



**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
MONOGRAFÍA**

**FORMULACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN
DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE UN SUELO
DEGRADADO DEBIDO AL CULTIVO DE PIÑA EN EL MUNICIPIO DE
LEBRIJA - SANTANDER**

**JAIME YAMID LAMUS SIERRA
MARTHA LUCIA VALDERRAMA RIOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**



**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
MONOGRAFÍA**

**FORMULACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN
DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE UN SUELO
DEGRADADO DEBIDO AL CULTIVO DE PIÑA EN EL MUNICIPIO DE
LEBRIJA - SANTANDER**

**JAIME YAMID LAMUS SIERRA
MARTHA LUCIA VALDERRAMA RIOS**

Trabajo para optar al título de Especialista en Química Ambiental

**DIRECTOR:
JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA
QUÍMICO, ESPECIALISTA EN QUÍMICA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1 CONTEXTO MUNICIPIO DE LEBRIJA	2
1.1.1 Economía	6
1.1.1. Subsector agrícola	6
1.2 LOCALIZACIÓN FINCA EL CABALLITO	8
2. MARCO CONCEPTUAL	9
2.1 SUELOS AGRÍCOLAS	9
2.1.1 Definición	9
2.1.2 Formación	10
2.1.3 Influencia de los factores climáticos	11
2.1.4 Componentes	11
2.1.5 Textura	13
2.1.6 Estructura	15
2.1.7 Perfil	16
2.2 PRODUCTIVIDAD DELSUELO	18
2.2.1 Fertilidad	18
2.2.2 Materia orgánica	19
2.2.3 Nutrientes	20
2.2.4 Absorción de nutrientes	30
2.2.5 Capacidad de intercambio catiónico	31
2.3 LA REACCIÓN DEL SUELO	32
2.3.1 Acidez y su control	32
2.3.2 Naturaleza y origen de la acidez	33
2.3.3 El pH el suelo	33
2.3.4 Clasificación de la acidez del suelo según el pH	34
2.3.5 Relaciones entre el pH y otras propiedades químicas del suelo	35
2.3.6 Causas para el crecimiento pobre de las plantas en suelos ácidos	37
2.3.7 Neutralización de la acidez	38
2.3.8 Materiales utilizados para neutralizar la acidez	40
2.3.9 Tolerancia de las plantas a la acidez del suelo	41
2.4 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO	43
2.4.1 Criterios e índices de clasificación	44
2.4.1.1 Contenido de sales solubles	44
2.4.1.2 Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo	46
2.4.1.3 Contenido de elementos tóxicos para las plantas	48

	Pag.	
2.4.2	Clasificación de las aguas de acuerdo con su calidad, con fines de riego de cultivos agrícolas	49
2.4.2.1	Criterios de clasificación de aguas de riego	49
3.	METODOLOGÍA	55
3.1	MUESTREO DE SUELOS	55
3.2	MUESTREO DE AGUAS	56
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1	CARACTERIZACIÓN MUESTRA DE SUELO	57
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS PARA RIEGO	60
5.	PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	62
5.1	CORRECCIÓN DEL pH	62
5.1.1	Criterio del factor de enclamiento	62
5.1.2	Criterio de tolerancia al aluminio	65
5.2	PLAN DE FERTILIZACIÓN	66
5.2.1	Estimación del fósforo aprovechable	67
5.2.2	Estimación del calcio, potasio y magnesio	68
5.2.3	Estimación del nitrógeno total y del nitrógeno disponible	69
5.2.4	Localización de los fertilizantes en el suelo	73
5.2.5	Época de aplicación de los fertilizantes	74
5.2.6	Recomendaciones varias: Manejo de la plantación de yuca	75
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTADO DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1	Relieve del municipio de Lebrija	4
Figura 2	División política del municipio de Lebrija	5
Figura 3	Triángulo textural de USDA	14
Figura 4	Cuadro de clasificación de las aguas de riego por su conductividad eléctrica y por su RAS	50

LISTADO DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Textura del suelo	13
Tabla 2	Relación entre el color del suelo y el drenaje	18
Tabla 3	Nutrientes del suelo	20
Tabla 4	Clasificación de suelos según el pH	34
Tabla 5	Límites de tolerancia de pH para algunos cultivos	42
Tabla 6	Porcentaje de saturación de aluminio tolerado por algunos cultivos en suelos ácidos	43
Tabla 7	Criterios e índices de clasificación del agua de riego	44
Tabla 8	Clasificación de las aguas de riego según su salinidad	51
Tabla 9	Clasificación de las aguas para riego según los parámetros fisicoquímicos que determinan su calidad	52
Tabla 10	Diagnóstico de aguas para riego: Buena	53
Tabla 11	Diagnóstico de aguas para riego: No Recomendable	53
Tabla 12	Resultados del análisis completo efectuado a la muestra de suelo recolectada en la Finca El Caballito	57
Tabla 13	Resultados de la caracterización efectuada a la muestra de agua de la Quebrada NN	60
Tabla 14	Requerimientos nutricionales para el cultivo de yuca	67
Tabla 15	Nutrientes disponibles en el suelo vs requerimientos para el cultivo de yuca	71
Tabla 16	Costos asociados al plan de fertilización para cultivo de yuca	73

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

	Pag.
Fotografía 1 Parcela piloto Finca El Caballito	55
Fotografía 2 Quebrada NN abastecedora de la Finca el Caballito	56



ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL MONOGRAFÍA

TÍTULO: FORMULACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE UN SUELO DEGRADADO DEBIDO AL CULTIVO DE PIÑA EN EL MUNICIPIO DE LEBRIJA - SANTANDER *

AUTORES: MARTHA LUCIA VALDERRAMA RIOS; JAIME YAMID LAMUS SIERRA**

PALABRAS CLAVES:

Encalado: Aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno y aluminio.

Fertilizantes: Material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas una o más elementos nutricionales necesarios para su normal crecimiento.

Suelos ácidos: Presencia o ausencia de los iones H^+ u OH^- presentes en el suelo y en las soluciones acuosas de este.

CONTENIDO:

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agrícola. La acidez afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y manganeso. El encalado junto con la siembra de especies tolerantes constituyen las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez. Sin embargo, es común encontrar que los criterios utilizados para la aplicación de los materiales de encalado existentes en el mercado, no cumplen los requisitos mínimos de calidad para asegurar el éxito de su empleo.

El presente trabajo trata aspectos fundamentales de la problemática de los suelos infértiles y provee las herramientas a seguir tendientes a su evaluación y corrección.

Es así como basados en la caracterización efectuada a los suelos de la Finca El Caballito, se realiza una propuesta para la corrección de su elevado grado de acidez y para su acondicionamiento para el cultivo de yuca, variedad que posee una de las más altas tolerancias a la saturación de aluminio, factor que como se demuestra en el análisis de laboratorio, es el principal causante de la infertilidad de los suelos de la Finca El Caballito, sumado a la carencia de materia orgánica y nutrientes. Se analizó igualmente, la idoneidad de las aguas que se utilizan para riego.

