
| Acidez Cambiable | 10.68 | 10.96 | 11.61 |

Cuadro N° 27. Resultados promedio del análisis de acidez cambiabile del suelo con abono orgánico.

| Componentes | meq / 100 g suelo | | |
|------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | 23.87 | 23.09 | 24.52 |
| Bases Cambiables | 13.15 | 13.08 | 12.86 |
| Acidez Cambiable | 10.72 | 10.01 | 11.66 |

En principio, como cationes cambiabile en el suelo se presentan principalmente, H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Al^{+++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} ,

Cu^{++} , etc. Ellos forman el "enjambre" de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes Ca, Mg, K, Na cambiables se denominan bases cambiables y su porcentaje dentro de la capacidad total de intercambio se llama porcentaje de saturación de base.

El H, Al y Mn cambiables se agrupan bajo la acidez cambiabile en la capacidad de intercambio catiónico.

En el cultivo de papa nativa **sin abonamiento orgánico**, el contenido promedio de bases cambiables como Calcio con 10.29 meq/100 g suelo se interpreta como "normal", Magnesio con 1.59 meq/100 g suelo "normal", Potasio con 0.64 meq/100 g suelo "normal", y Sodio con 0.33 meq/100 g suelo "bajo". Los que significa que no tuvo efectos negativos en el desarrollo del cultivo de papa nativa en estudio; como también el pH del suelo está entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino (6.0 - 8.0).

Asimismo, el resultado de acidez cambiabile (11.03 meq/100 g suelo) indica que no hubo problema de acidez en el suelo, y que a su vez deduce que las prácticas de encalado no era necesario; además la papa tolera pH del suelo entre 4.8 a 6.5.

En el cultivo de papa nativa **con abonamiento orgánico**, el contenido promedio de bases cambiables como Calcio con 10.35 meq/100 g suelo se interpreta como "normal", Magnesio con 1.33 meq/100 g suelo "normal", Potasio con 0.65 meq/100 g suelo "normal", y Sodio con 0.36 meq/100 g suelo "bajo". Los que significa que no tuvo efectos negativos en el desarrollo del cultivo de papa nativa en estudio; como también el

pH del suelo está entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino (6.0 - 8.0).

Asimismo, el resultado de acidez cambiante (10.79 meq/100 g suelo) indica que no hubo problema de acidez en el suelo, y que a su vez deduce que las prácticas de encalado no era necesario; además la papa tolera pH del suelo entre 4.8 a 6.5.

3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL SUELO

En la presente investigación, básicamente se ha determinado la densidad y biomasa de los siguientes animales (macrofauna) existentes en la capa arable y durante los periodos fenológicos de la planta en estudio.

Entre los animales encontrados fueron: Lombriz de tierra (*Lombricus terrestris*), Hormiga común (*Formica Spp.*), cienpies (*Scolopendra cingulata*) y milpies (*Glomeris Spp.*).

Cuadro N° 28. Densidad de macrofauna evaluadas en suelo sin abono orgánico.

| Especie | Densidad (individuos/m ²) | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Lombriz de tierra (Aneelidae) | 0 | 2 | 6 |
| Hormiga común (Formicidae) | 3 | 2 | 8 |
| Cienpies (Miriápodos) | 4 | 8 | 10 |
| Milpies (Miriápodos) | 2 | 3 | 4 |

Cuadro N° 29. Biomasa de macrofauna evaluadas en suelos sin abono orgánico.

| Especie | Biomasa (g peso fresco/m ²) | | |
|----------------------------------|--|-----------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Lombriz de tierra (Aneelidae) | 0 | 1 | 6 |
| Hormiga común (Formicidae) | 0.6 | 0.7 | 1 |
| Cienpies (Miriápodos) | 0.4 | 0.5 | 0.8 |
| Milpies (Miriápodos) | 2.5 | 4 | 5 |

Cuadro N° 30. Densidad de macrofauna evaluadas en suelos con abono orgánico.

| Especie | Densidad (individuos/m ²) | | |
|----------------------------------|--|-----------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Lombriz de tierra (Aneelidae) | 1 | 3 | 8 |
| Hormiga común (Formicidae) | 4 | 4 | 10 |
| Cienpies (Miriápodos) | 5 | 10 | 12 |
| Milpies (Miriápodos) | 3 | 4 | 5 |

Cuadro N° 31. Biomasa de macrofauna evaluadas en suelos con abono orgánico.

| Especie | Biomasa (g peso fresco/m ²) | | |
|----------------------------------|--|-----------|--------------------|
| | Emergencia | Floración | Madurez de cosecha |
| Lombriz de tierra (Aneelidae) | 2 | 2 | 8 |
| Hormiga común (Formicidae) | 1.0 | 1 | 2 |
| Cienpies (Miriápodos) | 0.7 | 0.8 | 1 |
| Milpies (Miriápodos) | 3.0 | 6 | 6 |

Dentro de este grupo de macrofaunas encontradas durante la evaluación, la lombriz de tierra es la que participa en la descomposición de la materia orgánica compleja, forma galerías o porosidad en el suelo para la circulación del agua y aire.

Esta población se ha observado tal vez en estas fases del cultivo, porque el terreno fue de descanso y presentaba abundante cobertura vegetal como el "kikuyo" (*Pennisetum clandestinum*) y otras plantas silvestres, suelo de coloración oscura o gris como síntoma de presencia de materia orgánica y rico en nutrientes.

