

# **CAPITULO I**

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.MARCO CONCEPTUAL

#### 1.1.1. Definición de suelo

Tal como lo establece la Política para la gestión sostenible del suelo, es un “componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta” (MADS, 2015).

#### 1.1.2. Degradación de suelos:

Siguiendo con lo planteado en la Política para la gestión sostenible del suelo, la degradación es “el resultado de la interacción de factores naturales y antrópicos que activan y desencadenan procesos que generan cambios negativos en las propiedades del suelo”. Entre los tres tipos de degradación establecidos por este referente nacional (física, química y biológica), la salinización corresponde al segundo.

#### 1.1.3. Salinidad del suelo

Suelos cuya concentración de sales en su perfil produce la disminución y pérdida de su capacidad productiva, por el efecto adverso en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Para el estudio de la salinidad, los suelos se clasifican en salinos, sódicos y salino – sódicos.

##### a) Suelos salinos:

Se definen como los que contienen en la zona radicular una cantidad de sales disueltas en la solución del suelo (elevada Conductividad Eléctrica - CE) suficientemente alta para restringir el desarrollo de los cultivos. La reacción de estos suelos va de neutra a ligeramente alcalina. El pH puede variar entre 7 y menos de 8,5. El PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) se mantiene por debajo de 7, por lo que la estructura no se ve afectada.

##### b) Suelos sódicos:

Se definen como los que contienen en la zona radicular suficiente sodio adsorbido por el complejo de cambio para desarrollar propiedades físicas y químicas

desfavorables, restringiendo el normal crecimiento de las plantas. La reacción de estos suelos varía según el PSI y la presencia o ausencia de  $\text{CO}_3^{2-}$ ; ó  $\text{CO}_3$ . El pH va desde 8 hasta más de 9,5. El contenido en sales de estos suelos es generalmente bajo ( $\text{CE} < 2 \text{ mmhos/cm}$ ).

**c) Suelos salinos sódicos:**

Son aquellos que contienen una cantidad de sales solubles, (medidas por la CE), y un PSI suficientes para restringir el crecimiento de las plantas. Como límite se adoptan:  $\text{CE} > 2 \text{ mmhos/cm}$  y  $\text{PSI} > 7$ . La reacción de estos suelos varía con su grado de salinidad, y con la presencia de  $\text{CO}_3^{2-}$ ; ó  $\text{CO}_3$ .

**1.1.4. Origen de las sales**

Las sales en el suelo pueden presentar diversos orígenes, según Navarro (2013), la fuente principal son los minerales primarios presentes en la superficie terrestre gracias a los procesos de erosión química, los cuales permiten que los constituyentes de la sal sean liberados y se hagan solubles, permitiendo su transporte a través de corrientes superficiales y subterráneas. Asimismo, otro factor que da origen a las sales es el antrópico, debido al manejo inadecuado del agua y del suelo.

De otro lado, Badía (1992), asocia la existencia de las sales solubles en la corteza, no sólo a una causa antrópica, sino también a un origen marino o litológico, al margen de las causas climatológicas y geomorfológicas. Ello se debe a que en zonas cercanas al litoral el transporte de sales es cíclico (del mar al suelo) permitiendo que la presencia de sales se acentúe, mientras que en algunos suelos el material sedimentado es de origen marino.

**1.1.5. Salinidad de suelos**

Se define como la concentración de sales totales en el suelo (se incluyen las sales en solución, intercambiables y poco solubles). El estado de salinidad de un suelo no indica por sí solo su origen, es decir, si es natural (primario o secundario) o antrópico. La medición de la salinidad se realiza con la conductividad eléctrica (CE) y sus relaciones con el contenido de bases intercambiables (Na, K, Ca, Mg) y de aniones.

### **1.1.6. Salinización de suelos**

Corresponde al proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales en el suelo, es decir, al incremento de la salinidad. Por lo general, el aumento de sales en el suelo y en concentraciones elevadas afecta las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos y sus servicios ecosistémicos, entre ellos el desarrollo de las plantas, especialmente de cultivos y la biota edáfica. En consecuencia, se considera como un proceso de degradación de suelos.

### **1.1.7. Alcalinidad:**

Se define como la concentración de iones  $\text{OH}^-$ , mientras que la acidez se refiere a la concentración de iones  $\text{H}^+$ . La alcalinidad se determina según el pH elevado en los suelos (Brady & Weil, 2002).

### **1.1.8. Causas de la salinización en los suelos:**

#### **a) Salinidad natural**

La salinidad natural del suelo > fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez > presencia de materiales originales ricos en sales, como sucede con ciertas rocas.

#### **b) Salinidad secundaria del suelo**

Origen antrópico: considerada como una salinización secundaria, muchas actividades humanas ejercen un gran impacto sobre la naturaleza, teniendo la agricultura una particular importancia.

La irrigación, una de las prácticas más antiguas de la agricultura, ha conducido a resultados favorables y desfavorables; entre los causantes principales de resultados desfavorables esta la salinización, que por su inducción antrópica es denominada salinización secundaria (SZABOLCS, 1979).

### **1.1.9. Cationes y aniones solubles**

Cuando se analizan los suelos salinos y sódicos para determinar cationes o aniones solubles, el objetivo principal es el de establecer la composición de las sales solubles presentes. La determinación de los cationes solubles proporciona una cuantificación precisa del contenido total de sales, así como de cationes y otras propiedades de soluciones salinas como

conductividad eléctrica y presión osmótica. Las concentraciones relativas de los diversos cationes en los extractos de agua del suelo también dan información sobre la composición de los cationes intercambiables del suelo.

Los cationes y aniones solubles que generalmente se determinan en los suelos salinos y alcalinos, son: calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, aunque a veces se determinan también nitratos y silicatos solubles. Al hacer un análisis completo, si la suma de los cationes expresada en equivalentes sobrepasa a la de los aniones, conviene determinar nitratos. En los suelos sódicos con pH alto se encuentran altas concentraciones de silicatos solubles; por lo tanto, en los análisis efectuados por los métodos usuales, todo el silicato soluble que se encuentre deberá determinarse como carbonato. (FAO, 1990).

#### **1.1.10. Parámetros químicos**

##### **a) Potasio**

El contenido medio de potasio presente en la corteza terrestre asciende a 2,5% (Fassbender H.W. 1978). Mientras que potasio total en los suelos varía entre 0,5 y 4% (Thompson y Troeh, 2002) La menor o mayor riqueza dependerá del material parental y el grado de meteorización sufrido. También tiene influencia la textura de los suelos. Predominio de fracciones arcillosas son más ricas que las arenosas, aunque su contenido variara en función de la intensidad de las pérdidas por extracción del cultivo, lavado y erosión. El potasio interviene en la regulación del potencial osmótico de las células vegetales, en enzimas implicadas en la respiración y fotosíntesis (Taiz y Zeiger 2006) Es absorbido por la planta como ion  $K^+$  y también directamente desde la superficie del coloide (Pellegrini, 2017).

##### **b) Calcio**

El  $Ca^{+2}$  contribuye a la fertilidad del suelo ya que desplaza al hidrógeno ( $H^+$ ) presente en la superficie de las partículas de arcilla, disminuyendo la acidez. Además, el  $Ca^{+2}$  mejora la absorción de otros nutrientes por las raíces, así como su traslocación en la planta. Las elevadas concentraciones en la solución del suelo son la causa de antagonismos, por ejemplo, con el sodio.

Pero en suelos muy meteorizados del trópico húmedo los contenidos varían entre 0,1 y 0,03 % de Ca, independientemente de la textura (Kass 1998). El contenido en los suelos está relacionado con la riqueza del material parental y el grado de meteorización sufrido por los mismos.

Proveen de Ca al suelo la anortita, mineral perteneciente a la serie de las plagioclasas feldespáticas es una de las principales fuentes de calcio del suelo junto con la augita de los piroxenos y la hornblenda de los anfíboles. También son fuente las diferentes apatitas. Dentro de los minerales secundarios son fuentes de calcio las formas carbonadas tales como la calcita o caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) y la dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). En zonas áridas puede presentarse acumulación de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

El calcio es un nutriente esencial para las plantas, interviene entre otros procesos en el alargamiento celular, en la regulación estomática, forma parte de la estructura de la pared de las células y afecta la calidad de las frutas. Es absorbido por las plantas como ion  $\text{Ca}^{+2}$  y en menos proporción mediante intercambio directo entre los pelos radicales y el complejo coloidal al que se encuentra adsorbido. Las leguminosas son plantas que demandan mucho más calcio de la solución del suelo para el proceso de nodulación. Debido a la interacción entre calcio, potasio y magnesio, su velocidad de absorción puede disminuir cuando hay altas concentraciones de potasio y/o magnesio en la solución del suelo (Kass 1998)(Pellegrini, 2017).

### **c) Magnesio**

El contenido medio de magnesio presente en la corteza terrestre asciende a 2,07 % (Mengel y Kirkby, 2000). Los suelos no calcáreos, poseen por lo general entre 0,1 y 1, %. El contenido en los suelos está relacionado con la riqueza del material parental y el grado de meteorización sufrido.

Dentro de los minerales secundarios son fuentes clorita, verniculita, y las formas carbonadas tales como la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) y la dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). En zonas áridas puede presentarse acumulación en forma de sulfato ( $\text{MgSO}_4$ ), aunque esta sal es mucho más soluble que el yeso. En las plantas el Mg es constituyente esencial de la molécula de clorofila. La clorofila es el pigmento que da a las plantas su color verde y lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis es absorbido por las plantas como ion  $\text{Mg}^{+2}$ .(Pellegrini, 2017).

#### **d) Sodio**

El sodio se encuentra en el suelo en estado combinado y principalmente en forma de sales, en regiones de clima húmedo y semihúmedo presenta bajo contenido de sodio, debido a su baja energía de absorción puede ser fácilmente lixiviado a horizontes profundos del suelo por las lluvias, del mismo modo los iones de sodio son menos fijados por los minerales arcillosos que los iones de potasio, sin embargo, niveles elevados de sodio pueden desplazar al calcio y al potasio, deteriorando la estructura del suelo.

Por el contrario en regiones áridas y semiáridas se presenta a menudo la acumulación de  $\text{Na}^+$  en la superficie de los suelos debido al incremento de la evaporación conduce al agua del nivel freático hacia la superficie. Estas condiciones conducen a un deterioro de la estructura del suelo que repercute negativamente en las reservas de agua y de aire en el suelo.

Las arcillas saturadas en  $\text{Na}^+$  tiene como propiedad particular que en presencia de agua de lluvia y con  $\text{CO}_2$  disueltos se hidrolizan liberando  $\text{Na}^+$  y  $\text{OH}^-$  que rápidamente alcalinizan el medio alcanzando valores de pH 9,10 incluso más. (K+S, s.f.)

#### **e) Porcentaje de sodio intercambiable**

El PSI porcentaje de sodio intercambiable se define como la cantidad de sodio absorbido por las partículas del suelo, expresado en CIC.

$$\text{PSI} = \frac{\text{Na intercambiable (meq/100gr de suelo)}}{\text{CIC (meq/100gr de suelo)}}$$

Técnicamente hablando, los suelos tienen un valor límite PSI (porcentaje de sodio intercambiable). Mayor de 15 se clasifica como suelo sódico.

#### **f) Conductividad eléctrica**

La salinidad de un suelo o agua, se refiere a la cantidad de sales presentes en solución, y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE). El valor de CE es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. Es importante considerar que todos los fertilizantes inorgánicos son sales y por lo mismo tienen un efecto directo sobre la CE. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento.

Considerando que la CE del suelo es una medida indirecta de la concentración de sales en el suelo, su determinación permite valorar el estado nutricional del cultivo o su posible estrés cuando la salinidad del suelo excede los niveles de tolerancia de la especie vegetal involucrada.

Una CE entre 0 y 1 indica que el suelo contiene una concentración de sales muy baja, lo que significa que no se han suministrado suficientes minerales esenciales para el correcto desarrollo del cultivo y su posterior rendimiento.

#### **g) Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH es la capacidad de un suelo para intercambiar iones positivos y negativos, actividad que regula la mineralización, proceso por el cual la materia orgánica deviene en elementos minerales asimilables por la planta. El valor de PH aceptable se sitúa entre 6,5 - 7,2. A medida que nos alejamos de estos valores, la movilización de algunos elementos se ven reducidas, afectando la nutrición vegetal y provocando una merma en la producción. La manera más habitual de normalizar estos valores es mediante la utilización de "enmiendas edáficas".