*Tesis de Grado

**Escuela de Química, programa de Especialización en Química Ambiental. Qco.
Jorge Luis Barbosa

TITLE: DEVELOPMENT OF A PROPOSAL FOR THE RECOVERY OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A DEGRADED SOIL DUE PINEAPPLE CROP IN THE MUNICIPALITY OF LEBRIJA – SANTANDER

AUTHOR: JAIME YAMID LAMUS S; MARTHA LUCIA VALDERRAMA R. **

KEY WORDS:

Liming: Apply basic salt mass in order to neutralize soil acidity caused by hydrogen and aluminum.

Fertilizers: organic or inorganic material, natural or synthetic plant that supplies one or more nutritional elements necessary for normal growth.

Acid soil: Presence or absence of H^+ or OH^- present in soil and aqueous solutions of this.

CONTENTS:

The soil acidity is a major problem in agricultural production. Acidity affects a very particular and determining some of the chemical and biological characteristics of soil, so that in general, reduces plant growth, resulting in decreased availability of some nutrients such as calcium, magnesium, potassium and phosphorus; and promotes the proliferation of toxic elements for plants such as aluminum and manganese. Liming with the planting of tolerant species are the most appropriate practical and economical to correct acid problems. Without clutch is common to find that the criteria used for the application of liming materials on the market do not meet minimum quality requirements to ensure the success of their employment.

This paper addresses fundamental aspects of the problems of infertile soils and provides the tools to continue towards its evaluation and correction.

Thus, the characterization performed based on the soils of the Caballito, a proposal is made for the correction of high acidity and preparation for the cultivation of cassava variety which has one of the highest tolerances aluminum saturation, factor as demonstrated in the laboratory, is the main cause of infertility of the soils of the Caballito, coupled with the lack of organic matter and nutrients. It also analyzed the suitability of water used for irrigation.

* Thesis

** School of Chemistry, Program in Environmental Chemistry Specialization. Chemical Jorge Luis Barbosa

INTRODUCCIÓN

El agricultor, la mayoría de las veces, encuentra que su suelo no se adapta a sus necesidades pues en la mayoría de las ocasiones, alguna característica del mismo ya sea física o química, puede llegar a constituir una seria limitación para la instauración de ciertos o todos los cultivos. Una alternativa consiste en utilizar el suelo en su condición no ideal y aceptar la menor productividad u otras restricciones impuestas por esa condición. Otra alternativa consiste en modificar el suelo para adecuarlo al uso que de él se pretende.

En el presente trabajo se tratan aspectos fundamentales de la problemática de los suelos infértiles y provee las herramientas a seguir tendientes a su evaluación y corrección.

De esta forma, el análisis de suelos se constituye en una de las herramientas más útiles para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos, pues permite detectar las deficiencias de nutrientes, así como sus excesos, brindando la posibilidad de su corrección antes del establecimiento de cualquier cultivo.

Es así como basados en la caracterización efectuada a los suelos de la Finca El Caballito, se realiza una propuesta para la corrección de su elevado grado de acidez y para su acondicionamiento para el cultivo de yuca, variedad que posee una de las más altas tolerancias a la saturación de aluminio, factor que como se demuestra en el análisis de laboratorio, es el principal causante de la infertilidad de los suelos de la Finca El Caballito, sumado a la carencia de materia orgánica y nutrientes. Se analizó igualmente, la idoneidad de las aguas que se utilizan para riego.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 CONTEXTO MUNICIPIO DE LEBRIJA

El municipio de Lebrija se localiza dentro de la Zona Andina septentrional que comprende las vertientes y valles intercordilleranos interiores, encerrados por sectores septentrionales de la cordillera. La variación del tiempo se caracteriza por la distribución armónica de doble onda, con periodos secos y lluviosos más o menos definidos. El periodo seco inicial ocurre durante el tiempo de Enero, Febrero y parcialmente Marzo; los meses lluviosos caracterizados son Abril, Mayo, Junio, y Octubre, Noviembre y Diciembre, con intervalo de transición entre Julio, Agosto y Septiembre. Sin embargo en los años húmedos se denota que esta transición es más corta.

La temperatura del municipio es característica del clima tropical; varía de templada a cálida, dependiendo de la altitud. El movimiento circulatorio ascendente del aire cálido y descendente del aire frío, depende a diario de cómo se rompa el equilibrio térmico. Sin embargo, teniendo en cuenta el largo recorrido que hacen los vientos provenientes del Valle del Magdalena, no son muy frecuentes variaciones marcadas de temperatura en la mañana, al medio día y en la noche. En la meseta, los cambios de temperatura que se presentan entre el día y la noche generan, por su diferencia, una condición favorable para la producción de frutales.

Los factores climáticos en el Municipio están determinados por su topografía quebrada debida la posición fisiográfica que ocupa entre el valle del Magdalena Medio santandereano y el macizo de Santander, y por su altitud, que oscila entre los 150 y 1.350 metros sobre el nivel del mar (msnm). Está enmarcado por el valle del río Lebrija, al norte, el filo del Palonegro al oriente, la influencia del valle del río Sogamoso al sur, y al sur occidente, Río Sucio,

La Gomeros y Doradas de por medio, recibe el efecto directo del valle del Magdalena Medio. Este último sector se caracteriza por una mayor concentración de humedad, producto de la influencia del valle del Magdalena Medio santandereano, por el mejor estado de su vegetación natural y porque tiene una mejor disposición de agua en el suelo. Tiene zonas de producción agrícola y rastrojos altos y bajos sobre las laderas empinadas, a la vez que cuenta con terrenos semiplanos y de poca pendiente.

La subdivisión más elemental del clima en el Municipio son los pisos térmicos cuya distribución es la siguiente: piso térmico cálido con una temperatura promedio de 24.5°C y alturas entre 150 - 1.000 msnm, y térmico templado.