Sin embargo, se aprecia que después de haber sido agregado en el momento de la siembra con estiércol descompuesto de vacuno y ovino, el incremento en densidad y biomasa de estos animales fue mayor, esto posiblemente debido a la riqueza del suelo en materia orgánica y humedad a capacidad de campo que se mantuvo durante todo el periodo vegetativo de la papa nativa.

En cuanto a la cantidad de mesófilos viables, el promedio fue de 13×10^2 ufc/g y 11×10^2 ufc/g de hongos, los cuales son como microorganismos ambientales que no perjudican al desarrollo del cultivo de papa nativa.

4. RENDIMIENTO DE TUBÉRCULOS

Cuadro N° 32. Rendimiento de tubérculos de papa nativa.

| BLOQUE | SIN ABONO ORGÁNICO Kg/ha | | | CON ABONO ORGÁNICO Kg/ha | | |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | <i>Yana Wank'ucho</i> | <i>Puka Wank'ucho</i> | <i>Wachuy Warmi</i> | <i>Yana Wank'ucho</i> | <i>Puka Wank'ucho</i> | <i>Wachuy Warmi</i> |
| I | 17,300 | 32,900 | 26,000 | 27,100 | 36,400 | 29,280 |
| II | 17,200 | 33,750 | 26,050 | 27,200 | 36,200 | 29,350 |
| III | 17,600 | 34,000 | 25,550 | 27,500 | 36,450 | 29,386 |
| IV | 17,960 | 34,678 | 25,360 | 27,424 | 36,534 | 29,996 |
| Promedio | 17,515 | 33,832 | 25,740 | 27,306 | 36,396 | 29,503 |

Cuadro N° 33. ANVA de rendimiento de tubérculos de papa nativa.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Ft | SIG |
|--------------|----|------------|--------------|---------|-------|-----|
| TRATAMIENTOS | 5 | 885651456. | 177130291.20 | 1323.81 | 0.000 | ** |
| BLOQ UES | 3 | 800768. | 266922.66 | 1.99 | 0.157 | * |
| ERROR | 15 | 2007040. | 133802.67 | | | |
| TOTAL | 23 | 888459264. | | | | |

El coeficiente de variabilidad del rendimiento es:

CV : 1.29 %

Cuadro N° 34. Comparativo de Tukey para tratamientos

| Orden Mérito | Tratamientos | Rendimiento Kg/ha | Significancia |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | Puka Wank'ucho con Abono Orgánico | 36,396 | a |
| 2 | Puka Wank'ucho sin Abono Orgánico | 33,832 | a |
| 3 | Wachuy Warmi con Abono Orgánico | 29,503 | b |
| 4 | Yana Wank'ucho con Abono Orgánico | 27,306 | b |
| 5 | Wachuy Warmi sin Abono Orgánico | 25,740 | b |
| 6 | Yana Wank'ucho sin Abono Orgánico | 17,515 | c |

- En el cuadro N° 33 de análisis de variancia, refleja que existe diferencia significativa entre bloques, lo que indica que la distribución de bloques no fue uniforme debido a que el terreno tiene una pendiente de 15%. El coeficiente de variabilidad de 1.29 % indica que existe confiabilidad en los análisis de resultados.
- Según el cuadro comparativo de Tukey se muestra que, existe diferencia significativa al 99 % de probabilidad entre tratamientos, donde el morfotipo Puka Wank'ucho con abonamiento orgánico fue superior (36,396 Kg/ha) a los demás tratamientos, seguido de Puka Wank'ucho (33,832 Kg/ha) sin abonamiento orgánico; ocupando el último lugar el morfotipo Yana Wank'ucho sin abonamiento orgánico con sólo 17,515 Kg/ha; esta superioridad se debe posiblemente al carácter genético del morfotipo y la influencia del comportamiento de propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo donde han sido cultivados.

CONCLUSIONES

A. FERTILIDAD FÍSICA DEL SUELO

- La estructura del suelo, con y sin abonamiento orgánico, para todos los suelos en estadio de emergencia, floración y madurez de cosecha, es de forma granular, tamaño granular media y resistencia moderado, a excepción de tamaño granular fina en madurez de cosecha.
- La clase textural del suelo es franco.
- El color del suelo en todos los cultivos, con y sin abonamiento, para todos los suelos es gris oscuro.
- La densidad aparente del suelo, con y sin abonamiento orgánico para todos los suelos, varía de 1.31 g/cm³ (estadio de emergencia) a 1.28 g/cm³ (estadio de madurez de cosecha); asimismo la densidad real varía de 2.60 g/cm³ (estadio de emergencia) a 2.64 g/cm³ (estadio de madurez de cosecha).
- La porosidad del suelo, con y sin abonamiento orgánico, para todos los suelos varía de 49.62% en estadio de emergencia a 51.52% al estadio de madurez de cosecha.
- La humedad equivalente del suelo, con y sin abonamiento orgánico, ligeramente disminuye de 37.751% en estadio de emergencia hasta 37.166% al estado de madurez de cosecha.
- La humedad en capacidad de campo en suelos, con y sin abonamiento orgánico, es indiferente en los tres periodos fenológicos del cultivo de papa nativa, con un promedio de 34.942%.