#### **1.1.11. Cultivos**

Los cultivos son plantas que se siembran por su valor económico. La información sobre el tipo de cultivo(s) es importante porque da una idea de la naturaleza de la alteración del suelo como resultado de las prácticas de manejo, así como de los requerimientos de nutrientes y manejo de suelos por parte de estos. (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (FAO 2009).

#### **1.1.12. Veta**

Depósito mineral tabular, normalmente discordante con las rocas encajadoras, producto de mineralización controlada por fallas o fracturas en rocas. La veta puede ser de relleno en el plano o zona de falla, de reemplazo o una combinación de relleno y reemplazo metasomático.

#### **1.1.13. Obtención de sal**

La sal se obtiene de dos fuentes principales, se extrae en estado sólido de los yacimientos de sal gema que se encuentran a poca profundidad e incluso a la superficie, las rocas salinas se forman en regiones áridas y secas.

Por otro lado, aproximadamente la tercera parte de sal se obtiene directamente del agua del mar, colocando el agua en balsas planas de poca profundidad, el agua se evapora en unos pocos días y deja la sal solidificada en el fondo, la cual se recoge y se refina para su uso. Esta técnica ha sido empleada durante siglos por el hombre explotando las salinas costeras.

#### **1.1.14. Sal en roca**

La sal de roca, halita o sal gema es un mineral sedimentario, el cual se puede formar por la evaporación de agua salada, en depósitos sedimentarios y domos salinos. Está asociada con silvita, carnalita y otros minerales. Su composición química es cloruro de sodio.

### **1.2.MARCO TEÓRICO**

#### **1.2.1. Efecto de la salinidad en el suelo y cultivos**

Cuando las sales se acumulan en la zona radicular de los cultivos y la concentración es tal que ocasiona pérdidas en la producción se tiene un problema de salinidad. El rendimiento de los cultivos disminuye cuando el contenido de sales en la solución del suelo es tal que no permiten que los cultivos extraigan suficiente agua de la zona radicular, provocando así un estado de escasez de agua en las plantas.

Si la extracción de agua por las raíces se reduce considerablemente, las plantas disminuyen su crecimiento y llegan a presentar síntomas similares a los provocados por una sequía. Estos síntomas varían con los estados fenológicos de los cultivos, siendo más notable durante las primeras etapas del crecimiento.

Los efectos de las altas concentraciones de sales en los cultivos provocan un retraso en su crecimiento (achaparramiento con una variabilidad considerable en su tamaño) y diferentes decoloraciones. Las tonalidades que se presentan bajo condiciones de alta salinidad son verde azuladas. También, se observan manchones sin plantas, sin embargo, estas características no son determinantes como indicadores de salinidad. La extensión y frecuencia de manchones desnudos en muchas áreas, se pueden tomar como un indicador debido a que la mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación que, en las últimas etapas de su desarrollo, los manchones son más bien indicadores de salinidad alrededor de la semilla, durante su germinación, que del estado general de salinidad del de concentración de sales.

Debido a que la mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación que, en las últimas etapas de su desarrollo, los manchones son más bien indicadores de salinidad alrededor de la semilla, durante su germinación, que del estado general de salinidad del perfil del suelo. Frecuentemente, las prácticas de cultivo contribuyen a la acumulación de sales alrededor de la semilla, con la consiguiente falla en su germinación. El vigor de las plantas adyacentes a los manchones puede dar idea de la distribución de las sales en el suelo.

### **1.2.2. Mejoramiento de suelos sódicos**

En el caso de suelos sódicos el proceso de mejoramiento puede llevar años si la estructura del suelo fue dañada, por lo que se debe controlar continuamente la composición de las sales del suelo cuando existe peligro de sodificación.

Los medios que se emplean para la enmienda de suelos sódicos son físicos y químicos y están encaminados a mejorar la estructura del suelo. Generalmente se deben combinar dos o más de los siguientes métodos:

- Siembra de pastos tolerantes para mejorar la capacidad de infiltración.
- Asegurar drenaje apropiado, también subterráneo si es necesario.
- Aplicaciones de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo.
- Aplicaciones de azufre para reducir el pH.
- Aplicación de yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) para intercambiar el  $\text{Na}^+$  por el  $\text{Ca}^{2+}$ . Flores (1991).

### **1.2.3. Alternativas de recuperación de los suelos**

Si bien la salinización es catalogada como perjudicial para el suelo, no todo es negativo en este proceso, ya que no sólo existen cultivos adaptados para sobrevivir a estas condiciones, sino también se han planteado una serie de medidas de mitigación y control.

De acuerdo a Flores (1991) existen diversas técnicas para mejorar y recuperar el suelo, éstas son: métodos físicos y biológicos; técnicas eléctricas; y, métodos químicos y lavado del suelo (método hidrotécnico).

### **1.2.4. Características de los suelos salinos**

El material de origen, las condiciones climatológicas y el manejo son determinantes en el tipo y cantidad de compuesto químicos predominantes en un suelo, en los suelos de zonas

tropicales predominan los compuestos de fierro, aluminio y silicio (23 al 100 %), pero también son frecuentes los compuestos de manganeso, calcio, magnesio, potasio, sodio y fósforo, en cantidades que varían de 0.01 al 15% del elemento expresado como óxido. En zonas templadas los elementos más abundantes son el silicio, aluminio y fierro, con 60 al 95%, 2 al 20% y 0.5 al 10%, respectivamente. En menor cantidad, se encuentran el potasio, calcio, sodio, titanio, magnesio, manganeso y fósforo, que en orden decreciente varía de 0.005 a 4% del elemento expresado como óxido. En zona semiáridas se puede encontrar más del 50% de carbonato de calcio libre.

Cuando se cambia el régimen hídrico de un suelo en forma artificial se propicia un cambio en la concentración de sus constituyentes químicos a tal grado que un suelo normal puede transformarse en salino, incluso puede llegarse a cambiar su estructura dando origen a los suelos sódicos.

En los suelos salinos los aniones dominantes son los cloruros, sulfatos y carbonatos; algunas veces también los nitratos. Las sales que más comúnmente se presentan son las de sodio y también son frecuentes las de calcio y magnesio; no son excepcionales las mezclas de diferentes sales y la presencia de minerales complejos.

En el caso de suelos no salinos, en general contienen principalmente sales de calcio. Existe una relación entre los cationes presentes en la solución del suelo y los que de forma intercambiable están ligados a las partículas de arcilla. En suelos normales, se tiene una predominancia del 80% o más del calcio de los cationes intercambiables; los restantes cationes intercambiables de mayor importancia son, generalmente, magnesio, potasio y sodio; el porcentaje en que este último se presenta, se mantiene por debajo del 5% (a menudo incluso por debajo del 1%) del total de cationes.

La solución del suelo en los suelos salinos, además de ser mucho más concentrada, presenta diferentes tipos de sales que en el caso de los no-salinos. Esto significa que los cationes adsorbidos en la superficie de las partículas de arcilla lo están en proporciones diferentes.

La salinidad de los suelos varía ampliamente, tanto horizontal como verticalmente debido a pequeñas diferencias en su composición, permeabilidad, desarrollo de plantas, entre otros.

### **a) Métodos químicos**

Este método puede ser usado tanto en suelos sódicos como en salino-sódicos. Lo que se hace es aplicar un mejorador químico para desplazar el sodio intercambiable y reemplazarlo por calcio. Las sustancias usadas pueden ser sales con calcio (yeso) o materiales acidificantes como fertilizantes nitrogenados de reacción ácida o materia orgánica (Badía, 1992).

- **Materia orgánica**

Este factor contribuye al mantenimiento de la estructura del suelo, ya que tiene influencia en el comportamiento del agua en el suelo, incrementando la capacidad de retención de la misma y facilitando su movimiento a través del perfil. En los suelos salinos, este efecto es de vital importancia, mientras que en los suelos sódicos es necesario tener precauciones con la aplicación de la materia orgánica, pues bajo ciertas condiciones la producción de ácidos húmicos (humificación) puede dar origen a la formación de complejos con el sodio contribuyendo a la dispersión de las arcillas (García, 2003).

- **Yeso**

El yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) es usado como fuente de calcio para desplazar el sodio del complejo de cambio, con resultados variables. La aplicación superficial, si bien mejora la velocidad de infiltración y recupera el suelo, es un proceso muy lento debido a la baja movilidad del yeso en el suelo. También puede añadirse con el agua de riego obteniendo buenos resultados. Por otro lado, los suelos sódicos pueden ser recuperados rápidamente mediante aplicaciones sucesivas de diluciones de aguas altamente salinas que contengan calcio y magnesio. Ali (2001).

- **Azufre**

Es una enmienda química empleada para mejorar suelos sódicos. Sin embargo, el suelo debe contener carbonatos de calcio para que reaccione con el ácido sulfúrico y se forme el sulfato de calcio, que posteriormente interactúa con el suelo, dando paso al intercambio de calcio por sodio. Este proceso tiende a ser lento, por lo que estos suelos no deben ser lavados hasta después de cierto tiempo, para facilitar la oxidación del azufre. Además, el suelo debe mantenerse húmedo con la finalidad de disminuir su acidez (Makoiet *al.*, 2010).

- **Ácido sulfúrico**

A diferencia del azufre, este mejorador posee mayor eficiencia, pero su uso es catalogado como peligroso. Para su empleo, el suelo debe contener carbonatos de calcio para favorecer la formación de sulfatos de calcio; de lo contrario, puede originarse una acidez excesiva del suelo.

- **Caliza**

Es un mejorador químico que puede existir en forma natural en el propio suelo. Para que el uso de la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) sea eficiente depende de su solubilidad, que por lo general es baja, pero se incrementa con la presencia de  $\text{CO}_2$ , propiciando la formación de bicarbonato de calcio y la disminución del pH. Su empleo es ideal para suelos con un pH menor a 7.5 y con ausencia de carbonatos. (Saneokaet *al.*, 1995).

### **1.2.5. Selección y manejo del cultivo para la recuperación de suelos**

El mejoramiento de los suelos se lleva a cabo cuando se trata de una parcela cultivada que presenta una CE que generalmente varía entre 4 dS/m y 16 dS/m. Para este caso, se seleccionan un cultivo como cebada, trigo, avena, sorgo, arroz, maíz o algodón.

La rehabilitación de los suelos consiste en reincorporar al proceso productivo mediante lavados, una parcela abandonada por problemas severos de salinidad (CE generalmente mucho mayor de 20 dS/m).

En algunos casos el proceso de rehabilitación se puede complementar y hacer más eficiente, introduciendo durante su desarrollo (cuando la CE es de alrededor de 20 dS/m), un cultivo que reúna los siguientes requisitos:

- Debe ser tolerante a las sales.
- Debe ser de alta densidad y regarse por inundación, preferentemente en curvas a nivel.
- Tener un bajo costo de producción.

Ser preferentemente de la región. Los cultivos más utilizados que cumplen con estas condiciones son: cebada, trigo, arroz y avena. Para el manejo del cultivo durante el proceso de mejoramiento o rehabilitación se recomienda lo siguiente:

- Incrementar la densidad de siembra.
- Aplicar un riego de pre-siembra pesado.
- Incrementar el número de riegos disminuyendo el intervalo de riego.
- Fertilizar durante los riegos de auxilio.

### **1.2.6. Determinación de las sales en el suelo**

Las sales solubles en los suelos se determinan por varios métodos como: residuo seco, cuantificación química y conductividad eléctrica. El procedimiento de residuo seco, determina la cantidad de sales por medio de la evaporación, consiste en tomar una muestra del extracto de saturación, se pesa, se evapora y se repite el pesado, por lo que se puede calcular la cantidad de sales expresada en peso por 100 g de suelo, este procedimiento realiza una medición y no una estimación de las sales. La cuantificación química se basa en la determinación de los cationes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$ , y aniones:  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  y  $\text{SO}_4^{=}$  (Vázquez, 1984).

### **1.2.7. ¿Cómo afecta la salinidad sobre los diferentes cultivos maíz y maní?**

El maíz es muy sensible a la salinidad, con una pérdida de 10% de rendimiento en los suelos en que la conductividad eléctrica supera 2,5 mS/cm. El umbral para la reducción del crecimiento se estima en cerca de 1,7 mS/cm (Cramer, 1994). Se considera que la salinidad afecta un área reducida -5%- de los maíces tropicales cuando se la compara con otros estreses abióticos, y ocurre por lo general en zonas irrigadas.