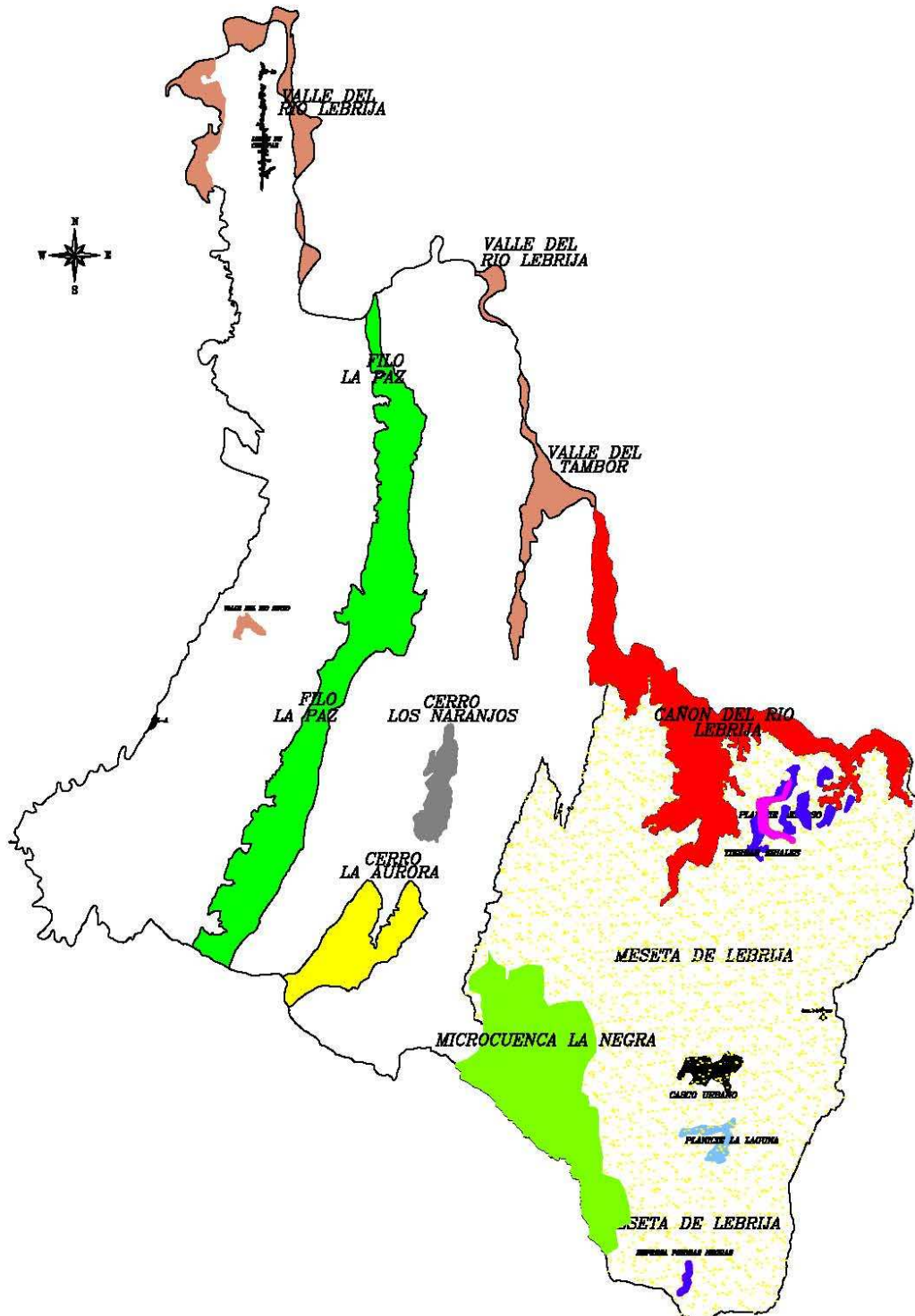


Figura 1. Relieve del municipio de Lebrija



Figura 2. División política del municipio de Lebrija

1.1.1 Economía

La actividad económica en el municipio de Lebrija, esta soportada básicamente en el sector primario de la economía, principalmente en los subsectores agrícola y pecuario, de donde derivan sus ingresos cerca del 80% de la población. En similar proporción, es el sector primario el principal contribuyente al fisco municipal, vía impuesto predial y complementarios. La actividad en el sector agrícola es muy dinámica y variada, pero con muy serios problemas de rentabilidad y productividad de la cadena productiva; en lo referente al sector pecuario, existen dos tendencias: una formada por empresarios bien capacitados, con altos niveles de tecnificación y con inversiones en infraestructura adecuada y moderna, quienes se dedican a la avicultura y a la ganadería; otro sector de los productores pecuarios que tienen una actividad de ganadería extensiva en zonas apartadas del municipio con tecnologías poco avanzadas, y finalmente hay otros productores artesanales en porcicultura y piscicultura, quienes desarrollan una actividad de baja rentabilidad y con dificultad logran mantenerse frente a los productores más tecnificados.

1.1.1.1 Subsector agrícola

El sistema productivo corresponde a actividades en cultivos de clima medio y con un régimen de lluvias que fluctúa entre los 800 mm y los 2400mm año y temperatura media de 18° y 24°C y alturas que varían desde los 500 hasta los 1400msnm, en suelos con pendientes desde 2% hasta el 60% o superiores. Son suelos generalmente bien drenados, muy superficiales, susceptibles a procesos erosivos tanto hídricos como eólicos donde es fácil encontrar cárcavas, surcos y derrumbes.

Los suelos son agrónomicamente muy pobres en materia orgánica y en nutrientes minerales, generalmente de pH fuertemente ácido a moderadamente ácido.

La actividad agrícola es muy variada, pero puede afirmarse que su principal vocación está orientada por las frutas, principalmente: Piña, Mandarina, Limón Tahití, Naranja, Maracayá, Guanábana y Aguacate, en el campo de las hortalizas legumbres y verduras se cultivan en pequeña y mediana escala: Tomate, Pepino, Pimentón, habichuela, Ahuyama, Yuca, Plátano, Frijol y Maíz entre otros. Aunque existen algunas veredas del municipio “especializadas” en alguno de los cultivos mencionados, no puede afirmarse que la actividad de siembra que se está desarrollando en cada unidad productiva se dirija con exclusividad hacia el monocultivo, salvo muy contadas excepciones los agricultores tienen sus fincas más o menos diversificadas.

El sistema de producción para las actividades agrícolas se desarrolla en el 47.5% de las tierras del municipio (24.735 hectáreas); predios con tamaño promedio menores a 6Ha, en suelo tipos VII, con limitaciones severas para el desarrollo de los cultivos de Piña, Mandarina, Limón Tahití, Naranja, Maracayá, Guanábana, Aguacate, Tomate, Pepino, Pimentón, habichuela, Ahuyama, Yuca, Plátano, Frijol y Maíz entre otros.

La capacidad técnica operativa de la mano de obra es de baja especialización, en razón de que el 72,46% de la población vinculada a la fuerza laboral tiene muy bajos niveles de escolaridad, situación originada por la necesidad de vincular mano de obra familiar sin remuneración a las actividades agrícolas. En términos generales no se permite y por el contrario no se estimula la escolarización de la población rural; esto se puede ver con claridad en los distintos sistemas productivos.