- El punto de marchitez permanente en suelos, con y sin abono orgánico, varía disminuyendo ligeramente desde 17.29% (estadio de emergencia) hasta 17.00% (estadio de madurez de cosecha).
- El coeficiente de higroscopicidad en suelos, con y sin abono orgánico, es indiferente en todos los estadios fenológicos del cultivo de papa nativa, con un promedio de 8.591%.

B. FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO

- El contenido de nitrógeno total y fósforo disponible en suelos, con y sin abono orgánico, en todos los estadios del cultivo de papa nativa, es alto. Mientras que el contenido de potasio disponible varía de medio a alto.
- En los tres estadios del cultivo de papa nativa, el pH tanto en suelos, con y sin abono orgánico, varía desde ligeramente ácida a ligeramente alcalino.
- La conductividad eléctrica en suelos, con y sin abono orgánico, y en todos los estadios fenológicos, se considera normal.
- La capacidad de intercambio catiónico en suelos, sin y con abono orgánico, así como en todos los estadios fenológicos, varía de manera indiferente desde 24.92 a 23.57 meq/100 g suelo.
- El porcentaje de carbonato de calcio tanto en suelos, con y sin abono orgánico y en todos los estadios fenológicos, se considera medio en su contenido.
- El promedio total de la acidez cambiante del suelo (de 10.94 meq/100 g suelo), con y sin abono orgánico, indica que no hubo problema de acidez en el suelo.

C. FERTILIDAD BIOLÓGICA

La densidad y biomasa de macrofauna en suelos, sin abono orgánico es menor respecto a suelos con abono orgánico; asimismo esta densidad y biomasa aumenta desde el estado de emergencia hasta el estado de madurez de cosecha.

En todos los suelos en estudio se presentaron bacterias aerobias, mesófilos viables en un promedio de 13×10^2 ufc/g y en los hongos un promedio de 11×10^2 ufc/g que son microorganismos ambientales. También se encontró gran variedad y número de otros microorganismos que habitan normalmente en el suelo.

D. RENDIMIENTO

El morfotipo Puka Wank'ucho con abonamiento orgánico fue superior en 36,396 Kg/ha a los demás tratamientos, seguido de Puka Wank'ucho en 33,832 Kg/ha sin abonamiento orgánico; ocupando el último lugar el morfotipo Yana Wank'ucho sin abonamiento orgánico con solo 17,515 Kg/ha.

RECOMENDACIONES

- 1. Realizar experimentos de determinación de propiedades físicas, químicas y biológicas, en suelos de diferentes pisos ecológicos.**
- 2. El estudio de suelos y sus propiedades, se debe repetir en varias campañas agrícolas.**
- 3. Realizar investigaciones comparativas entre otros morfotipos de papas nativas y papas híbridas, con el abonamiento orgánico e inorgánico.**
- 4. Plantear experimentos de análisis de fertilidad física, química y biológica del suelo, en cultivos asociados propios de cada zona.**

BIBLIOGRAFÍA

1. **BERLIJN D, JOHAN.** (2000). Protección de cultivos. Editorial Trillas.
2. **BUENO, MARIANO.** (1999). El huerto familiar ecológico. Edita: Integral / RBA.
3. **CALDERON CH., ARCADIO.** (1992). Curso Edafología. Texto Universitario de la Facultad de Agronomía y Zootecnia - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Perú.
4. **CHRISTIANSEN, G. J.** (1967). El cultivo de la papa en el Perú. Editorial Jurídica. Lima – Perú.
5. **COSIO C., POMPEYO.** (2002). Glosario de términos relacionados a conservación de los recursos filogenéticos. Cusco – Perú.
6. **COSIO C. POMPEYO y CASTELO H. GUIDO.** (1993). Clasificación sistemática de plantas, según Cronquist. Copia mimeografiada. FAZ – UNSAAC. Cusco – Perú.
7. **EGUSQUIZA, B.R.** (2000). La papa, producción, transformación, comercialización. Lima – Perú.
8. **FALDER RIVERO, ÁNGEL.** (2007). Enciclopedia de los alimentos.
9. **FINCK, ARNOLD.** (1985). Fertilizantes y Fertilización. Editorial Reverté.
10. **FLOREZ S., JAVIER.** (2012). Agricultura ecológica. Ediciones Mundi Prensa. Madrid - México.
11. **GAMARRA, M.** (2010). Glosario de términos relacionados a conservación de los recursos filogenéticos. Cusco – Perú.
12. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI).** (1988). México.

13. **JUAN JOSE IBAÑEZ.** (2011). Las lombrices de tierra y su importancia en el suelo. www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/05/31/138374.
14. **LESUR, LUIS.** (2006). Manual de riego agrícola. Editorial Trillas.
15. **MECO MURILLO, RAMÓN.** (2011). Agricultura ecológica en secano Ediciones Mundi - Prensa. México.

16. **ROSAS ROA, ANTONIO.** (2007), Agricultura orgánica práctica. Quinta Edición – Produmedios.