El primer síntoma de estrés de salinidad es el marchitamiento porque el cultivo sufre una sequía fisiológica ya que el agua no se puede mover del suelo a las raíces contra el gradiente de potencial osmótico. La salinidad también reduce la conductividad hidráulica de las raíces y un daño duradero puede originarse debido a la acumulación en la planta de niveles tóxicos de ciertos iones, si bien la existencia de efectos tóxicos de iones específicos más que un efecto general de los solutos- es aún discutida (Blum, 1988; Shalhevet, 1993). Después de la exposición inicial al  $\text{ClNa}$  el calcio es desplazado de las membranas y las plantas son más sensibles a la sal cuando los niveles de calcio son bajos (Cramer, 1994). La elongación de las hojas es inmediatamente inhibida y el ácido se acumula en las zonas de crecimiento de las hojas; no parece haber un efecto directo de la sal sobre la fotosíntesis a los niveles de

inhibición de la expansión de las hojas. Al pasar el tiempo ocurre un ajuste osmótico y la planta acumula iones de potasio, sodio y cloro. Los cultivares tolerantes a las sales tienden a acumular menos sodio, probablemente debido a las diferencias en la selectividad iónica de las membranas celulares.

Se han desarrollado líneas de maíz de zona templada casi isogénicas que difieren en las tasas de acumulación de materia seca y de expansión de las hojas bajo condiciones salinas (Saneoka *et al.*, 1995). En estas líneas, la tolerancia se ha asociado con el ajuste osmótico a través de la formación de glicinabetaína y parece haber en ellas un solo gen que permite su acumulación.

#### **1.2.8. Procesos que favorecen la salinización del suelo**

- **Agrícola:** mecanización agrícola, fertilización química, riego.
- **Pecuario:** ganadería bovina intensiva, ganadería bovina extensiva.
- **bosques, vegetación y plantaciones:** bosques y vegetación natural, bosques y vegetación natural intervenida, plantación forestal protectora y productora.
- **Minería:** subterránea, cielo abierto (Keren 2000).

## **Capítulo II**

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

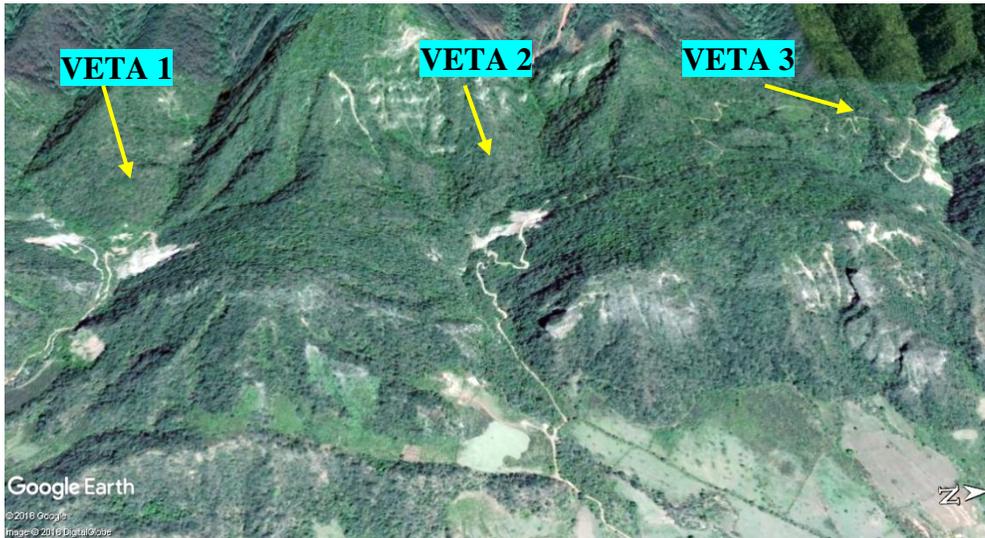
El municipio de Entre Ríos, primera y única sección de la Provincia O'Connor se encuentra ubicada en la parte central del Departamento de Tarija, en la zona denominada Sub andino, a 108km de la ciudad de Tarija. Limita al norte con del departamento de Chuquisaca, al sur con las Provincias de Arce (municipio de Padcaya) y Gran Chaco (municipio de Carapari), al este con la provincia de Gran Chaco (municipio de Carapari y Villa Montes) y al Oeste con la Provincia de Cercado.

La comunidad de Taquillos se encuentra ubicada en el municipio de Entre Ríos perteneciente al Distrito 5 de la Provincia O'Connor del Departamento de Tarija. Geográficamente la comunidad o área de estudio se ubica entre las coordenadas:

X	382693,4
Y	7633774,5

MAPA 1

MAPA DE UBICACIÓN



Fuente: Google Earth, 2018

## **2.2. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE BIOFÍSICO**

### **2.2.1. Geomorfología**

La comunidad de Taquillos presenta, paisaje geomorfológico comprende colina media a serranía baja, cubierta por un bosque ralo xeromórfico deciduo por sequía, submontano, con un relieve moderadamente escarpado, litología caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias limonita, arenisca, caliza.

Son suelos con texturas variable desde areno francos o en algunos sectores y franco arcilloso arenoso en otros, profundos a muy profundos, colores pardo rojizo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro, drenaje superficial rápido, presencia de rocosidad y pedregosidad común, pH fuertemente alcalino a fuertemente ácidos, materia orgánica débilmente a altamente descompuesta. (PDM Entre Ríos 2014-2018).

### **2.2.2. Fisiografía**

#### **a) Paisaje de Colina media con disección fuerte**

Localizado a lo largo de las comunidades de Taquillos, lajitas, El Saladito, Saldito Norte, la litología de rocas sedimentarias del tipo limonitas, arcillitas, areniscas, marga y otras, presentan un relieve moderadamente escarpado, con una disección fuerte, cubiertas por una vegetación compuesta por un bosque ralo caducifolio espinoso submontano, el rango de altura va desde los 500 a 1.500 msnm, presenta un clima templado semiárido a semihúmedo. (PDM Entre Ríos 2014-2018).

#### **b) Pluviometría**

La época de lluvias empieza en los meses de noviembre y diciembre y concluye en los meses de marzo y abril, mientras que la época seca se produce normalmente entre los meses de mayo a septiembre, existiendo algunos años excepcionales que pueden adelantarse o atrasarse a lo sumo en un mes.

Extendiéndose por el sector este hacia el noroeste del Municipio formado generalmente por paisajes de serranías, colinas medias y llanuras de piedemonte, con niveles altitudinales que

varían entre 500 a 1.500 msnm, se extiende en 164.306,8 ha de superficie (25,6 % del área total). La temperatura media anual fluctúa entre 21°C y 23°C mientras que la precipitación varía entre 500 a 800 mm (PDM Entre Ríos 2014-2018).

## **2.3. Recursos minerales**

### **2.3.1. Principales Metales y No metales**

Entre Ríos presenta un potencial para la explotación de minerales no metálicos (yeso, cal y sal) que se ubica principalmente en San Simón, Taquillos, Potrerillos, Potreros, San Josecito, Timboy, Narváez, Naranjos y San Diego.

En la serranía de San Simón, al este de Entre Ríos, se encuentran yacimientos de sal de roca que es explotado como bloques de sal para el ganado. Existe un buen mercado para este producto en Santa Cruz. (PDM Entre Ríos 2014-2018)

## **2.4. Sistemas de producción**

La principal actividad productiva dentro del Municipio de Entre Ríos es la agricultura, la mayor parte de la población tiene como base de subsistencia el consumo de los productos generados por esta actividad, en menor medida y de acuerdo a las posibilidades la producción es destinada al mercado, siendo reducida la población que destina la producción agrícola para la comercialización. (PDM Entre Ríos 2014-2018).

## **2.5. MATERIALES**

- Cámara fotográfica.
- Epp.
- Cuaderno de apuntes.
- Bolígrafo.
- Planillas de muestreos de suelos.
- Manual de descripción de suelos.
- Tablero.
- Tabla Munsell.
- Pala.
- Picota u azadón.
- Puñal.

- Flexómetro.
- Limón.
- Bolsas para toma de muestras.
- Maskin.
- Guantes.
- Hoja de caracterización de perfiles de suelo.

## **2.6. METODOLOGÍA**

Para lograr nuestro objetivo en el presente trabajo de investigación, se empleó diferentes métodos que hicieron posible la descripción, la cuantificación y análisis de los datos obtenidos en el campo y laboratorio hablamos del método descriptivo, método cuantitativo y el método analítico.

### ➤ **Método descriptivo**

El método descriptivo, busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias en un grupo o población (Hernández, 2006).

En el estudio descriptivo el propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, decir como es y se manifiesta determinado fenómeno (Zorrilla, 1986).

Por lo tanto, el presente método fue importante para lograr concretar el presente documento, ya que nos permitió describir de manera detallada y objetiva todos los aspectos importantes que se experimentaron en el desarrollo del trabajo de campo y oficina.

### ➤ **Método analítico**

El método analítico descompone una idea o un objeto de sus elementos (distinción y diferencia), y el sintético combina elementos, conexiona relaciones y forma un todo o conjunto (homogeneidad y semejanza), pero se hace aquella distinción y se constituye esta homogeneidad bajo el principio unitario que rige y preside ambas relaciones intelectuales (Montaner y Simón, 1887). Esta metodología está enfocada al análisis químico del suelo dándonos a conocer el nivel de salinidad de los suelos en las áreas de cultivos agrícolas de la zona.

Contribuye de manera significativa a través de los resultados obtenidos del análisis químico en el laboratorio de suelos, producto de las muestras enviadas. Se procedió a la interpretación del respectivo análisis de cada parámetro obtenido para la determinación del nivel de salinidad de las áreas de cultivos agrícolas

## **2.7. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

Para la determinación del nivel de salinidad del suelo se procedió a implementar y ejecutar las actividades correspondientes con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo.

### **2.7.1. Recopilación de información secundaria.**

En la primera etapa se hizo la identificación del objeto de estudio permitiendo el contexto, con el fin de revisar el marco teórico que permitió fundamentar la investigación planteada, así como la recopilación de información básica existente sobre la zona, referida a la geología, suelos, producción, recursos minerales de la provincia, etc. Para ello, fue necesario recurrir a fuentes bibliográficas digitales para indagar, consultar, recopilar, agrupar y organizar adecuadamente la información que se utilizó de la misma.

### **2.7.2. Diseño de la encuesta**

Es una técnica que en el trabajo de campo nos permitió recopilar información primaria actual, concreta y especializada en el tema y de la población, mediante la aplicación de una serie de preguntas (Ver anexo 1), que fueron diseñadas, para contar con información sobre los problemas que tienen los agricultores en sus cultivos afectados por la explotación de sal.

### **2.7.3. Etapa de campo**

#### **➤ Reconocimiento del área de estudio**

En esta etapa se hizo el reconocimiento de las condiciones del área de estudio, tales como los límites de terreno, acceso, identificación de las zonas representativas y ubicación de los puntos de muestreo

Se realizó una visita preliminar al área de estudio (veta de TAQUILLOS), donde se puede verificar que los caminos de acceso a las vetas son blancos y la tierra es más compacta, los

residuos de sal afloran, a la vista en la zona se encuentran sal ploma, blanca, cristalina y la rosada, esta última es la más apreciada y cotizada debido a su gran valor nutricional.

#### ➤ **Ubicación de los puntos muestreo**

En base a los cauces principales de las tres vetas representativas, se ubicó nueve puntos de muestreo en toda la zona de estudio, agrupando tres puntos de muestreo para cada veta respectiva, por lo cual se recorrió el predio para definir las zonas homogéneas que tengan características similares en cuanto al paisaje, tipo y crecimiento de malezas, desarrollo del cultivo y presencia de sectores salinos posteriormente se identificarán los sitios a muestrear. (ver mapa N° 2).

#### ➤ **Toma de muestra**

El muestreo es el primer paso a efectuar para realizar un análisis de suelos y es la actividad por medio de la cual se toman partes representativas de un todo llamado población, con el objeto de conocer la población total a partir del estudio de las características de cada una de esas partes. (Valencia y Hernández, 2002).

El muestreo del suelo es la primera etapa de un programa racional de evaluación de la cantidad de fertilizantes y correctivos a ser aplicadas en suelos ácidos o salinos de una propiedad agrícola, para determinado(s) cultivo(s), coherente a un buen uso y manejo del mismo. El muestreo consiste en recorrer un lote al azar, recolectando submuestras que luego son mezcladas para formar una sola muestra compuesta homogénea, la cual es enviada al laboratorio para su respectivo análisis con su previa identificación.