El área cultivada en Piña es de aproximadamente 5074Ha, con un volumen de producción de 140.800Ton/año y un valor cercano a los 40.000 millones de pesos. La piña constituye la principal actividad agrícola del municipio y de él derivan el sustento cerca de 1800 familias y representa el 35.04% del área cultivada. En este sistema el 80% de las plantaciones son menores a 5Ha y predomina el trabajo familiar, con regularidad se emplea mano de obra contratada. Se generan aproximadamente 3552 empleos directos[1] .

1.2 LOCALIZACIÓN FINCA EL CABALLITO

La finca el Caballito tiene una extensión aproximada de tres hectáreas y se ubica a unos 1146 msnm correspondiendo a la zona climática premontano templado, el cual contiene el piso térmico medio, que se localiza entre los 1.000 y los 1.350 msnm en la mesa de Lebrija. Se ubica geográficamente al norte: $0,7^{\circ}0,7' 46,3''$ y al oeste: $0,73^{\circ}11' 42,9''$, según la parrilla WGS 84.

Actualmente, la finca en sus dos terceras partes posee cultivos de cítricos (mandarina, naranja, limoneros), mango, yuca, aguacates y cacao; sin obtener cosechas satisfactorias. Las características del terreno restante, no ha facilitado su cultivo y es objeto de estudio de la presente monografía.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 SUELOS AGRÍCOLAS

2.1.1 Definición

El suelo es un cuerpo en constante transformación. Estas transformaciones son físicas, químicas y biológicas y ocurren especialmente en la capa superficial hasta una profundidad de aproximadamente 25 cm. Estas transformaciones provocan un cambio gradual y constante en las propiedades del suelo, afectando sus principales constituyentes como son materias sólidas, agua y aire. La intensidad y naturaleza de tales reacciones son influidas y frecuentemente dominadas por las siguientes condiciones.

- Condiciones climáticas, como lluvia, viento y temperatura.
- Prácticas agrícolas, como aradura y fertilización [2].

El efecto combinado de estas reacciones resulta en transformaciones de suelos que pueden ser adecuadas o inadecuadas para la formación de raíces y consecuentemente para la producción de cultivos. De esta forma las actividades importantes para un adecuado crecimiento de las plantas son:

- Desarrollo de una estructura del suelo con una proporción balanceada de materiales sólidos, agua y aire.
- Conservación de una buena estructura del suelo.
- Suministro de nutrientes.
- Evitar reacciones extremas del suelo agrícola.

La falta de una o más de estas actividades pueden traer como resultado el empobrecimiento de los suelos, convirtiéndolos en terrenos inadecuados para la producción eficiente de los cultivos.

2.1.2 Formación

Los suelos se han formado de materiales madres por la influencia de los procesos de desintegración y traslocación durante largos periodos de tiempo.

Las actividades físicas y químicas desintegran las rocas y los fragmentos de estas, transformándolas en minerales gruesos y finos que vienen a ser lo que se conoce posteriormente como suelo.

La desintegración física del suelo es causada por las siguientes acciones:

- Cambios diarios y estacionarios de temperatura.
- Hielos y deshielos.
- Erosión.
- Practicas agrícolas.
- Acción de plantas y animales.

La descomposición química del suelo es el resultado de las siguientes acciones:

- Disolución de las materias solubles.
- Reacciones de las partículas solidas con la solución del suelo.
- Reacciones de los constituyentes con el aire.
- Reacciones de los constituyentes con las raíces.

2.1.3 Influencia de los factores climáticos

Precipitación: las altas precipitaciones originan corrientes de agua, estas arrastran las partículas medias y finas de la superficie y las depositan en terrenos bajos.

Acción del viento: este arrastra las partículas minúsculas del suelo, según la dirección que lleve, abandonándolas cuando reduce suficientemente su velocidad.

Temperatura: como resultado de las bajas temperaturas se forman las masas de hielo. Estas transportan parte del material madre como encerrado en ellas, dejándolo en el lugar donde el hielo se retira [3].

2.1.4 Componentes

Los componentes del suelo determinan en gran medida sus características.

La capa cultivable del suelo consta de un 50% de materiales sólidos, divididos en un 45% de partículas y un 5% de material orgánico; además de un 25% de agua y un 25% de aire. Estos componentes se encuentran mezclados y subdivididos de tal manera que el agua y el aire, llenan los poros que quedan entre las partículas sólidas.

Comparado con la capa cultivable, el subsuelo contiene cantidades mayores de sustancias minerales, pero cantidades menores de materia orgánica.

La parte mineral del suelo se deriva del material madre o de los fragmentos depositados. Esta es la fuente principal de los nutrientes propios del suelo tales como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

El suministro potencial de estos nutrientes varía de acuerdo con el origen, la clase y el tamaño de las partículas minerales [2].

La materia orgánica del suelo representa una acumulación de plantas frescas, de vegetales parcial o completamente descompuestos y de residuos animales. Su contenido es inestable por la acción de los microorganismos del suelo. Por lo tanto de se debe mantener constante el contenido de materia orgánica [4].

El contenido de agua en el suelo puede variar considerablemente. La lluvia y la irrigación son factores importantes en estos aspectos. El agua en el suelo desempeña las siguientes funciones:

- Satisface los requerimientos de humedad de las plantas.
- Disuelve los nutrientes, formando una solución que es absorbida por las raíces.
- Controla el volumen de aire en el suelo.
- Controla la fluctuación de la temperatura en el suelo.

La cantidad de agua disponible a los cultivos es de decisiva importancia para el desarrollo y rendimiento de los mismos.

En cuanto al aire, teniendo en cuenta que consiste en una mezcla de gases, llenan parte de los poros en el suelo. Parte de los gases puede ser absorbida por las raíces y por los microorganismos o puede ser disuelta en la reacción del suelo.

Los componentes gaseosos deben estar en proporción con el agua para que las raíces de la planta se desarrollen normalmente. La acumulación de ciertos gases, en detrimento de otros, pueden ocurrir después de una fuerte

precipitación y por la formación de costras en la superficie. Una labranza a tiempo para destruir las costras formadas puede reactivar el cambio del aire entre el suelo y la atmosfera y restituir así el balance de gas en el suelo [5].

2.1.5 Textura

La textura del suelo se refiere a la composición del mismo en grupos de partículas de diferentes tamaños.

Tabla 1. Textura del suelo

Tamaño	Nombre	Identificación
Muy grueso	Piedras y grava	A simple vista
Grueso (>0.050mm)	Arena	A simple vista
Fino (0.02-0.05mm)	Limo	Con microscopio
Muy fino (<0.02mm)	Arcilla	Con microscopio

Los suelos pueden clasificarse en: arenosos, limosos y arcillosos, dependiendo del grupo de partículas que predominan en ellos. Los suelos que contienen arena, limo y arcilla, en ciertas proporciones se llaman suelos francos. Los suelos Intermedios se denominan, franco-arcillosos, franco-arenosos o franco-limosos.