17. **SALGADO G., SERGIO.** (2000). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos.
18. **SUQUILANDA V. MANUEL B.** (2000). Producción orgánica de cultivos andinos. FAO.
19. **TAPIA, MARIO.** (1993). Agrobiodiversidad en los andes. Editorial Friedrich Ebert Stiffiungl. Lima – Perú.
20. **VAVILOV, V. N.** (1951). The origen of cultivated plants. En proc. Internacional con. Pl. Sci. Pp.
21. **VELEZ M., RICARDO.** (2005). Diccionario Forestal. Ediciones Mundi Prensa. Madrid - Barcelona.
22. **VITORINO FLOREZ, BRAULIO.** (1988). Manual de análisis de suelos. Guía Práctica de Edafología. 3ra. Edición Revisada y Ampliada. Texto Universitario – FAZ- UNSAAC. K'ayra – cusco – Perú.
23. **VITORINO FLOREZ, BRAULIO.** (2010). Fertilidad de suelos y abonamiento, con énfasis en la nutrición orgánica sustentable de las plantas cultivadas. Facultad de Agronomía y Zootecnia - Centro de Investigación en Suelos. UNSAAC – Cusco - Perú.

ANEXOS

A. RESULTADOS

ANEXO 1: CLAVE DE MUESTRAS DE SUELO POR MORFOTIPO DE PAPA NATIVA

| N° de muestra del suelo | Morfotipo de papa nativa <i>Wank'ucho</i> |
|--------------------------------|--|
| Muestra 1 | <i>Yana Wank'ucho</i> |
| Muestra 2 | <i>Puka Wank'ucho</i> |
| Muestra 3 | <i>Wachuy Warmi</i> |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

ANEXO 2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS SIN ABONAMIENTO ORGÁNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

TIPO DE ANALISIS : Fertilidad y mecánico.
 PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Ccoyo – Uskamarka, Sector Q'engo
 – Santo Tomás – Cusco.
 CULTIVO DE PAPA NATIVA : SIN ABONO ORGÁNICO
 PERIODO VEGETATIVO : Emergencia
 SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.98 | 7.00 | 6.98 | 0.35 | 71.4 | 212 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.44 | 7.10 | 6.76 | 0.34 | 73.5 | 135 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.60 | 7.00 | 7.13 | 0.36 | 83.6 | 254 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 22.50 | 41 | 45 | 14 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 23.80 | 47 | 38 | 15 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 24.41 | 45 | 41 | 14 | FRANCO |

Cusco – K'ayra, 07 noviembre 2014.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOCTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

ing. Mgt. Arzobispo Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

TIPO DE ANÁLISIS : Fertilidad y mecánico.

PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Coyo – Uskamarka, Sector Q'engo – Santo Tomás – Cusco.

CULTIVO DE PAPA NATIVA : SIN ABONO ORGÁNICO

PERIODO VEGETATIVO : Floración

SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.96 | 6.90 | 6.80 | 0.34 | 71.10 | 210 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.42 | 7.00 | 6.70 | 0.33 | 73.00 | 133 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.58 | 6.90 | 7.00 | 0.35 | 83.00 | 250 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 22.68 | 41 | 46 | 13 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 23.70 | 47 | 39 | 14 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 25.08 | 44 | 42 | 14 | FRANCO |

Cusco – K'aya, 15 enero 2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Arcadio Calderón Choquechambi
 Ing. Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

TIPO DE ANÁLISIS : Fertilidad y mecánico.
PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Ccoyo – Uskamarka, Sector
Q'engo – Santo Tomás – Cusco.
CULTIVO DE PAPA NATIVA : SIN ABONO ORGÁNICO
PERIODO VEGETATIVO : Madurez fisiológica
SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.94 | 6.90 | 6.90 | 0.34 | 70.1 | 200 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.40 | 6.80 | 6.70 | 0.34 | 71.5 | 120 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.55 | 6.90 | 6.60 | 0.33 | 80.5 | 248 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 24.10 | 41 | 47 | 12 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 24.30 | 47 | 40 | 13 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 24.86 | 44 | 41 | 15 | FRANCO |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

Cusco – K'ayra, 15 abril 2015.

**ANEXO 3: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELO
POR PERIODO VEGETATIVO DE LA PAPA NATIVA SIN
ABONO ORGÁNICO**

| CLAVE o Nº Muestras | C.E. mmhos/cm | pH | N TOTAL % | P₂O₅ ppm | K₂O ppm |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|---|-------------------------------|
| EMERGENCIA: | | | | | |
| 1 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Ligeramente alcalino | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |
| FLORACIÓN: | | | | | |
| 1 | Normal | Ligeramente ácido | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Ligeramente ácido | Alto | Alto | Alto |
| MADUREZ FISIOLÓGICA: | | | | | |
| 1 | Normal | Ligeramente ácido | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Ligeramente ácido | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Ligeramente ácido | Alto | Alto | Alto |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

**ANEXO 4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS CON ABONAMIENTO
ORGÁNICO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS**

TIPO DE ANÁLISIS : Fertilidad y mecánico
PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Coyo – Uskamarka, Sector Q'engo
 – Santo Tomás – Cusco.
CULTIVO DE PAPA NATIVA : CON ABONO ORGÁNICO
PERIODO VEGETATIVO : Emergencia
SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.90 | 7.10 | 7.00 | 0.35 | 74.6 | 220 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.50 | 7.10 | 6.98 | 0.35 | 75.5 | 139 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.65 | 7.00 | 7.15 | 0.36 | 85.7 | 262 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 22.90 | 41 | 45 | 14 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 23.90 | 47 | 38 | 15 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 24.81 | 45 | 41 | 14 | FRANCO |

Cusco – K'ayra, 07 noviembre 2014.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Aracelio Calderón Choquechambi
 Ing. Mgt. Aracelio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