#### ➤ **Profundidad del muestreo**

Las muestras de suelos para cultivos anuales deben obtenerse a una profundidad de 0 a 20 cm o 0 a 30 cm de profundidad de la capa arable, ya que a estas profundidades se registran la mayor densidad y actividad de las raíces, antes de realizar el muestreo se debe eliminar aproximadamente los primeros 1 cm, retirando los rastros superficiales del mismo suelo.

### **2.8. Procedimiento de la toma de muestras para la determinación del nivel de salinidad del suelo mediante uso del barreno.**

El muestreo puede realizarse en cualquier época del año, pero es aconsejable realizarlo 60 días antes de la fertilización del suelo. Se realizó la toma de muestras de suelos ubicadas en

3 vetas, cada una de ellas cuenta con tres puntos de muestreo. A continuación, se menciona los pasos a seguir para la recolección de las muestras: (Gómez, 2013).

- ✓ Limpiar aproximadamente 15cm de la superficie del terreno con un machete en cada punto para eliminar los residuos frescos de materia orgánica, materia seca.
- ✓ Introducir el barreno haciéndolo girar hacia la derecha, a una profundidad de 0-20 cm de la capa arable.
- ✓ Retirar el barreno en forma vertical y sin girarlo, para mantener la muestra.
- ✓ Depositar la muestra del suelo en un balde plástico limpio. Repetir la operación hasta obtener un 1kg de muestra de suelo, evitar tocar la muestra con la mano, se debe utilizar guantes.
- ✓ Cuando se recolecte la cantidad deseada de suelo, poner la muestra en una bolsa negra platica, colocar la identificación y sellarla de manera segura.
- ✓ llevar la bolsa con la muestra de suelo y su respectiva rotulación al laboratorio.

## **2.9. Análisis químico de laboratorio**

Se realizó el análisis químico de las muestras (Ver anexo 4), con la finalidad de conocer las características de conductividad eléctrica (C.E), porcentaje de sodio intercambiable (PSI), potencial de hidrogeno (pH), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg). y sodio (Na).

## **2.10. Perfil del suelo**

Se hace la observación del perfil de suelo (los horizontes de suelo) con la finalidad de determinar si existe presencia de sal, por la continuidad de la roca o ya sea por procesos de lixiviación o bien por evapotranspiración, que podían estar presentes en la superficie del suelo, las calicatas fueron situadas en tres puntos representativos siendo estas: VETA 2 (P1M2, P1M3) y en la VETA 3 (PIMI).

### **2.10.1. Procedimiento para la descripción de perfiles de suelo.**

- Se realizó la limpieza del área.
- Se toma las dimensiones del área de excavado correspondiente a 1m<sup>2</sup>.
- Se lleva adelante la excavación de 1m de profundidad basados en los aspectos como: color, textura, estructura, consistencia, contenido de raíces, presencia de fragmentos

gruesos, se delimito los horizontes, en este estudio el primer horizonte tiene mayor importancia.

### **2.11. Etapa de gabinete**

Involucra lo siguiente:

- Interpretación de encuestas
- Interpretación de los resultados de laboratorio
- Elaboración del documento final.

## **Capítulo III**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. RESULTADO DE LAS ENCUESTAS

A continuación, se presenta los resultados que se han obtenido de las encuestas hechas a los comunarios, según el siguiente cuestionario:

- a) ¿Cuál es el cultivo de mayor importancia?
- b) ¿En qué poca siembra sus cultivos?
- c) ¿Utiliza fertilizantes?
- d) ¿Hace rotación de sus cultivos?
- e) ¿El rendimiento de sus cultivos son iguales que hace 20 años?

#### CUADRO N°1

#### ¿CUÁL ES EL CULTIVO DE MAYOR IMPORTANCIA?

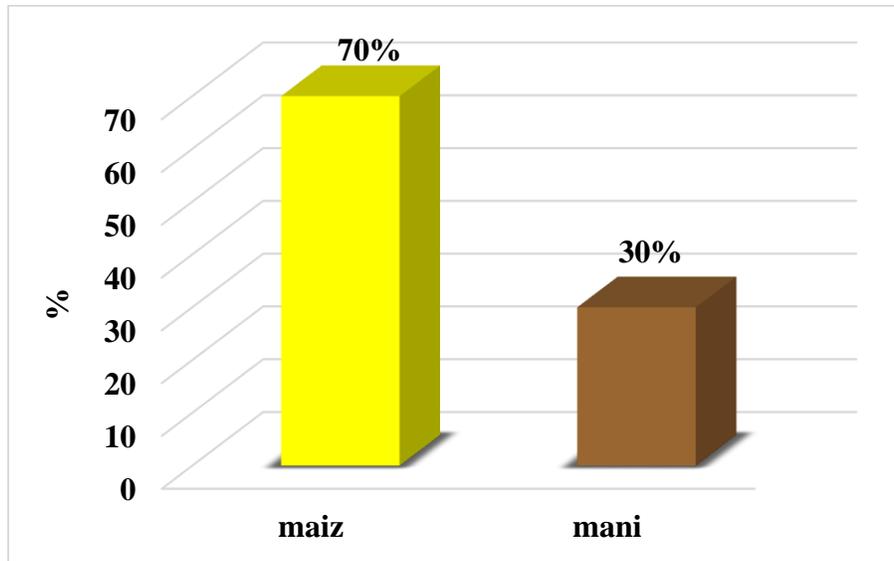
PREGUNTA	PERSONAS ENCUESTADAS		
	ítem	Cantidad	%
N° 1	Maíz	28	70
	Maní	12	30
TOTAL		40	100

**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

La principal actividad productiva dentro del Municipio de Entre Ríos es la agricultura, la mayor parte de la población tiene como base de subsistencia el consumo de los productos generados por esta actividad, la producción y variedades de productos dependen de las características agroclimáticas de cada zona se observa como dominancia el cultivo del maíz en todo el municipio de Entre Ríos.

## GRÁFICA N° 1

### ¿CUÁL ES EL CULTIVO DE MAYOR IMPORTANCIA?



**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

En la zona de estudio, la siembra del maíz se realiza de manera tradicional y a temporal, el segundo en importancia es el maní, de acuerdo a las encuestas realizadas, y como se observa en el cuadro 1 y grafica 1, podemos ver que se presenta un 70% de cultivos del maíz y tan solo 30% del maní, ubicando al maíz como el cultivo principal de la comunidad. La dominancia del mismo es debido a que las condiciones edafoclimáticas son más favorables para este cultivo.

La siembra del maíz y del maní siendo esta última, una planta leguminosa no deja de ser importante para su producción, ambos cultivos presentan un factor de gran importancia socioeconómica para la comunidad de Taquillos debido al que los productores dependen de estas siembras para su ingreso.

## CUADRO N° 2

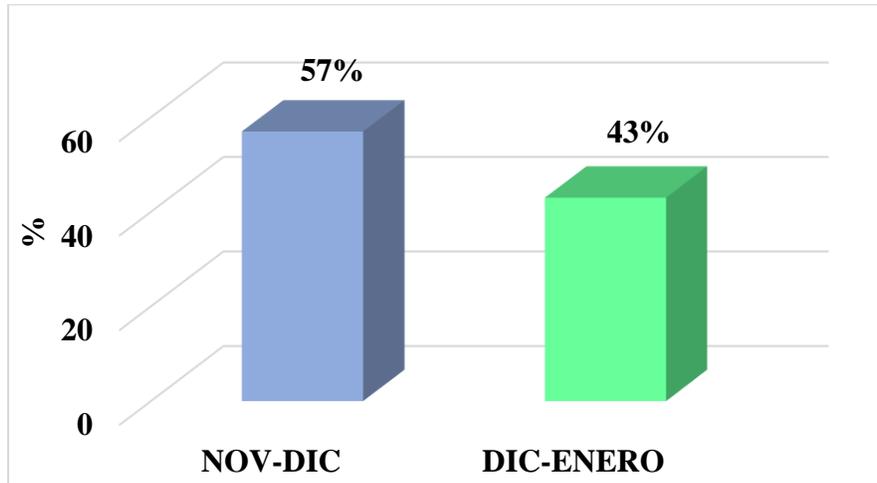
### ¿EN QUE ÉPOCA SIEMBRA SUS CULTIVOS?

PREGUNTA	PERSONAS ENCUESTADAS		
	ítem	Cantidad	%
N°2	Nov-Dic	23	57
	Dic- Ene	17	43
TOTAL		40	100

Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta, 2017

## GRÁFICA N° 2

### ¿EN QUE ÉPOCA SIEMBRA SUS CULTIVOS?



Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

De acuerdo al cuadro 2 y gráfica 2, se puede observar que la época de mayor incidencia de siembras se encuentra entre los meses de Noviembre – Diciembre con un 57% entre los comunarios, mientras que en los meses diciembre-enero un 43% de los comunarios tienden

a sembrar, la elección de una determinada época de siembra se debe a la variación de precipitaciones que va de 500 a 800mm en la zona de estudio.

### CUADRO N° 3

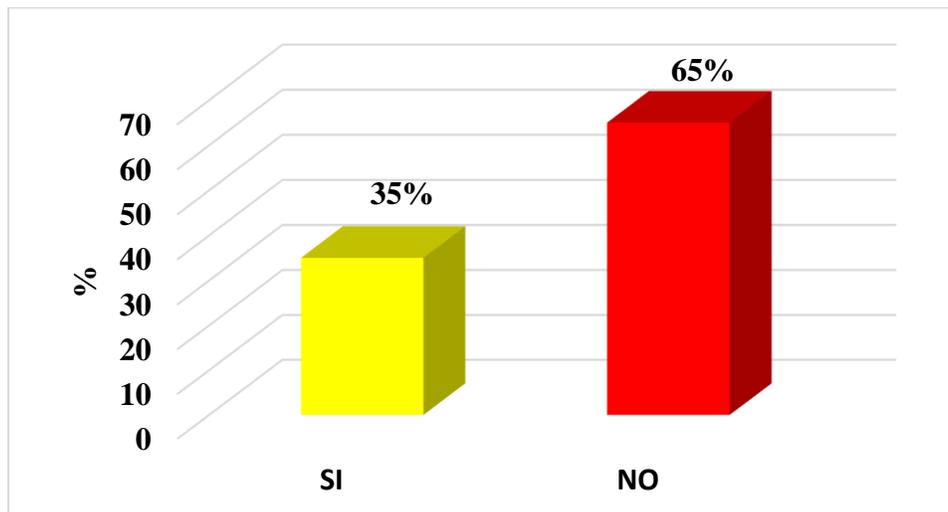
#### ¿UTILIZA FERTILIZANTES?

PREGUNTA	PERSONAS ENCUESTADAS		
	ítem	Cantidad	%
N°3	SI	14	35
	NO	26	65
TOTAL		40	100

Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

### GRÁFICA N° 3

#### ¿UTILIZA FERTILIZANTES?



Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

Según los datos obtenidos de la encuesta el, cuadro 3 y grafica 3, se tiene un porcentaje de 65% de la población encuestada que indican, que no hacen el uso de fertilizantes químicos

sintéticos para sus siembras, por lo cual usan como fuentes disponibles los nutrientes de estiércol de vaca, cerdos, pollos desperdicios vegetales, restos de maíz y otros materiales orgánicos naturales.

Por otro lado, tenemos un 35%, de los productores que afirman el uso de los fertilizantes químicos para facilitar el crecimiento de sus cultivos y tener mejores cosechas, por lo cual si continúan con el uso de fertilizantes se podría inducir a la salinización de su suelo.

#### CUADRO N° 4

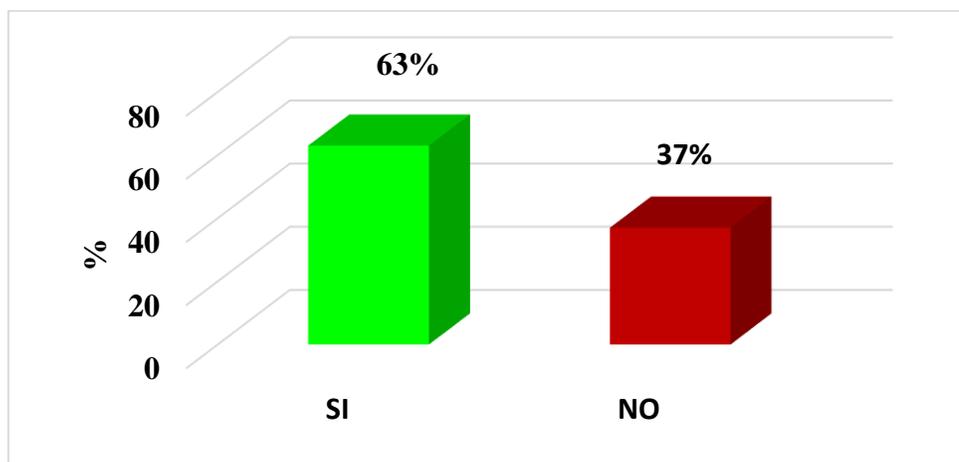
#### ¿HACE ROTACIÓN DE CULTIVOS?