Para determinar la textura se utilizan los triángulos texturales, a partir de los resultados provenientes del análisis de laboratorio. El triángulo más usado es el diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos "USDA" por sus siglas en ingles, que se muestra en la figura 3. Con excepción de la clase franca, los nombres de las clases texturales identifican al o los separados texturales que dominan las propiedades del suelo, aunque rara vez un suelo está constituido de un solo separado [6].

poco agua y nutrientes por lixiviación. Los mejores suelos agrícolas quedan dentro de este rango.

Suelos franco-arcillosos y arcillosos: tienen poca penetración de agua, retienen grandes cantidades de humedad, parte de la cual no está disponible para la planta. La pérdida de nutrientes en estos suelos es muy reducida. Carece de porosidad y contiene poco aire. Sus principales problemas son el apelmazamiento, la formación de costras, el drenaje y la labranza. Para prevenir el apelmazamiento del suelo y la formación de terrones grandes, se aplica cal y materia orgánica [7,8].

2.1.6 Estructura

La consistencia del suelo, basada en su condición de partículas separadas o desde el punto de vista de la formación de granos, migajones, agrupamientos e inclusive masas compactas, se conoce como estructura del suelo.

Las estructuras favorables y desfavorables del suelo pueden describirse como:

Grano solo: las partículas están separadas entre sí como en el caso de la grava y la arena. Su estructura es desfavorable, porque en este caso contiene solamente poros chicos entre las partículas.

Apelmazamiento: son grandes masas uniformes y selladas, como en el caso de suelos arcillosos y subsuelos compactos. Su estructura también es desfavorable.

Migajón: son agregados generalmente porosos de formas irregulares. Este es el mejor tipo de estructura del suelo, porque contiene poros grandes y poros pequeños en proporciones adecuadas.

La estructura determina la proporción con que el agua y el aire pueden atravesar las diferentes capas del suelo y el grado en que el agua y el aire pueden ser retenidos en los poros. La penetración de las raíces, su anclaje y el drenaje dependen también de la estructura del suelo.

La estructura puede cambiarse para mejorar las condiciones del suelo y obtener un crecimiento óptimo de la planta. Para establecer y mantener una buena estructura del suelo, es necesario tomar las siguientes medidas [2]:

- Aplicar materia orgánica al suelo.
- Aplicar cal cuando sea necesario.
- No utilizar maquinas en suelos demasiados húmedos.
- Evitar el apelmazamiento del suelo por maquinaria pesada.
- Proteger la superficie del suelo con vegetación o residuos.
- Mantener suelta la capa superficial del suelo.

2.1.7 Perfil

Cuando se hace un corte vertical del suelo, se observan varias capas que varían en espesor, profundidad, color, textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica y que dependen de las condiciones en que se ha formado ese suelo. Estas capas se denominan horizontes del suelo y básicamente son cuatro: mantillo (horizonte 0), horizonte A, B y C.

Mantillo: es la capa de residuos vegetales y minerales en descomposición, o materia orgánica. Los suelos que conservan esta capa protectora retienen la humedad y no están expuestos a la erosión.

Horizonte A: bajo el mantillo esta el horizonte A, en donde ocurren la mayor actividad biológica y el máximo lavado. Esta capa es por lo general de colores oscuros, aunque pueden ser rojos, grises u otros. Se pueden encontrar raíces en descomposición y muchos animales, como la lombriz de tierra. El horizonte A es muy importante, pues aquí las plantas desarrollan la mayor parte de su sistema radicular y es el más rico en nutrientes; también se deteriora fácilmente y se destruye por quemas, erosión y mal manejo. El mejoramiento de este horizonte se logra mediante la aplicación de materia orgánica y prácticas de conservación que eviten la erosión.

Horizonte B: este horizonte se encuentra inmediatamente abajo del horizonte A, en este ocurre la máxima acumulación de materiales lavados desde el horizonte A; tiene menor cantidad de humedad y color menos oscuro, aunque puede ser de varios colores, especialmente rojizo, dependiendo de la composición del suelo. Este horizonte es más duro, aquí la actividad biológica es poca, no hay circulación de aire y solo algunas plantas logran penetrar sus raíces hasta esa parte. Si un suelo está erosionado, queda expuesto este horizonte que puede ser menos fértil y con presencia de piedras de regular tamaño.

Horizonte C: corresponde al material meteorizado, con o sin piedras de diferente tamaño. Su coloración es variada y ofrece muy poco alimento para las plantas.

2.1.8 Color

El color del suelo es el resultado de las cantidades de materia orgánica y de algunos minerales específicos. El color no siempre es un indicador de la fertilidad, pero existe una relación entre el color del subsuelo y el drenaje.

Tabla 2. Relación entre el color del suelo y el drenaje [3]

Color del subsuelo	Drenaje
Rojo	Excelente
Rojo café o café	Bueno
Amarillo brillante	Medio
Amarillo Pálido	Moderado
Gris	Malo

2.2 PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

La productividad del suelo se define como su capacidad para producir cultivos. Para que el suelo sea productivo es necesario que sea fértil; sin embargo, un suelo fértil no es necesariamente productivo.

2.2.1 Fertilidad

Un suelo es fértil si contiene y suministra a las raíces cantidades adecuadas de nutrientes, agua y aire para que el cultivo crezca y produzca bien. Un suelo fértil tiene una estructura y profundidad adecuada para proporcionar un ambiente favorable al desarrollo de las plantas. Un buen suelo mantendrá sus condiciones favorables durante un largo periodo, inclusive ante influencias adversas climáticas y de vegetación.

El agricultor tiene la posibilidad de mantener y mejorar la fertilidad natural del suelo a través de la aplicación de medidas como las siguientes [9]:

- Análisis de suelos para determinar el suministro necesario de nutrientes.
- Preparación adecuada del suelo.
- Aplicación de fertilizantes de acuerdo con los análisis y necesidades de los cultivos.
- Adecuada rotación de cultivos.

2.2.2 Materia orgánica

La materia orgánica esta formada de materiales frescos, plantas parcial y completamente descompuestas y humus. El humus es el producto final de la descomposición.

La materia orgánica tiene un impacto definitivo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Es importante por:

- Mejorar los suelos tanto arcillosos como arenosos en su condición estructural.
- Compensar la alta cohesión y plasticidad de la arcilla en los suelos.
- Mejorar la capacidad de retención de agua en suelos arenosos.
- Proporcionar nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y azufre. Abastece más del 99% del nitrógeno total, del 6 al 33% del fósforo total y alrededor del 75% del azufre total.
- La actividad de la descomposición de la materia orgánica hace llegar a una condición de aprovechabilidad de nutrientes.

- La materia orgánica suministra energía a los microorganismos del suelo; sin esta no habría actividad biológica, ni descomposición de los materiales orgánicos.