TIPO DE ANÁLISIS : Fertilidad y mecánico.
PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Coyo – Uskamarka, Sector
 Q'enqo – Santo Tomás – Cusco.
CULTIVO DE PAPA NATIVA : CON ABONO ORGÁNICO
PERIODO VEGETATIVO : Floración
SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.98 | 7.10 | 6.90 | 0.34 | 73.10 | 219 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.45 | 7.10 | 6.80 | 0.34 | 74.00 | 130 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.68 | 7.00 | 7.10 | 0.36 | 84.00 | 259 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 22.80 | 41 | 46 | 13 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 23.80 | 47 | 39 | 14 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 25.68 | 44 | 42 | 14 | FRANCO |

Cusco – K'ayra, 15 enero 2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Arcadio Calderon Choquechambi
 ing. Mgt. Arcadio Calderon Choquechambi
 DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y ABONOS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

TIPO DE ANÁLISIS : Fertilidad y mecánico.

PROCEDENCIA MUESTRAS : Pfullpuri Puente Coyo – Uskamarka, Sector Q'enqo – Santo Tomás – Cusco.

CULTIVO DE PAPA NATIVA : CON ABONO ORGÁNICO

PERIODO VEGETATIVO : Madurez fisiológica

SOLICITANTE : Victor Vallejos Mendoza.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

| Nº | CLAVE | C.E. mmhos/cm | pH | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm |
|----|-----------|------------------|------|-----------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 0.96 | 7.00 | 6.85 | 0.34 | 72.1 | 220 |
| 02 | MUESTRA 2 | 0.44 | 7.00 | 6.68 | 0.33 | 73.5 | 128 |
| 03 | MUESTRA 3 | 0.65 | 7.00 | 6.90 | 0.34 | 79.5 | 248 |

ANÁLISIS MECÁNICO:

| Nº | CLAVE | C.I.C. meq/100 | ARENA % | LIMO % | ARCILLA % | CLASE TEXTURAL |
|----|-----------|-------------------|------------|-----------|--------------|-------------------|
| 01 | MUESTRA 1 | 24.20 | 41 | 47 | 12 | FRANCO |
| 02 | MUESTRA 2 | 24.40 | 47 | 40 | 13 | FRANCO |
| 03 | MUESTRA 3 | 24.96 | 44 | 41 | 15 | FRANCO |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

Cusco – K'ayra, 15 abril 2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Arcadio Calderón Choquechambi
 Ing. Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

**ANEXO 5: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELO
POR PERIODO VEGETATIVO DE LA PAPA CON ABONO
ORGÁNICO**

| CLAVE o N° Muestras | C.E. mmhos/cm | pH | N TOTAL % | P₂O₅ ppm | K₂O ppm |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|---|-------------------------------|
| EMERGENCIA: | | | | | |
| 1 | Normal | Ligeramente alcalino | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Ligeramente alcalino | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |
| FLORACION: | | | | | |
| 1 | Normal | Ligeramente alcalino | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Ligeramente alcalino | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |
| MADUREZ FISIOLÓGICA: | | | | | |
| 1 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |
| 2 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Medio |
| 3 | Normal | Neutro | Alto | Alto | Alto |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

ANEXO 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE HUMEDAD DEL SUELO

EMERGENCIA:

| Morfotipos de papa nativa Wank'ucho | Humedad Equivalente % HE | Capacidad de Campo % CC | Punto de Marchitez Permanente % PMP | Coefficiente de Higroscopicidad % Coef. Hig. |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| <i>Yana</i> <i>Wank'ucho</i> | 38.232 | 35.690 | 17.84 | 7.625 |
| <i>Puka</i> <i>Wank'ucho</i> | 36.980 | 34.601 | 17.00 | 8.650 |
| <i>Wachuy</i> <i>Warmi</i> | 38.042 | 35.526 | 17.04 | 8.881 |
| Promedio | 37.751 | 35.272 | 17.29 | 8.385 |

FLORACIÓN:

| Morfotipos de papa nativa Wank'ucho | Humedad Equivalente % HE | Capacidad de Campo % CC | Punto de Marchitez Permanente % PMP | Coefficiente de Higroscopicidad % Coef.Hig. |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|
| <i>Yana</i> <i>Wank'ucho</i> | 37.324 | 34.905 | 17.48 | 8.726 |
| <i>Puka</i> <i>Wank'ucho</i> | 36.432 | 34.133 | 16.64 | 8.533 |
| <i>Wachuy</i> <i>Warmi</i> | 37.812 | 35.327 | 17.24 | 8.831 |
| Promedio | 37.189 | 34.788 | 17.12 | 8.697 |

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Arce

 Ing. Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

MADUREZ FISIOLÓGICA:

| Morfotipos de papa nativa Wank'ucho | Humedad Equivalente % HE | Capacidad de Campo % CC | Punto de Marchitez Permanente % PMP | Coefficiente de Higroscopicidad % Coef.Hig. |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 37.256 | 34.846 | 17.12 | 8.711 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 36.064 | 33.815 | 16.28 | 8.453 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 38.180 | 35.645 | 17.60 | 8.942 |
| Promedio | 37.166 | 34.768 | 17.00 | 8.692 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

ANEXO 7. RESULTADOS DE CALCIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS SIN ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 10.25 | 10.26 | 10.28 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 10.29 | 10.31 | 10.28 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 10.36 | 10.27 | 10.31 |
| Promedio | 10.30 | 10.28 | 10.29 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOCTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Argadio Calderon Choquechambi
 ing. Mgt. Argadio Calderon Choquechambi
 DIRECTOR