PREGUNTA	PERSONAS ENCUESTADAS		
	ítem	Cantidad	%
N°4	SI	25	63
	NO	15	37
TOTAL		40	100

**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017

#### GRÁFICA N° 4

#### ¿HACE ROTACIÓN DE CULTIVOS?



**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

Tomando en cuenta los datos representados en el cuadro 4 y la gráfica 4 podemos observar que un 63% de los encuestados hace rotación de sus cultivos, alternando el cultivo entre el maíz y maní, mientras que el 37% no lo hace, por lo que deciden sembrar un solo tipo ya sea solo maíz o maní.

**CUADRO N° 5**  
**¿EL RENDIMIENTO DE SUS CULTIVOS SON IGUALES QUE HACE**  
**20 AÑOS?**

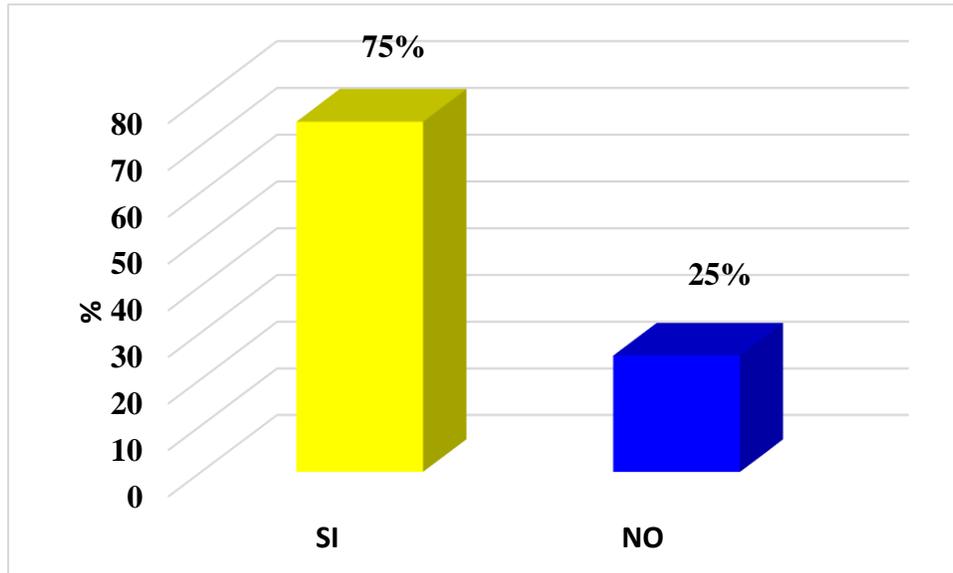
PREGUNTA	PERSONAS ENCUESTADAS		
	ítem	Cantidad	%
N°5	SI	30	75
	NO	10	25
<b>TOTAL</b>		40	100

**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

## GRÁFICA N° 5

**¿EL RENDIMIENTO DE SUS CULTIVOS SON IGUALES QUE HACE**

**20 AÑOS?**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la encuesta, 2017.

Como se puede observar en nuestro cuadro 5 y gráfica 5, con relación a las personas encuestadas, se aprecia un 75% de las cuales indican que el rendimiento de sus cultivos son iguales que hace 20 años.

Así mismo, se observa un 25%, de personas las cuales reflejan que sus áreas cultivables no rinden igual que hace 20 años. Esto se debe principalmente a que sus sembradíos están ubicados en las partes más bajas de la zona de explotación, terrenos que se encuentran cerca de las quebradas principales que descienden de las vetas arrastrando sedimentos con restos de sal, en algunas ocasiones provocando el rompimiento de sus cercos, y depositando estos sedimentos salinos en sus terrenos, debido a las fuertes precipitaciones que rara vez se presentan.

### 3.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SALINIDAD

La determinación se la realiza en función a los resultados del análisis químico de laboratorio (Ver anexo 2), y su respectiva interpretación. Para facilitar nuestro análisis se presentan resúmenes de los mismos, como se detallan a continuación:

**CUADRO N° 6**  
**RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LABORATORIO**

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTREO DE SUELO "VETA 1"			MUESTREO DE SUELO "VETA 2"			MUESTREO DE SUELO "VETA 3"		
		P1M1	P1M2	P1M3	P1M1	P1M2	P1M3	P1M1	P1M2	P1M3
Ph	1:05	7,57	6,8	7,47	8,97	8,09	8,88	8,67	8,53	7,7
C.E.	Mmhos/cm 1:5	0,074	0,049	0,153	0,14	0,181	0,077	0,101	0,081	0,149
PSI	%	1	1,5	0,92	0,66	0,57	1,38	0,63	1,03	1,26
<b>CATIONES DE CAMBIO</b>										
Ca	meq/100g	6	4,8	5,2	7,4	12,2	5,2	13	11	5,4
Mg	meq/100g	0,4	1,4	2	5,6	2,8	2,2	1,4	1,2	1,8
K	meq/100g	0,76	0,36	0,5	0,21	0,64	0,57	0,76	0,31	0,25
Na	meq/100g	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08	0,11	0,09

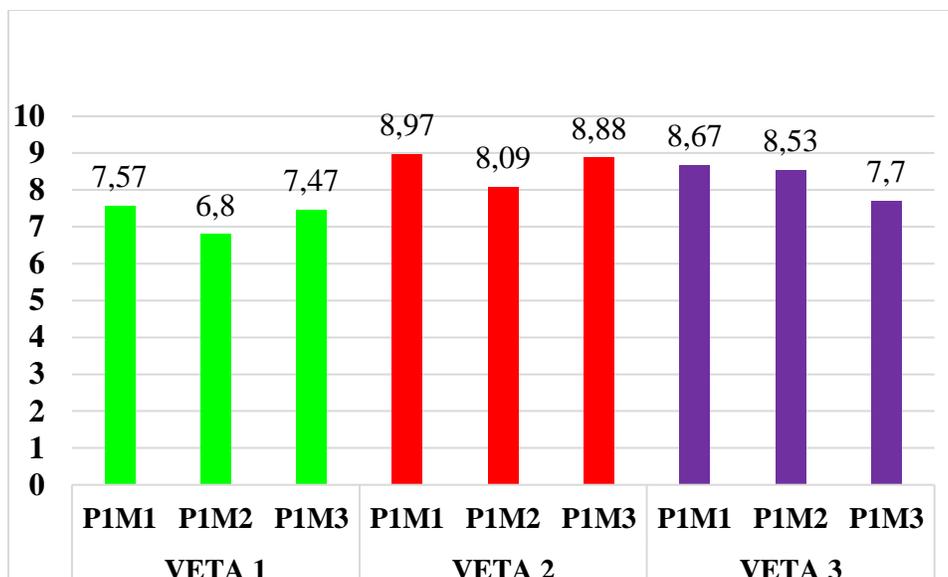
**Fuente:** Laboratorio de suelos U.A.J.M.S.2017.

**P1M1:** Perfil 1-muestra 1

**P1M2:** Perfil 1- muestra 2

**P1M3:** Perfil 1- muestra 3.

**GRÁFICA N° 6**  
**POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)**



**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores del parámetro pH son reflejados en la gráfica 6 de tal manera que estos sean interpretados en función al cuadro 7, donde se clasifica el suelo según un determinado rango.

**CUADRO N° 7**  
**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL pH**

<b>RANGO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<4,5	muy fuertemente ácido
4,6 - 5,2	fuertemente ácido
5,3 - 5,9	moderadamente ácido
6,0 - 6,5	débilmente ácido
6,6 - 7,0	Neutro
7,1 - 7,5	débilmente alcalino
7.6 - 8,0	moderadamente alcalino

8,1 - 9,0	fuertemente alcalino
> 9,0	muy fuertemente alcalino

**Fuente:**(Villaroel -AGRUCO,1999).

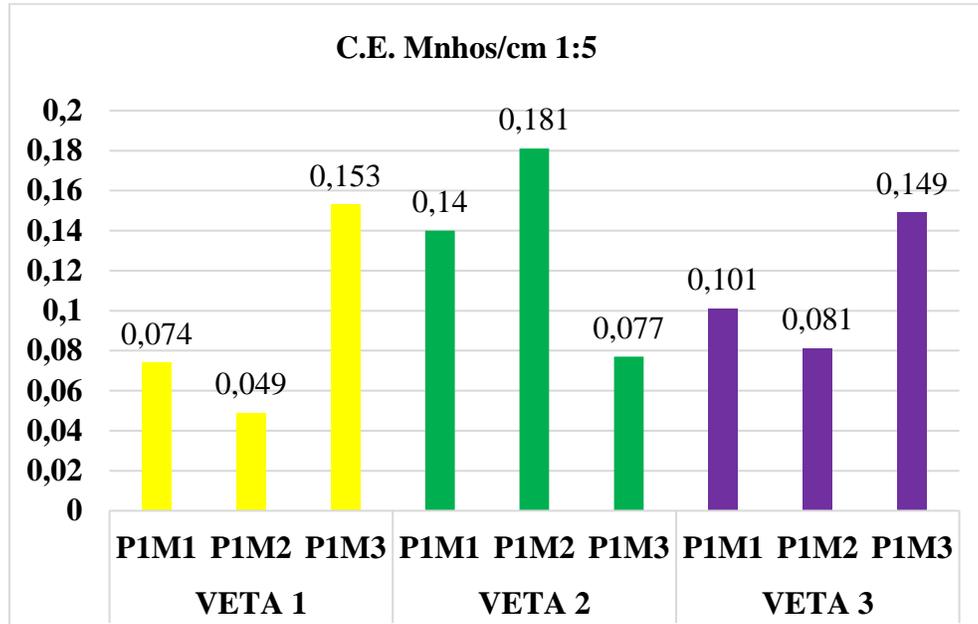
Dentro de este parámetro se muestran diferentes niveles de pH los cuales se explican de la siguiente manera:

Con relación a los resultados de análisis químico para el MUESTREO DE SUELOS (Veta 1), tenemos valores de (7,57 - 6,8 - 7,47), representado en el cuadro 6 y gráfica 6, los cuales indican que el suelo en estudio se encuentra débil y moderadamente alcalino. Es dentro de este rango que los valores indican, que se tiene una adecuada disponibilidad de nutrientes lo que va a dar lugar a que los cultivos se desarrollen su potencial agrícola mejor, estos suelos están próximos a la neutralidad.

Por otro lado, se puede observar el resultado del MUESTREO DE SUELOS (Veta 2) (8,97 - 8,09 - 8,88) los cuales se clasificación en fuertemente alcalino. Estos suelos tienen alto nivel de pH debido a que se encuentran muy próximas la quebrada y en épocas de lluvias son las que mayor grado de afectación sufren. Cabe resaltar que el P1M3 ubicado en la veta 2, el área de cultivo se encuentra actualmente en barbecho.

Por último, se presenta resultados del MUESTREO DE SUELOS (Veta 3), donde se tienen valores de (8,67- 8,53- y 7,7) en los dos primeros puntos de muestreo los suelos están en una clasificación de fuertemente alcalino, mientras que el punto 3 se tiene un valor bajo, por lo tanto, este suelo mantiene una reacción de nutrientes casi en su totalidad de N, P, K.