La reposición del contenido de materia orgánica después de un agotamiento es un proceso lento, por lo que se deben tomar medidas correctivas a través de la producción e incorporación de abonos verdes y residuos animales, y de la constante restitución de los residuos vegetales de las cosechas [5].

2.2.3 Nutrientes

Para mantener un crecimiento sano de la planta, es necesario que el suelo posea un amplio rango de nutrientes. Las plantas absorben los elementos nutritivos en ciertas proporciones y es importante que los nutrientes se mantengan balanceados en el suelo para satisfacer las necesidades individuales de los cultivos.

Los elementos nutritivos se clasifican en macroelementos, elementos secundarios y microelementos, de acuerdo con las cantidades que las plantas necesitan para su desarrollo. En tabla 3 se presenta esta clasificación.

Tabla 3. Nutrientes del suelo

Macroelementos	Elementos secundarios	Microelementos
NITROGENO (N)	CALCIO (Ca)	MANGANESO (Mn)
FOSFORO (P)	MAGNESIO (Mg)	COBRE (Cu)
POTASIO (K)	AZUFRE (S)	ZINC (Zn)
		HIERRO (Fe)
		MOLIBDENO (Mo)
		BORO (B)

Macroelementos

Nitrógeno. El nitrógeno es fácilmente soluble en el agua del suelo y es solo parcialmente retenido por las partículas de este. El nitrógeno alimenta a los microorganismos y favorece así la descomposición de la materia orgánica fresca. Se pierde fácilmente por lixiviación.

La fuente primaria de nitrógeno es la atmosfera, donde este elemento ocupa 79% del volumen de los gases.

En el suelo, la fuente de nitrógeno es la materia orgánica, la cual es transformada por acción de las bacterias a compuestos inorgánicos se nitrógeno a través de procesos de mineralización.

La quinta parte de la materia orgánica en el suelo corresponde a nitrógeno total, pero solo en un porcentaje bajo de este nitrógeno (entre 1.5 y 2.7% según el clima) logra ser mineralizado por las bacterias nitrificantes y dejado a disposición de las plantas.

Las plantas, como todos los organismos, requieren nitrógeno para su crecimiento y su reproducción. El nitrógeno es un constituyente de todas las proteínas, de todas las enzimas y de muchos productos metabólicos intermedios. Es el elemento mineral que más consumen los cultivos.

Las plantas utilizan o absorben el nitrógeno en dos estados a saber:

- Estado amoniacal (NH_4^+).
- Estado nitrato (NO_3^-)
- El ion nitrito (NO_2^-) puede ser tóxico en pequeñas cantidades para la mayoría de las plantas

Las funciones generales del nitrógeno en la planta son:

- Formar parte esencial del proceso de fotosíntesis generando el color verde a las plantas.
- Promover su crecimiento rápido
- Aumentar el contenido de proteínas en los productos de las cosechas alimenticias.
- Es nutrimento de los microorganismos del suelo que actúan en la descomposición de la materia orgánica.
- El exceso de nitrógeno favorece excesivamente el crecimiento vegetativo, disminuye la absorción del potasio y retarda la maduración.

Por ser un elemento de **alta movilidad** en la planta, sus **síntomas visuales de deficiencia** se observan en hojas viejas, con las siguientes características:

- Amarillamiento y caída de las hojas más viejas.
- Reducción en el crecimiento de la parte aérea y raíces.
- Tallos cortos y delgados.
- Caída prematura de hojas y supresión del crecimiento lateral.

Fósforo. El fósforo reacciona rápidamente con otros elementos químicos del suelo, formándose componentes menos solubles, por lo que solo reducidas proporciones quedan disponibles a la planta.

Con respecto a la disponibilidad de este nutriente, la acidez registrada en más del 70% de los suelos del país es la responsable de la baja solubilidad o disponibilidad de fósforo para las plantas, principalmente en suelos de pH menores a 5.5 con altas concentraciones de aluminio intercambiable. Es necesario aplicar grandes cantidades de fósforo en suelos ácidos caoliníticos

de colores pardo amarillentos o pardo rojizos en suelos negros paperos derivados de ceniza volcánica, debido a la alta fijación o insolubilización del fósforo, promovida por las altas concentraciones de aluminio y hierro frecuentes en estos suelos.

Debido al fenómeno de **fijación del fósforo**, cultivos como la papa, cuya necesidad de fósforo es inferior en 50% a la de nitrógeno y potasio, deben recibir en la práctica de fertilización, mayores cantidades de fósforo que de nitrógeno y potasio, esto explica porque se usan las formulas de fertilizantes compuestos 1N: 3P₂O₅ : 1K₂O (10:30:10, 13:26:6, 12:34:12 etc).

Las formas aprovechables de fósforo en los suelos agrícolas son:

- Ion monofosfato (H₂PO₄⁻)
- Ion difosfato (HPO₄⁼)

Las funciones generales del fósforo en la planta son:

- Estimula el desarrollo de las raíces y, por consiguiente, el crecimiento aéreo de la planta.
- Acelera la maduración.
- Es indispensable en la formación de semillas y en la transmisión de factores hereditarios.
- Es responsable de la utilización del azúcar y del almidón.
- Participa en reacciones de fosforilación (transporte de energía), fotosíntesis, respiración y en la síntesis de carbohidratos.

Por ser un elemento **móvil** en la planta, sus **síntomas visuales de deficiencia** se manifiestan generalmente en hojas viejas con las siguientes características:

- Coloración roja o púrpura en las hojas más viejas de la planta.
- Las raíces detienen su crecimiento y poseen poca ramificación.
- La madurez de la planta se retarda.
- Los cultivos más susceptibles a deficiencias de fósforo son: maíz, papa, arroz, trigo, cebada y hortalizas de hoja.

Potasio. El potasio aparentemente no hace parte integral de los componentes de la planta, como el protoplasma, las grasas y la celulosa.

A diferencia del nitrógeno y el fósforo que provienen principalmente de los compuestos orgánicos, el potasio en el suelo tiene su origen a partir de los minerales primarios, ricos en potasio como feldespatos potásicos (ortoclasa, microclina) y de las micas (biotita y muscovita). A nivel de los minerales secundarios el potasio se encuentra en la fase intercambiable de varios tipos de arcillas como illita (es una mica hidratada), vermiculita y montorillonita. Generalmente, los suelos en donde predominan estas arcillas poseen buenos contenidos de potasio en la fase intercambiable y por lo tanto el flujo de este elemento a la solución del suelo es adecuado para la nutrición de las plantas.

La forma disponible del potasio en el suelo es el estado iónico K^+ , el cual es fácilmente almacenado en la fase intercambiable. En Colombia el potasio no es un elemento limitante, la mayoría de las pruebas de fertilidad han demostrado que aunque las plantas extraen grandes cantidades de potasio, la fertilización con fuentes de potasio ha tenido moderada a baja respuesta.