ANEXO 8. RESULTADOS DE MAGNESIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS SIN ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 1.59 | 1.58 | 1.57 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 1.61 | 1.59 | 1.59 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 1.60 | 1.60 | 1.58 |
| Promedio | 1.60 | 1.59 | 1.58 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

ANEXO 9. RESULTADOS DE POTASIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS SIN ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.63 | 0.66 | 0.62 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.65 | 0.64 | 0.62 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.64 | 0.65 | 0.65 |
| Promedio | 0.64 | 0.65 | 0.63 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

ANEXO 10. RESULTADOS DE SODIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS SIN ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.34 | 0.33 | 0.32 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.34 | 0.35 | 0.30 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.37 | 0.34 | 0.31 |
| Promedio | 0.35 | 0.34 | 0.31 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

ANEXO 11. RESULTADOS PROMEDIO DE CARBONATO DE CALCIO Y CATIONES CAMBIABLES DEL SUELO EN CULTIVOS SIN ABONO ORGÁNICO

| Componentes | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica | Método |
|----------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------------|
| Carbonato de Ca (%) | 2.80 | 2.79 | 2.80 | Volumetría |
| Ca (meq/100 g suelo) | 10.30 | 10.28 | 10.29 | Absorción atómica |
| Mg (meq/100 g suelo) | 1.60 | 1.59 | 1.58 | Absorción atómica |
| K (meq/100 g suelo) | 0.64 | 0.65 | 0.63 | Absorción atómica |
| Na (meq/100 g suelo) | 0.35 | 0.34 | 0.31 | Absorción atómica |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

ANEXO 12. RESULTADOS DE CALCIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS CON ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|----------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 10.35 | 10.34 | 10.25 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 10.39 | 10.38 | 10.25 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 10.46 | 10.45 | 10.30 |
| Promedio | 10.40 | 10.39 | 10.26 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Aracadio Calderón Choquechambi
 Ing. Mgt. Aracadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

**ANEXO 13. RESULTADOS DE MAGNESIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo)
EN CULTIVOS CON ABONO ORGÁNICO**

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|----------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 1.69 | 1.68 | 1.59 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 1.71 | 1.69 | 1.65 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 1.70 | 1.69 | 1.64 |
| Promedio | 1.70 | 1.68 | 1.62 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

**ANEXO 14. RESULTADOS DE POTASIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN
CULTIVOS CON ABONO ORGÁNICO**

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|----------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.65 | 0.64 | 0.63 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.69 | 0.66 | 0.64 |
| Promedio | 0.67 | 0.65 | 0.64 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOCTECNIA
Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)


ing. Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi
DIRECTOR

ANEXO 15. RESULTADOS DE SODIO CAMBIABLE (meq/100 g suelo) EN CULTIVOS CON ABONO ORGÁNICO

| Morfotipos de papa nativa | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| <i>Yana Wank'ucho</i> | 0.38 | 0.36 | 0.34 |
| <i>Puka Wank'ucho</i> | 0.38 | 0.37 | 0.35 |
| <i>Wachuy Warmi</i> | 0.39 | 0.36 | 0.33 |
| Promedio | 0.38 | 0.36 | 0.34 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

ANEXO 16. RESULTADOS PROMEDIO DE CARBONATO DE CALCIO Y CATIONES CAMBIABLES DEL SUELO EN CULTIVOS CON ABONO ORGÁNICO

| Componentes | Emergencia | Floración | Madurez Fisiológica | Método |
|----------------------|------------|-----------|---------------------|-------------------|
| Carbonato de Ca (%) | 2.82 | 2.80 | 2.79 | Volumetría |
| Ca (meq/100 g suelo) | 10.40 | 10.39 | 10.26 | Absorción atómica |
| Mg (meq/100 g suelo) | 1.70 | 1.68 | 1.62 | Absorción atómica |
| K (meq/100 g suelo) | 0.67 | 0.65 | 0.64 | Absorción atómica |
| Na (meq/100 g suelo) | 0.38 | 0.36 | 0.34 | Absorción atómica |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA-FAZ. 2014-2015.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOECNIA
 Centro de Investigación en Suelos y Abonos (CISA)

Ing. Mgt. Areadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

ANEXO 17. RENDIMIENTO DE TUBÉRCULOS DE PAPA NATIVA (Kg/ 12 m²)

| BLOQUE | SIN ABONO ORGÁNICO | | | CON ABONO ORGÁNICO | | |
|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | Kg/parcela | | | Kg/parcela | | |
| | <i>Yana Wank'ucho</i> | <i>Puka Wank'ucho</i> | <i>Wachuy Warmi</i> | <i>Yana Wank'ucho</i> | <i>Puka Wank'ucho</i> | <i>Wachuy Warmi</i> |
| I | 20.76 | 39.48 | 31.20 | 32.52 | 43.68 | 35.13 |
| II | 20.64 | 40.50 | 31.26 | 32.64 | 43.44 | 35.22 |
| III | 21.12 | 40.80 | 30.66 | 33.00 | 43.74 | 35.26 |
| IV | 21.55 | 41.61 | 30.43 | 32.90 | 43.84 | 35.99 |
| Promedio | 21.01 | 40.59 | 30.88 | 32.76 | 43.67 | 35.40 |

B. TABLAS DE INTERPRETACIÓN

ANEXO 18. NIVELES CRÍTICOS DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

| NIVEL FERTILIDAD SUELO | M.O. % | N TOTAL % | P ₂ O ₅ ppm | K ₂ O ppm | |
|------------------------|--------|-----------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | | | pH < 6.5 | pH > 6.5 |
| BAJO | < 2 | < 0.1 | < 20 | < 60 | < 90 |
| MEDIO | 2 - 4 | 0.1 - 0.2 | 20 - 40 | 60 - 120 | 90 - 180 |
| ALTO | > 4 | > 0.2 | > 40 | > 120 | > 180 |

Fuente: Laboratorio de Suelos del CISA – FAZ. 2014-2015.