**GRÁFICA N° 7**  
**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**



**Fuente:** Elaboración propia.

**CUADRO N° 8**  
**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DE LA C.E.**

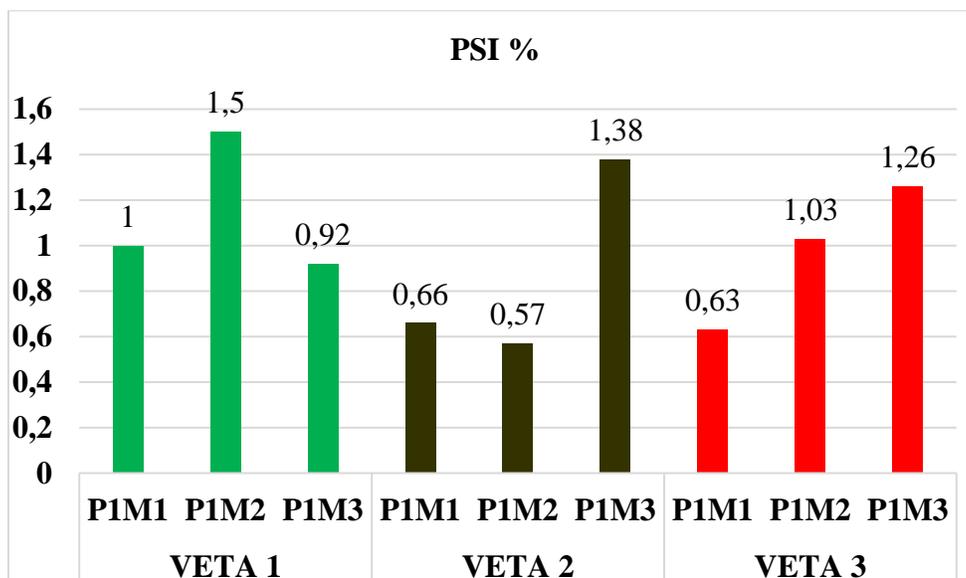
RANGO	CLASIFICACIÓN
<2	no salino
2 a 4	débilmente salino
4 a 8	moderadamente salino
8 a 16	fuertemente salino
>16	muy fuertemente salino

**Fuente:** (Villaroel -AGRUCO,1999).

Como se puede observar en la gráfica 8 y cuadro 8, los resultados obtenidos de acuerdo a este parámetro de estudio, tienen valores muy bajos los cuales se encuentran por debajo del rango <2, indicando una clasificación de suelo no salino. Por lo que se puede indicar en base

a este parámetro, los sitios muestreados tienen una condición favorable para el desarrollo de los cultivos.

**GRÁFICA N° 8**  
**PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la gráfica 9 el valor de PSI más altos se encuentra en la VETA 1, particularmente en P1M2, con un valor de 1,5 %, no obstante, el porcentaje menor está ubicado en la VETA 2-P1M2 con 0,57 %.

Una vez determinado el PSI, se puede evaluar la sodicidad del suelo comparando este valor obtenido con los rangos propuestos por Massoud (1971) que se muestran en la siguiente tabla:

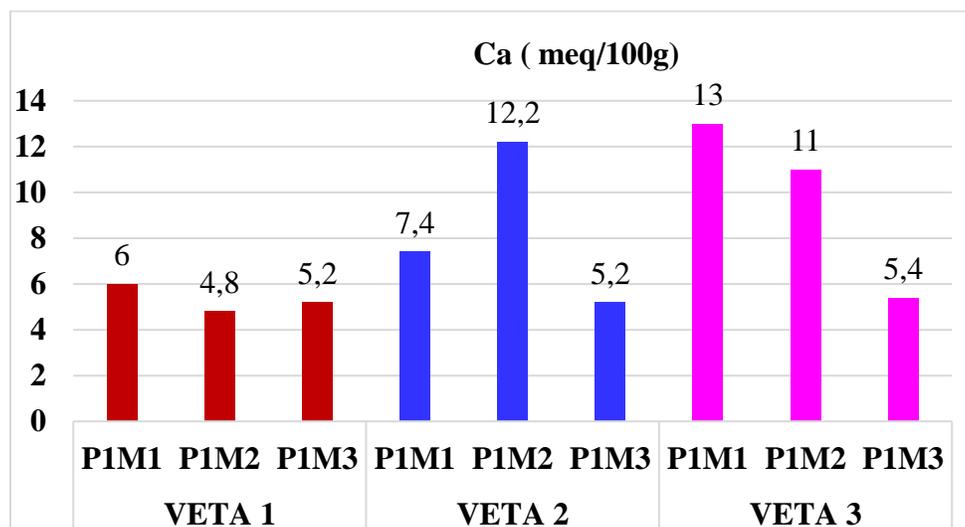
**CUADRO N° 9**  
**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL PSI**

<b>PORCENTAJE SODIO INTERCAMBIO (PSI, %)</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<7	No sódico
7 - 15	Ligeramente sódico
15 - 20	Moderadamente sódico
20 - 30	Fuertemente sódico
> 30	Extremadamente sódico

**Fuente:** (Villaroel -AGRUCO,1999).

Según nuestros valores obtenidos y usando el cuadro 9 de clasificación para el porcentaje de sodio intercambiable, definido también como la cantidad de sodio adsorbido por las partículas del suelo, los resultados adquiridos indican una clase no sódico <7 % en todos nuestros puntos de muestreo.

**GRÁFICA N° 9**  
**CALCIO**



**Fuente:** Elaboración propia.

Interpretando la gráfica 10 en base al cuadro 6 donde se muestran los resultados de laboratorio, los valores mínimos 4,8(meq/100g),y como máximo 13 (meq/100g) del presente catión de calcio (Ca).

**CUADRO N° 10**

**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL CALCIO (Ca)**

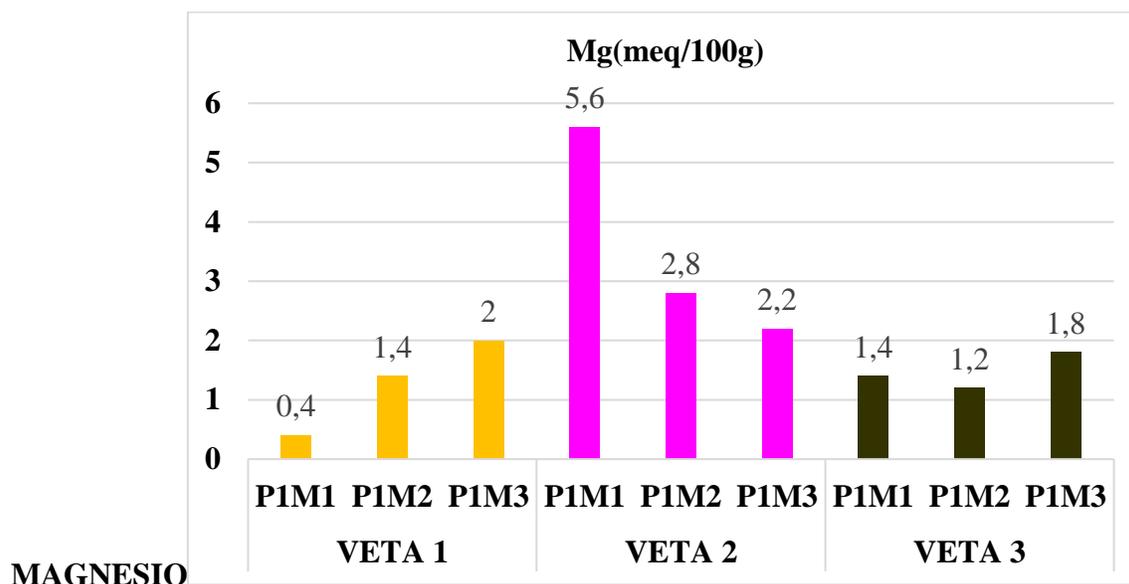
<b>RANGO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<2,0	muy bajo
2,0 - 5,0	bajo
5,1 - 10,0	moderado
10,1 - 20,0	alto
> 20,0	muy alto

**Fuente :**(Villaroel -AGRUCO,1999).

Haciendo uso del cuadro 10, podemos clasificar los suelos de la zona VETA 1, de bajo a moderadamente alto, según los siguientes valores: P1M1-6; P1M2-4,8; P1M3-5,2. La VETA 2 se clasifica de moderado a alto, que va de un rango 5,1-10 a 10,1 a 20. Cabe afirmar que la clasificación de la VETA 3, es igual a la VETA 2.

Los altos contenidos del calcio interfieren en la asimilación de Mg<sup>++</sup> y de K<sup>+</sup>, (Guerrero, 1990). El bajo y alto contenido del calcio refleja en el grado de saturación de la arcilla, la cual se da cuando el agua dulce disuelve la sal de la arcilla.

**GRÁFICA N° 10**



**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la gráfica 11, se tiene como máximo valor 5,6 meq/100g del Mg, situado en el P1M1 de la VETA 2, este valor ocasiona una deficiencia del K, en las plantas.

**CUADRO N° 11**

**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL MAGNESIO Mg.**

RANGO	CLASIFICACIÓN
< 0,5	muy bajo
0,51 - 1,5	bajo
0,16 - 4,0	moderado
4.10 - 8,0	alto
> 8,0	muy alto

**Fuente :**(Villaroel -AGRUCO,1999).

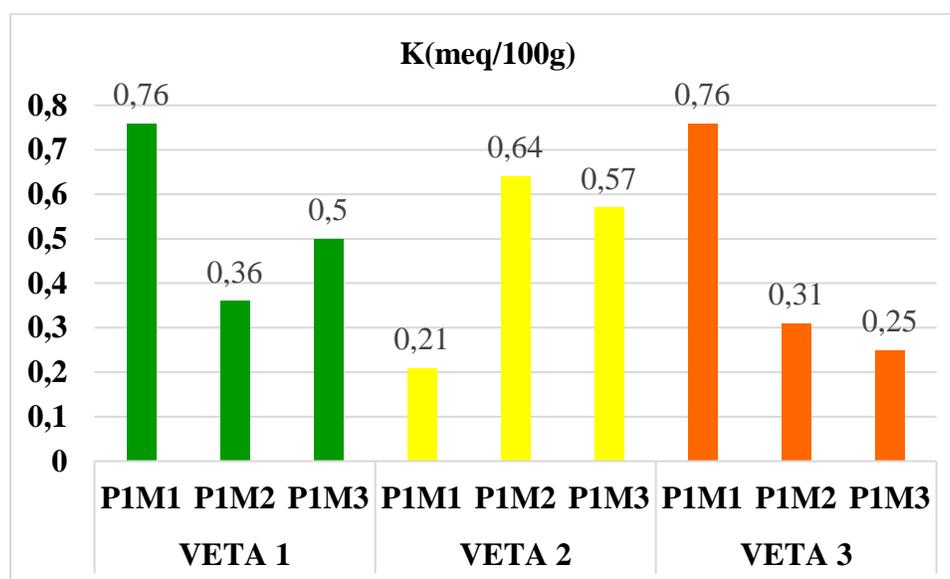
De acuerdo a nuestro cuadro 11 se puede observar que en los sitios muestreados pertenecientes a la VETA 1, se clasifican de muy bajo a bajo, pero en la VETA 2 se observa una variación ya que las muestras de esta zona se encuentran dentro la clasificación de

moderado a alto. Por consiguiente, la VETA 3 tiene una caracterización de Mg de bajo a moderado.

En general las zonas ubicadas están dentro de la clasificación bajo a moderado, esto nos indica que la mayoría de los puntos muestreados presentan un bajo contenido de Mg razón por lo cual en algunos casos se pueden observar machas amarillentas en los cultivos del maíz, específicamente en sus hojas.

### GRÁFICA N° 11

#### POTASIO



**Fuente:** Elaboración propia.

Analizando la gráfica 12, y el cuadro resumen N° 12 el nutriente catiónico K en los suelos de estudio, tiene como valor mínimo 0,21 meq/100g ubicado en la VETA 2 y un valor máximo de 0,76meq/100g situado en la VETA 1 y VETA 3.

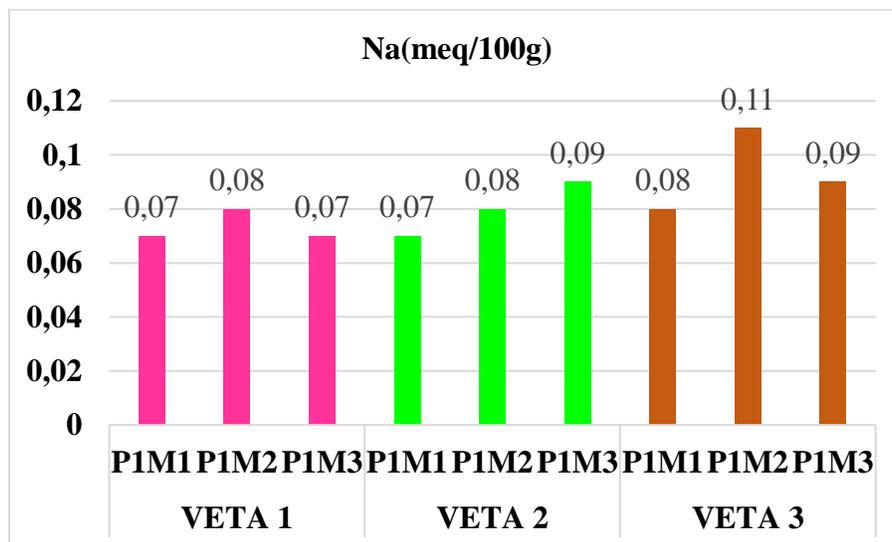
**CUADRO N° 12**  
**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL POTASIO (K)**

RANGO	CLASIFICACIÓN
< 0,25	muy bajo
0,26 - 0,50	bajo
0,51 - 0,75	moderado
0,76 - 1,00	alto
> 1,00	muy alto

**Fuente** :(Villaroel -AGRUCO,1999).

Considerando lo indicado en la gráfica 10 e interpretando con el cuadro 12, las muestras de suelo en general presentan valores mínimos 0,21 meq /100g y un valor máximo de 0,76meq/100g, se ubican en una clasificación de bajo a alto, el potasio es un elemento que coadyuba fisiológica y nutritivamente a la planta interviniendo en los procesos osmóticos, fotosíntesis y transporte de carbohidratos.