Las **funciones generales** del potasio en la planta parece ser más bien de tipo catalítico, como las mencionadas a continuación:

- Le imparte a la planta vigor y resistencia a las enfermedades. Ofrece un carácter de turgencia a las hojas.
- Ayuda a la planta a la producción de proteínas.
- Es esencial en la producción de azúcares, almidones y aceites.
- Mejora la calidad de las cosechas.
- Controla y regula la actividad de varios elementos minerales, especialmente, nitrógeno.
- Neutraliza fisiológicamente ácidos orgánicos.
- El exceso de potasio disminuye la absorción de nitrógeno y deprime la producción.

Por ser un elemento **muy móvil** en la planta, sus **síntomas de deficiencia se manifiestan** generalmente en hojas medias y viejas de la planta con las siguientes características:

- Secamiento y quemazón de puntas y bordes de las hojas, progresando de las márgenes hacia el centro de las hojas. Generalmente, la vena central de la hoja permanece verde.
- En estados avanzados de deficiencia se observa quemazón marginal de hojas y muerte de tejidos.
- Los cultivos más susceptibles a las deficiencias de potasio son los que tienen un alto índice de producción de azúcares, almidones y aceites como: papa, tomate, banano, caña de azúcar, tabaco, palma africana, trébol, alfalfa, cebolla, yuca, arroz, café, maíz, cacao y frutales caducifolios (manzana, pera).

Elementos secundarios

Calcio. El calcio promueve la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes. A la vez, mejora la estructura del suelo y la retención

del agua. Sin embargo un exceso de calcio provoca una deficiencia de potasio, fosfato, magnesio, zinc y hierro.

Todas las plantas contienen calcio, es un elemento nutritivo importante para su crecimiento. Los animales deben encontrar en sus alimentos las cantidades de calcio que necesitan, en asociación con el fósforo, para la formación de su esqueleto. Un contenido insuficiente de fósforo y calcio pueden provocar enfermedades óseas, como el raquitismo.

Las **funciones generales** de calcio en la planta son:

- Aumenta el contenido de calcio de los cultivos alimenticios, especialmente importantes para los animales y el hombre que necesitan de calcio para su salud y crecimiento.
- Aumenta la absorción del nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-).
- Neutraliza el efecto del aluminio tóxico en suelos ácidos.
- Influye en la absorción de otros elementos nutritivos como nitrógeno, magnesio y potasio.
- Estimula la producción de granos y semillas.

Por ser un elemento de **baja movilidad** en las plantas, sus **síntomas visuales de deficiencia** aparecen primero en las hojas jóvenes y cerca de las puntas de crecimiento de los tallos y raíces, con las siguientes características:

- Deformación severa de hojas jóvenes con las puntas enroscadas hacia abajo y las márgenes enroscadas hacia arriba, caso del café.
- Las puntas o brotes de crecimiento a menudo mueren.
- Las márgenes de las hojas son de apariencia irregular y se rasgan mostrando quemazón parda.

- En cultivos como el tomate su deficiencia se reconoce por el necrosamiento y pudrición de la base del fruto.
- Los cultivos más susceptibles a las deficiencias, de calcio, son los que producen frutos subterráneos como la papa, zanahoria, remolacha y maní. Las leguminosas de grano (frijol, soya, habichuela), el tomate, los tréboles, la alfalfa y los frutales caducifolios (principalmente manzano), son igualmente susceptibles a deficiencias de calcio en el suelo.

Magnesio. El comportamiento del magnesio es similar al del calcio. Es parcialmente soluble al agua y por esto susceptible a la lixiviación. Es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y está localizado por la parte central. Parece que está relacionado con el metabolismo del fósforo y se considera que es específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos.

Las **funciones generales** del magnesio en las plantas son:

- Es parte esencial de la clorofila.
- Es necesario en la formación de azúcares.
- Actúa como transportador de fósforo en la planta.
- Propicia la formación de aceites y grasas.
- Regula la absorción de otros elementos nutritivos como fósforo, potasio y calcio.
- Interviene en la traslocación del almidón.

Por ser un elemento **móvil** en la planta, sus **síntomas visuales de deficiencia** aparecen a menudo primero en las hojas medias y bajas, con las siguientes características:

- Clorosis intervenal de las hojas. En estados avanzados el tejido foliar toma un color amarillo pálido uniforme, luego un color pardo y finalmente muere.
- Defoliación o caída de hojas son marchitamiento como en el caso del manzano.
- Los cultivos más susceptibles a las deficiencias de magnesio son: cítricos, manzano, coliflor, brócoli, maíz, avena, papa, frijol, trébol, alfalfa y palma africana entre otros.

Azufre. El azufre llega al suelo desde el aire, en la lluvia y el agua de riego y en la materia orgánica. Ayuda a la liberación de los nutrientes en el caso de un alto contenido de calcio en el suelo, porque baja el pH.

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas: participa en múltiples procesos y es de los más importantes para la síntesis de aminoácidos (cistina, cisteína y metionina). Además, es de vital importancia en la nutrición humana y animal.

La insuficiencia de azufre disponible para las plantas afecta el rendimiento de los cultivos y la calidad de las cosechas pues la síntesis de proteína se interrumpe al igual que cuando hay deficiencia de nitrógeno.

Las plantas utilizan el azufre de la solución del suelo en la forma de ion sulfato (SO_4^-).

Una fertilización a base de **PKS** representa en muchos suelos, la diferencia entre hacer rentable o no el uso de fertilizantes, ya que la respuesta de los cultivos a los elementos primarios **NPK** puede limitarse por la deficiencia de azufre.

Las **funciones generales** del azufre en las plantas son:

- Ayuda a mantener el color verde intenso de las hojas.
- Propicia la formación de nódulos en las leguminosas.
- Estimula la producción de semillas y mejora la calidad de los granos y aceites.
- Se requiere para la síntesis de los aminoácidos que contienen azufre y para la síntesis de proteínas.
- En ciertas formas moleculares, corrige la alcalinidad del suelo (corrección de suelos sódicos).

El azufre es un elemento **móvil** en la planta y los **efectos de su deficiencia** se parecen o son similares a las deficiencias de nitrógeno. Algunos síntomas son los siguientes:

- Las hojas presentan un color verde pálido o amarillo especialmente entre las venas. La clorosis se generaliza en la hoja haciéndose más severa en las hojas más viejas.
- Algunos cultivos como cítricos, tabaco y algodón manifiestan sus deficiencias en las hojas jóvenes, las cuales muestran un color verde pálido y las venas pueden ser más cloróticas que el resto de la hoja. Coloración roja se puede presentar en el caso de algodón.
- Los cultivos más susceptibles a la deficiencias de azufre son el maíz, tabaco, cítricos, algodón, leguminosas, pastos, papa y café.