ANEXO 19. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE ACUERDO A SU pH

(Según Scheffer y Schachtschabel: pH (KCl))

| Interpretación | Contenido |
|-------------------------|------------|
| Extremadamente ácido | < 4.0 |
| Fuertemente ácido | 4.0 – 4.9 |
| Medianamente ácido | 5.0 – 5.9 |
| Ligeramente ácido | 6.0 – 6.9 |
| Neutro | 7.0 |
| Ligeramente alcalino | 7.0 – 8.0 |
| Medianamente alcalino | 8.1 – 9.0 |
| Fuertemente alcalino | 9.1 – 10.0 |
| Extremadamente alcalino | >10.0 |

Fuente: Hans W. Fassbender, IICA, (1975).

ANEXO 20. VALORES ORIENTATIVOS DE LA POROSIDAD TOTAL DE UN SUELO Y SU INTERPRETACIÓN

| Valores | Interpretación |
|---------|----------------|
| < 30 | Muy baja |
| 30 - 40 | Baja |
| 40 - 50 | Media |
| 50 - 60 | Alta |
| > 60 | Muy alta |

Fuente: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%204.pdf>

ANEXO 21. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC) NOS REVELAN EL TIPO DE SUELO. Los rangos de suelos son:

| RANGOS | |
|---------------|-----------------------|
| 0 - 8 | Suelo Arenoso. |
| 9 - 15 | Suelo Franco Arenoso. |
| 16 - 25 | Suelo Franco. |
| 25 - 40 | Suelo Arcilloso. |
| 40+ | Suelos Turbos. |

Esta información nos dirá la capacidad de retención de nutrientes del suelo. Esto nos provee un concepto propuesto de como es el movimiento de humedad dentro del suelo. La CIC nos da una idea de la cantidad de iones de carga positivos que podrían ser mantenidas para las partículas de arcilla. Los cationes de mayor consideración son potasio, calcio, magnesio y sodio todas estas son iones de carga positivas que son críticos para el crecimiento de la grama o césped.

Fuente: Guía general para la interpretación de análisis de suelos.

<http://www.chemicalinstruments.com.mx/page107.html>

ANEXO 22. NIVELES CRITICOS DE CIC EN SUELOS

| Niveles | meq/100 g suelo |
|----------------|------------------------|
| Bajo | < 0.7 |
| Medio | 7.1 – 15 |
| Alto | >15 |

Fuente: VITORINO, B. (1988). Manual de análisis de suelos.

ANEXO 23. INTERPRETACION DE CARBONATO DE CALCIO

| Componente (%) | Interpretación |
|-----------------------|-----------------------|
| < 2 | Bajo |
| 2 - 4 | Medio |
| >4 | Alto |

Fuente: VITORINO, B . (1988).

ANEXO 24. INTERPRETACION DE CALCIO CAMBIABLE

| Componente (100 meq/100 g suelo) | Interpretación |
|---|-----------------------|
| 0 - 3.5 | Muy Bajo |
| 3.5 - 10 | Bajo |
| 10 - 14 | Normal |
| 14 - 20 | Alto |
| >20 | Muy Alto |

Fuente: Rioja Molina, A. (2002). Apuntes de fitotecnia general. E.U.I.T.A. Ciudad Real.

ANEXO 25. INTERPRETACION DE MAGNESIO CAMBIABLE

| Componente (100 meq/100 g suelo) | Interpretación |
|---|-----------------------|
| 0.0 - 0.6 | Muy Bajo |
| 0.6 - 1.5 | Bajo |
| 1.5 - 2.5 | Normal |
| 2.5 - 4.0 | Alto |
| >4.0 | Muy Alto |

Fuente: Rioja Molina, A. (2002). Apuntes de fitotecnia general. E.U.I.T.A. Ciudad Real.

ANEXO 26. INTERPRETACION DE POTASIO CAMBIABLE

| Componente (100 meq/100 g suelo) | Interpretación |
|---|-----------------------|
| 0.00 – 0.30 | Muy Bajo |
| 0.30 – 0.60 | Bajo |
| 0.60 – 0.90 | Normal |
| 0.90 – 1.50 | Alto |
| >1.50 | Muy Alto |

Fuente: Rioja Molina, A. (2002). Apuntes de fitotecnia general. E.U.I.T.A. Ciudad Real.

ANEXO 27. INTERPRETACION DE SODIO CAMBIABLE

| Componente (100 meq/100 g suelo) | Interpretación |
|---|-----------------------|
| 0.0 – 0.3 | Muy Bajo |
| 0.3 – 0.6 | Bajo |
| 0.6 – 1.0 | Normal |
| 1.0 – 1.5 | Alto |
| >1.5 | Muy Alto |

Fuente: Rioja Molina, A. (2002). Apuntes de fitotecnia general. E.U.I.T.A. Ciudad Real.