**GRÁFICA N° 12**  
**SODIO**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica 13, el valor máximo de sodio se encuentra en la VETA 3-P1M2. Haciendo uso del cuadro 13 se procederá a su interpretación y correspondiente clasificación.

**CUADRO N° 13**  
**RANGO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL SODIO (Na)**

<b>RANGO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
< 0,1	muy bajo
0,1 - 0,30	Bajo
0,31 - 0,70	moderado
0,71 - 2,00	Alto
> 2,00	muy alto

**Fuente :**(Villaroel -AGRUCO,1999).

Según nuestra gráfica 13 y cuadro 13, la interpretación el sodio, nos da una clasificación de muy bajo en todos los puntos muestreados, ya que se ubican dentro del rango (<0,1 - 0,30) lo cual significa que no causa daño a los cultivos de la zona estudiada.

A continuación, se presenta el cuadro 14 de los promedios de los puntos de muestreo respecto a una VETA determinada, en cada uno de los parámetros, esto con el fin de tener una clasificación más generalizada de los niveles de salinidad.

**CUADRO N° 14**

**PROMEDIO DE LOS TRES PUNTOS DE MUESTREO PARA CADA  
PARÁMETRO**

IDENTIFICACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
<b>MUESTREO DE SUELOS (Veta 1)</b>	<b>pH</b>	1:05	<b>7,28</b>	Neutro
	<b>C.E</b>	Mnhos/cm	<b>0,092</b>	No salino
	<b>Ca</b>	meq/100g	<b>5,3</b>	moderado
	<b>Mg</b>	meq/100g	<b>1,27</b>	moderado
	<b>K</b>	meq/100g	<b>0,54</b>	moderado
	<b>Na</b>	meq/100g	<b>0,073</b>	bajo
	<b>PSI</b>	%	<b>1,14</b>	No sódico
<b>MUESTREO DE SUELOS (Veta 2)</b>	<b>pH</b>	1:05	<b>8,65</b>	fuertemente alcalino
	<b>C.E</b>	Mnhos/cm	<b>0,132</b>	No salino
	<b>Ca</b>	meq/100g	<b>8,27</b>	moderado
	<b>Mg</b>	meq/100g	<b>3,53</b>	moderado
	<b>K</b>	meq/100g	<b>0,47</b>	bajo
	<b>Na</b>	meq/100g	<b>0,08</b>	bajo
	<b>PSI</b>	%	<b>0,87</b>	No sódico
<b>MUESTREO DE SUELOS (Veta 3)</b>	<b>pH</b>	1:05	<b>8,3</b>	fuertemente alcalino
	<b>C.E</b>	Mnhos/cm	<b>0,33</b>	No salino
	<b>Ca</b>	meq/100g	<b>9,8</b>	moderado
	<b>Mg</b>	meq/100g	<b>1,47</b>	moderado
	<b>K</b>	meq/100g	<b>0,44</b>	bajo
	<b>Na</b>	meq/100g	<b>0,09</b>	bajo
	<b>PSI</b>	%	<b>0,97</b>	No sódico

**Fuente:** Elaboración propia.

Los indicadores químicos de salinidad de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de la afectación por la salinidad son la CE, PSI (% de Na<sup>+</sup> intercambiable) y pH (Kochbaet *al*, 2004), cuyos parámetros permiten separar los suelos afectados por salinidad en 3 grupos:

**CUADRO N° 15**

Clasificación	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	PSI (%)	Proceso
Salinos	< 8,5	> 4	< 15	Salinización
Sódicos	> 8,5	< 4	> 15	Sodificación
Salinos - Sódicos	< 8,5	> 4	> 15	Salinización- Sodificación

Razón por la cual nuestros parámetros en estudio según el CUADRO N.º 14 el MUESTREO DE SUELOS (Veta 1), de los tres puntos determinados, nos arroja un valor promedio de 7,28 del pH el cual está en una clase de un suelo neutro.

El valor de la conductividad eléctrica (CE), se encuentra relativamente bajo con su resultado promedio de (0,092) Mnhos/cem nuestros sitios muestreados, como así también el parámetro de (PSI) (% Na<sup>+</sup> intercambiable) con un porcentaje 1,14 %, dándonos una clasificación de un suelo no sódico.

Como también se puede ver el CUADRO 14, del MUESTREO DE SUELOS (Veta 2), obteniendo un valor promedio de nuestros puntos muestreados, con un pH de 8,65 clasificado como suelo fuertemente alcalino, seguido de la CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA que tiene un valor promedio de 0,132Mnhos/cm arrojando un suelo libre de sales según este parámetro, y para el PSI se presentó un valor de 0,87% indicándonos un suelo no sódico.

Por último, tenemos en el sector correspondiente a la veta 3, un valor promedio del pH de 8,3 el cual está clasificado como un suelo fuertemente alcalino, posteriormente la conductividad eléctrica tiene 0,33Mnhos/cm ubicándose en un suelo no salino, a su vez el PSI nos arroja un valor de 0,97 % situándose en un suelo no sódico.

Por esta razón se comprende que los suelos cuyo pH es superior a 7,4, y en los que no hay dominancia de una salo ion específico, se considera que hay una relación entre pH altos y el contenido de sales (FAO, 1990). Dicho esto, nuestras áreas de cultivos agrícolas de la comunidad de Taquillos del municipio de Entre Ríos son considerados como suelos alcalinos.

### 3.3. ANÁLISIS DEL ÁREA AGRÍCOLA MEDIANTE PERFIL DEL SUELO

Este análisis se realizó en función a la descripción de los perfiles de suelo que nos permitió detectar las diferentes características internas dentro del interior del perfil, que nos permitieron detectar la calidad del suelo por el color, la capacidad de aireación y permeabilidad por la presencia de la estructura y la porosidad y otras características que se describen a continuación en los perfiles.

#### PERFIL 1

**Identificación:** V2P1M2

**Topografía:** Parte baja de ladera

**Coordenadas UTM:**

**Usos:** Agrícola en uso

**X:** 384587

**Croma:** 5

**Y:** 1633914

**Matiz:** 4

**Altitud:** 1008 msnm

**5/4:** Marrón Rojizo

#### Datos analíticos

MOTEADOS					ESTRUCTURA			CONSITENCIA				CUTANES			
ab	ta	ct	co	ni	ti	gr.	ta	se	hu	ad	pl.	ab	co	ti	ub
V	F	I	RZ	N	BA	DM	FM	LD	X	NA	LP	C	D	YA	LA
POROS				FRAGMENTOS					NÓDULOS						
ab	ta	ti	gr	ab	ta	fo	ti	es	ab	ta	ti	fo	du	na	co
P	F	C	3	V	M	A	LI	L	C	F	N	L	B	A	PS

**Fuente:** Elaboración propia.

## DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE 1

El horizonte H1 se caracteriza por presentar en suelos superficiales, con una textura franco arenosa, de color 5YR 5/4 (marrón rojizo), variando la estructura de bloque angular, de grado moderado a débil, de tamaños fino a medio, con poca presencia de porosidad, abundancia de fragmentos gruesos, y nódulos alargados de color pardusco.

## PERFIL 2

<b>Identificación:</b> V2P1M3	<b>Topografía:</b> Parte baja
<b>Coordenadas UTM:</b>	<b>Usos:</b> Agrícola en abandono
<b>X:</b> 384587	<b>Croma:</b> 3
<b>Y:</b> 1633554	<b>Matiz:</b> 2
<b>Altitud:</b> 1011 msnm	<b>3/2:</b> Marrón Rojizo oscuro

## Datos analíticos

MOTEADOS					ESTRUCTURA			CONSISTENCIA				CUTANES			
ab	ta	ct	co	ni	ti	gr.	ta	Se	hu	ad	pl	ab	co	ti	ub
V	F	I	RA	D	BA	MO	ME	LD	X	NA	NP	P	I	Y	LA
POROS				FRAGMENTOS				NÓDULOS							
ab	ta	ti	gr	ab	ta	fo	ti	Es	ab	ta	ti	fo	du	na	co
V	F	I	2	V	M	A	SA	L	P	F	N	R	B	A	PS

**Fuente:** Elaboración propia.

## DESCRIPCIÓN DE HORIZONTE

El H1 caracterizado por un color marrón rojizo oscuro, con una textura areno arcilloso, y una estructura de bloque angular, medio moderado, con una consistencia en seco ligeramente dura no adherente, moteados definidos de color rojizo de tamaños muy finos, presenta cutanes prominentes de arcilla, se presencia poca porosidad intersticial, poca presencia de raíces vivas, no hay presencia de lombrices, fragmentación muy poca de grava media de forma angular y redondeada en el horizonte, pocos nódulos blandos de tamaño fino y alargadas.

### PERFIL 3

<b>Identificación:</b> V3P1M1	<b>Topografía:</b> Parte media de ladera
<b>Coordenadas UTM:</b>	<b>Usos:</b> Agrícola en uso
<b>X:</b> 384786	<b>Croma:</b> 4
<b>Y:</b> 1636319	<b>Matiz:</b> 4
<b>Altitud:</b> msnm	<b>4/4:</b> Pardo Rojizo

### Datos analíticos

MOTEADOS					ESTRUCTURA			CONSISTENCIA				CUTANES			
ab	ta	ct	co	ni	ti	gr.	ta	se	hu	ad	pl	ab	co	ti	ub
P	F	D	RZ	N	GR	MO	ME	LD	X	NA	NP	V	C	Y	PO
POROS				FRAGMENTOS					NÓDULOS						
ab	ta	ti	gr	ab	ta	fo	ti	es	ab	ta	ti	fo	du	na	co
V	M	C	3	P	F	R	SA	L	C	F	N	I	B	C	RZ

**Fuente:** Elaboración propia.

## **DESCRIPCIÓN DE HORIZONTE**

**H1:** Con un color de pardo rojizo presenta una textura franco arcilloso arenoso, estructura granular moderado medio, con porosidad medios con tipo de canales de grado medio, con cutanes comunes, presenta consistencia en seco no adherente, presencia de raíces finas y medias vivas funcionales en el horizonte, algunas gravas y piedras irregulares con nodulación irregular de color negro.

Después de haber realizado la descripción de las tres calitas representativas (V2P1M2; V2P1M3 y V2P1M1), exclusivamente el primer horizonte de cada una de ellas para su respectiva interpretación, se llega a las siguientes conclusiones:

La comunidad de Taquillos se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias, compuesta por suelos con texturas variables, que van desde areno franco en algunos sectores y franco arcillo arenoso en otros, con una estructura de bloque angular a redondeadas, lo cual dificulta la infiltración del agua, por lo general son suelos con escasa presencia de materia orgánica, siendo evidente por la poca presencia de restos vegetales débil a moderadamente descompuesta.

A su vez la descripción e interpretación de las calicatas, están ligadas a dar información sobre la extensión y presencia de sedimentos de roca salina ya sea proveniente de la veta 2 y/o veta 3, por los procesos de iluviación, por lo cual se puede afirmar que no se presencié la continuidad de esta roca de ningún tipo de sal en la superficie ni en los horizontes.

En relación a la influencia de la materia orgánica sobre la capacidad productiva de los suelos se puede mencionar que tomando en cuenta la descripción de los horizontes donde nos indica colores de marrón rojizo, lo que nos explica la escasa presencia de materia orgánica, ya que en estos suelos de climas árido, se producen con mayor frecuencia procesos de mineralización y muy poco procesos de humificación, debido a la escasa precipitación de la zona lo que da lugar a muy poca presencia de materia orgánica, dando como resultado una disminución en la influencia de la capacidad productiva de los suelos.