ANEXO 28. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SUELO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL
N° 921 - Cusco - Perú
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- RECTORADO
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- CIUDAD UNIVERSITARIA
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- LOCAL CENTRAL
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- MUSEO INKA
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SUELO

MUESTRA : Suelo
PROCEDENCIA : Q'eqo-Pfullpuri Puente de Ccoyo y
Uscamarca
PROVINCIA : Chumbivilcas
DEPARTAMENTO : CUSCO
SOLICITANTE : Bach. Victor Vallejos Mendoza
FECHA DE INICIO : Cusco, 25 de Junio de 2015
FECHA DE CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS: Cusco, 04 de Julio de 2015

Muestra 1: Cultivo de papa nativa (emergencia)

Muestra 2: Cultivo de papa nativa (floración)

Muestra 3: Cultivo de papa nativa (madurez fisiológica)

RESULTADOS:

| No | Numeración de Mesofilos Viabiles ufc/g. | Numeración de Hongos ufc/g. |
|----|--|-----------------------------|
| M1 | 18 x 10 ² | 06 x 10 ² |
| M2 | 10 x 10 ² | 15 x 10 ² |
| M3 | 11 x 10 ² | 12 x 10 ² |

METODOLOGÍA:

Se siguió la metodología recomendada por García Trejo (Microbiología de suelos, División de Ciencias Biológicas y de la Salud)

CONCLUSIÓN:

Las muestras de tierras analizadas de acuerdo a las Normas Sanitarias que establecen los criterios microbiológicos de calidad, presentan bacterias aerobios Mesófilos viables así como hongos que son microorganismos ambientales. También se encontró gran variedad y número de microorganismos que habitan normalmente el suelo.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Dra. Helvy Y. Espinoza Carrasco
DOCENTE DEL AREA DE MICROBIOLOGIA Y PARASITOLOGIA

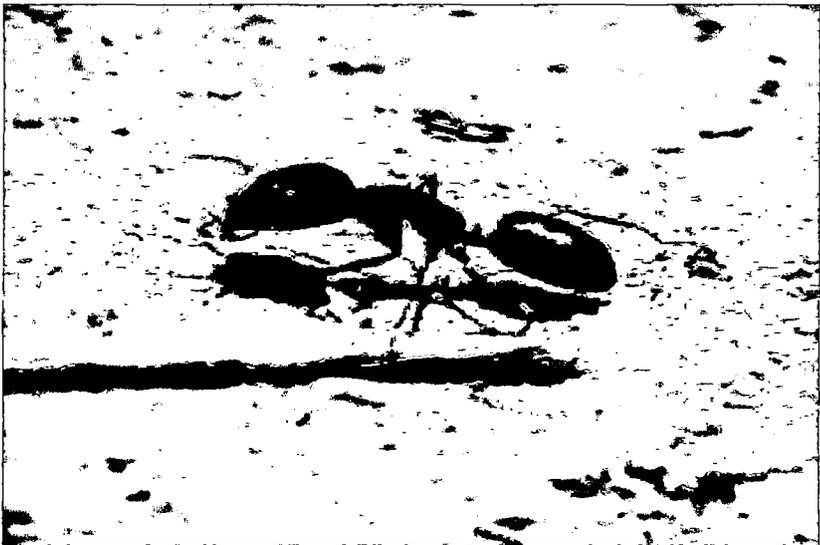
Responsable del Laboratorio

C. GALERIA DE IMÁGENES

Aneelidae



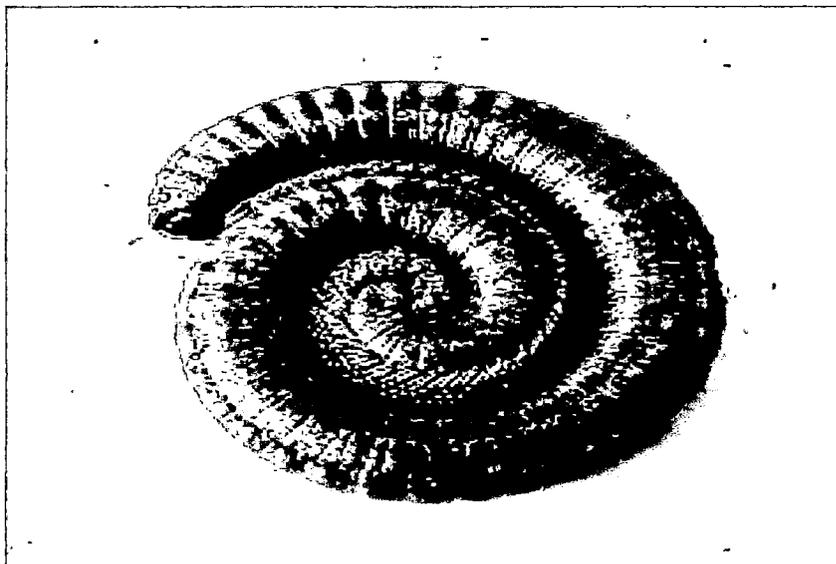
Formicidae



Miriápodos



Miriápodos



D. OTRAS FOTOGRAFÍAS

Fotografía 20. Paisaje de Santo Tomás