La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se

dispersan, los agregados estructurales se destruyen. Las arcillas y los ácidos húmicos se lixivian, acumulándose en el horizonte B y forman un horizonte de acumulación de arcillas sódicas, es decir, que se origina un horizonte nátrico (si la intensidad de la iluviación es suficiente).

La salinidad del suelo puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas por reducción de la disponibilidad de agua, por interferencia con procesos fisiológicos o por creación de un desbalance nutricional (Roundy, 1984).

### **3.4. PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA SUELOS SALINOS ALCALINOS**

Los suelos alcalinos se presentan en zonas áridas y semiáridas con poca presencia de lluvias, dañando el suelo destinados a la producción agrícola por lo que interfiere en la toma de nutrientes y un desbalance nutricional que las plantas necesitan para su desarrollo normal, por lo que se implementa las medidas de mitigación ambientales las cuales están constituidas por un conjunto de acciones con la finalidad de prevenir, controlar y atenuar, para contrarrestar o minimizar impactos negativos que pudieran tener algunas intervenciones antrópicas.

#### **3.4.1. Objetivos del plan**

Lograr mitigar los problemas de salinidad y alcalinidad de los suelos de producción agrícola, a través de métodos físico, químico y biológico con la finalidad de lograr suelos idóneos para el cultivo.

##### **➤ Uso de abonos verdes**

La función fundamental de los abonos verdes es complementar la nutrición de los cultivos de la rotación, bien a través de la fijación de nitrógeno libre, o por su eficacia en hacer disponibles nutrientes para los cultivos que de otra manera serían inaccesibles o se perderían.

## **Fertilización nitrogenada**

El empleo de especies leguminosas (veza, guisante, haba, etc.) como abono verde tiene el objetivo principal de aportar nitrógeno extra a nuestro suelo y a los cultivos ya que estas plantas son capaces de fijar este nutriente desde el aire, debido a su asociación simbiótica con unas bacterias denominadas rizobios (*Rhizobium*spp).

Estas bacterias forman habitualmente unos nódulos (bultitos) en la raíz de la leguminosa, y es donde se lleva a cabo la fijación de nitrógeno atmosférico. Estos nódulos pueden tener diferente forma según la planta. Así, los hay de forma esférica (elipsoide (trébol), digitada (haba, garbanzo) o que envuelven a la raíz (altramuz), etc. Dado que estos nódulos son la "fábrica", sin cuya presencia no se produce fijación de nitrógeno, es necesario que el agricultor extraiga de vez en cuando las raíces de varias plantas para observar si están presentes. También hemos de observar el color del interior de los nódulos, que debe ser rojo o rosa cuando están realizando la fijación de forma efectiva. (Guzmán & Alonso)

La mejor opción de leguminosas es haba, maní, y de gramíneas están la avena, cebada y trigo. No solo ofrecen la mejor condición al suelo, si no también ofrece al agricultor una alternativa de siembra como fuente de ingresos económicos.

### **➤ Materia Orgánica**

La materia orgánica del suelo (MOS) está compuesta por residuos de plantas, animales y microorganismos, en distintos estados de descomposición, que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Una parte de ella se descompone fácilmente y sirve como fuente de energía para los microorganismos del suelo. Hay otra parte que es estable y "humificada," es decir, que ha perdido su estructura original. Ésta se descompone muy lentamente y puede preservarse inalterada por décadas o cientos de años en el suelo. Representa aproximadamente el 50% del total de la MOS. Esta parte actúa como un búfer o amortiguador frente a cambios químicos y físicos en el suelo, y aumenta la disponibilidad de nutrientes en el largo plazo. El carbono es el principal elemento que compone la MOS, equivaliendo aproximadamente al 58% de ésta.

## **Funciones de la materia orgánica**

- La estructura del suelo, al participar en la formación de agregados o terrones del suelo.
- La resistencia del suelo a la erosión, tanto de lluvia (hídrica) como de viento (eólica).
- La capacidad de infiltración, retención y almacenamiento de agua; la fertilidad del suelo, en cuanto a la disponibilidad de nutrientes para las plantas;
- La capacidad de liberar nutrientes desde los residuos orgánicos la captura y secuestro de una parte importante del carbono presente en la atmósfera.

Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fósforo, y azufre. Los nutrimentos son secuestrados en y liberados de la materia orgánica por 2 procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). (Melendez & Gabriela, 2003).

### **➤ Recuperación de suelos salinos sódicos con la aplicación de yeso**

La recuperación de suelos salinos sódicos y sódicos, sin embargo, no se puede lograr mediante la lixiviación simple; es más lenta y cara que el de los suelos salinos debido a la sustitución del sodio intercambiable con el calcio. Por lo tanto, requiere la adición de enmiendas químicas, junto con la lixiviación. Los resultados de los estudios con la aplicación de yeso en suelos salinos sódicos y sódicos, el sodio adsorbido en el complejo suelo es reemplazado por el calcio. La acción de las sales de  $\text{Ca}^{2+}$  se debe principalmente a reacciones de intercambio con el sodio (Ali, 2001).

El uso de la remediación química con fuentes de  $\text{Ca}^{2+}$ , que tienden a sustituir el  $\text{Na}^{+}$  intercambiable, así como la irrigación del suelo con agua rica en cationes bivalentes son estrategias comúnmente usadas para la recuperación de suelos salinos, en zonas semi-áridas con suelos secos, sin embargo, Qadir y Oster (2002) indican que ésta se ha encarecido para los agricultores de subsistencia en los países en desarrollo, debido al incremento de su uso por la industria y la reducción de los subsidios gubernamentales. No obstante, varios autores indican que el uso del yeso es una alternativa bastante económica (Ghafooret *al.*, 2001, Shaimbert, *et al.*, 1989).

## **Utilidad agrícola del yeso**

El yeso es comúnmente utilizado como enmienda en la recuperación de suelos salino-sódicos, principalmente por sus bajos costos. El uso del yeso ha sido una de las formas como se ha mejorado la productividad agrícola a nivel mundial en suelos con estrés de sales (Makoiet al., 2010).

Se han evaluado un conjunto de prácticas culturales como la rotación de cultivos, la siembra de cultivos permanentes, el manejo de barbechos, el uso de canales de drenaje, la incorporación de restos de cultivos, entre otras, unidas a la utilización de yeso (Ilyaset al., 1997). Entre los sustratos utilizados para la bio remediación están los abonos verdes, compost y vermicompost.

### **El yeso en la agricultura en el mejoramiento de condiciones físicas del suelo.**

#### **Acondicionador del suelo compactado al mejorar su estructura**

El yeso puede ayudar a romper el suelo compactado. La compactación del suelo se puede evitar al no arar o conducir maquinaria en el suelo cuando está demasiado mojado. La compactación se puede disminuir con el yeso, especialmente en combinación con la labranza profunda para romper la compactación. El yeso proporciona calcio que se necesita para flocular las arcillas en el suelo (figura 2) el cual es el proceso en el que muchas partículas individuales de arcilla se unen para dar partículas más grandes; la floculación es necesaria para una buena estructura del suelo que favorezca el crecimiento de las raíces y el movimiento del aire y el agua. (Shainberg et al., 1989)

#### **Acondicionador del suelo para la labranza cero**

Incorporación de yeso favorece la gestión del suelo sin labranza o pastoreo. La agregación y permeabilidad del suelo enmendado puede persistir durante años, permitiendo que los fertilizantes penetren más fácilmente a causa del yeso. (Shainberg et al., 1989). Los suelos que han sido tratados con yeso tienen mayor capacidad de humedad; esto se acompaña con una mayor facilidad de labranza y preparación del suelo (Shainberg et al., 1989).

### **Previene la escorrentía y la erosión del suelo**

El yeso mejora las tasas de infiltración de agua en los suelos y también la conductividad hidráulica del suelo, protegiendo al suelo de la erosión por causa del agua al disminuir la escorrentía (Shainberg et al., 1989). El uso del yeso puede disminuir erosión eólica e hídrica de los suelos. Graves problemas de polvo pueden ser reducidos, especialmente cuando se combina con el uso de polímeros solubles en agua. Menos residuos de plaguicidas y nutrientes se escapan de la superficie del suelo hacia lagos y ríos cuando se estabiliza el suelo con yeso (Shainberg et al., 1989).

### **Reducción de la pérdida de nitrógeno de fertilizantes aplicados superficialmente**

El calcio puede disminuir el pH por precipitación de carbonatos y también mediante la formación de una sal de calcio compleja con hidróxido de amonio, que evita la pérdida de amoníaco a la atmósfera. El calcio mejora la absorción de nitrógeno por las raíces de las plantas, especialmente cuando las plantas son jóvenes. (Fenn et al., 1993)

### **Favorece la estabilidad de la materia orgánica.**

El yeso es una fuente de calcio, que es un mecanismo importante que se une a la materia orgánica del suelo de arcilla en el suelo que da estabilidad a los agregados del suelo. El valor de la materia orgánica aplicada al suelo es mayor cuando se aplica con el yeso. (Muneer, y Oades, 1989).

➤ **Cultivos tolerantes a la salinidad**

La tolerancia a la salinidad es la capacidad del cultivo a soportar un exceso de sales del suelo, por lo que se mencionan algunos cultivos que podrían ser incorporados en nuestra zona de estudio con la finalidad de hacer rotaciones de cultivos con plantas tolerantes a la alcalinidad y salinidad, para lograr una mejora del suelo y un beneficio al agricultor.

Tipo de cultivo	pH	C.E.	PSI (%)
<b>Maíz</b>	5,5 – 8,5	1,7	< 15
<b>Papa</b>	5,2 – 6,4	1,7	< 15
<b>Maní</b>	7	3,2	< 15
<b>Avena</b>	5- 7	1,7	< 15
<b>Cebada</b>	7,0 - 10	4- 18	< 15
<b>Trigo</b>	7,5	6.0	15 - 40

Este tipo de plantas ayudan en la incorporación de nutrientes reteniendo nitrógeno al suelo, sus raíces mejoran la aireación del mismo facilitando la infiltración del agua de lluvia, sus restos de las plantas protegen al suelo de la erosión y brindan abono orgánico al mismo tiempo.

## **Capítulo IV**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

Al concluir este trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo a las encuestas realizadas se identificaron las causas que contribuyen a la salinización de los suelos agrícolas, se deben principalmente a las precipitaciones que en algunas ocasiones transportando los sedimentos salinos sueltos lo que da lugar al lavado superficial de los suelos que descienden de los sitios de explotación, hacia las quebradas principales, depositándose en la zona más baja afectando las áreas de cultivos más críticas, la velocidad de las aguas provoca.
2. En relación a los niveles de salinidad obtenidos del análisis de laboratorio nos demuestran que se tiene un alto contenido de (**pH**) potencial de hidrogeno, en la VETA 1 (7,28); VETA 2 (8,65); VETA 3 (8,3), por lo que se nos da a entender que los valores de la veta 2 y veta 3, son suelos fuertemente alcalinos.

En el caso (**C.E**) conductividad eléctrica sus valores se encuentran por debajo del  $< 4$  en todos los sitios muestreados con valores en la VETA 1 (0,092 Mnhos/cm); VETA 2 (0,132Mnhos/cm); VETA3(0,33Mnhos/cm), indicándonos un suelo no salino.

El **PSI** obtenido dado que sus valores son de VETA 1 (1,14 %); VETA 2 (0,87%); VETA 3 (0,97%), se encuentran por debajo de  $> 15$ , lo cual nos señala como un suelo no salino. Nuestros cationes de cambio calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na); se encuentra de moderado a bajo en todos los puntos de muestreo correspondiente a la Veta 1, Veta 2 y Veta 3, respectivamente.

3. En relación a las medidas de mitigación se propuso: la incorporación de materia orgánica, abonos verdes y la aplicación del yeso, que superficialmente permitirá una mayor infiltración del agua para el suelo, lo que a reducir y diseminar la presencia de sales en el interior del suelo.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

1. La apertura de diferentes drenajes que tiendan a evitar el ingreso de los sedimentos a las áreas de producción agrícola, transportando dichos sedimentos que provienen de las áreas de explotación de sal (vetas) a otros lugares donde la afectación sea mínima.
2. Para contrarrestar la salinidad de los suelos de cultivos en la comunidad de taquillos se recomienda los cultivos tolerantes a la salinidad, uso de abonos verdes, incorporación de la materia orgánica y la aplicación del yeso para mejorar la condición del suelo.
3. Realizar posteriores estudios para la actualización de datos en esta temática o en cualquier otra área ligada a la conservación y uso del suelo debido a la importancia de este factor siendo la base fundamental para desarrollar cualquier actividad.