Microelementos

Estos nutrientes se requieren solo en cantidades pequeñas y muy limitadas. No obstante la deficiencia de uno o más de estos nutrientes puede tener influencia sobre el rendimiento y desarrollo de los cultivos [5, 10].

2.2.4 Absorción de nutrientes

Las plantas pueden absorber los nutrientes a través de las raíces, los tallos y las hojas. Sin embargo la mayor parte de los nutrientes es captada por las raíces. Los nutrientes entran a la planta solo en forma de soluciones. La absorción más intensa de nutrientes se realiza a través de los pelos absorbentes. Las raíces viejas han perdido la habilidad para absorber los nutrientes y sirven para transportar los elementos hacia la parte alta de la planta.

Al penetrar en las capas del suelo, los finísimos pelos absorbentes entran en íntimo contacto con las partículas minerales y con el agua del suelo. En el agua se disuelven los nutrientes.

Los elementos requeridos por la planta entran por el intercambio que se realiza entre los pelos absorbentes, la solución y los minerales alrededor de ellos. Para compensar los elementos absorbidos, las raíces pequeñas exudan otros.

La intensidad de absorción de los nutrientes es afectada por los siguientes factores [5]:

- Presencia de suficiente aire fresco en los espacios del suelo. Esta es muy importante para el desarrollo y actividad de los pelos absorbentes. Una labranza adecuada puede renovar el aire del suelo.
- La humedad del suelo, que lleva los nutrientes en la solución haciéndolos disponibles a la planta.
- La densidad y la distribución del sistema radicular. Que determina las cantidades de nutrientes que pueden ser absorbidos.

2.2.5 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La fotosíntesis y las relaciones de intercambio iónico (en especial en intercambio de cationes) son las reacciones químicas más importantes en todo el dominio de la agricultura. De hecho, varios autores han demostrado que la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes es el mejor índice de la fertilidad del suelo.

Los cationes son los iones con carga positiva de los nutrientes calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), sodio (Na^+), hidrogeno (H^+), amonio (NH_4^+), aluminio (Al^{+++}) y otros.

Las partículas de arcilla son los componentes de carga negativa del suelo. Dichas partículas (arcilla) atraen, retienen y desprenden partículas de nutrientes con carga positiva (cationes). Las partículas de materia orgánica poseen también una carga negativa (radicales COOH^+ y OH^+), por lo cual atraen cationes de carga positiva. Las partículas de arena no tienen reactividad.

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes y dependerá del número de cargas negativas existentes en la superficie de la arcilla y de la materia orgánica. La fuerza de la carga positiva de un catión varía permitiendo que un catión reemplace a otro en una partícula del suelo con carga negativa.

Como regla, con grandes cantidades de arcilla y materia orgánica tendrán una mayor capacidad de intercambio catiónico que los suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica. También los suelos con predominio de

arcillas – montmorillonita tendrán mayor capacidad de intercambio catiónico que los suelos en los que predominan arcillas – caolinita.

En términos prácticos, la capacidad de intercambio catiónico mide la cantidad de cationes expresada en miliequivalentes por 100 gramos (meq./100g) de suelo seco al horno (105°C). En términos generales, un estimativo conceptual de la CIC en los suelos es el siguiente:

menor de 10meq./100g.....	Baja
de 10 a 20meq./100g.....	Media
mayor de 20meq./100g.....	Alta

Es deseable que un suelo presente una CIC alta, asociada con una buena saturación de bases, ya que esto indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de calcio, magnesio y potasio. Cuando un suelo presenta baja CIC es índice de baja fertilidad y es necesario fraccionar las aplicaciones de fertilizantes para no perder los nutrientes por lavado (caso de suelos arenosos con baja materia orgánica) [10].

2.3 LA REACCIÓN DEL SUELO

2.3.1 Acidez y su control

La reacción del suelo (pH) es una propiedad química muy importante. Tanto las propiedades físicas, como las químicas y biológicas son influenciadas por esta característica.

La adecuación del suelo, como medio para el desarrollo de las plantas y de los microorganismos deseables, depende de que el suelo sea ácido, neutro o alcalino.

La acidez del suelo está asociada con la presencia de hidrogeno y aluminio en forma intercambiable.

Por encima de cierto valor, la acidez del suelo puede ser un factor limitante para obtener buenos rendimientos en la mayoría de los cultivos, por esto es importante conocer los efectos perjudiciales del exceso de acidez y la manera de corregirlos, así como también los beneficios del encalamiento.

2.3.2 Naturaleza y origen de la acidez

Los suelos son ácidos por una o más de las siguientes razones:

- Lixiviación a causa de lluvia intensa.
- Material parental de origen ácido.
- Empleo de fertilizantes de origen ácido.
- Acción microbiana.
- Radicales ácidos de la materia orgánica.

2.3.3 El pH del suelo

El pH es una de las propiedades químicas más importantes de los suelos. Influye sobre los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- Solubilidad de los nutrientes.
- Controla la clase y tipo de actividad microbiana.
- Actúa sobre la mineralización de la materia orgánica.
- Regula la concentración de iones tóxicos en el suelo como aluminio, sodio y sales.

- Controla la capacidad de intercambio catiónico y aniónico en el suelo.
- Presencia de enfermedades e insectos plagas en el suelo [3, 5, 10].

2.3.4 Clasificación de la acidez del suelo según el pH

Se mide en la relación suelo-agua y comprende los iones H^+ en la solución del suelo. Es equivalente a la medida del pH en solución suelo-agua. La interpretación de esta acidez está en la siguiente tabla:

Tabla 4. Clasificación de suelos según el pH [10]

Reacción del suelo	Rango de pH	Interpretación manejo del suelo
Muy alcalino	Mayor de 8.0	Exceso de sodio, se inhibe el crecimiento de la mayoría de las plantas
Alcalino	7.4 a 8.0	Exceso de carbonatos libres y/o, sales solubles. Baja disponibilidad de fósforo, boro, hierro y zinc.
Neutro a casi neutro	6.6 a 7.3	Adecuada disponibilidad de nutrientes.
Ligeramente ácido	6.1 a 6.5	Adecuada disponibilidad de nutrientes.
Moderadamente ácido	6.5 a 6.0	Moderada solubilidad de fósforo y mediana disponibilidad de calcio y magnesio. Algunas leguminosas requieren encalamiento
Muy fuertemente ácido	4.6 a 5.0	Presencia de aluminio en cantidades moderadas a altas, deficiencia de fósforo, baja disponibilidad de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio), necesidad de encalamiento.
Muy fuertemente ácido	4.6 a 5.0	
Extremadamente ácido	Menor de 4.5	

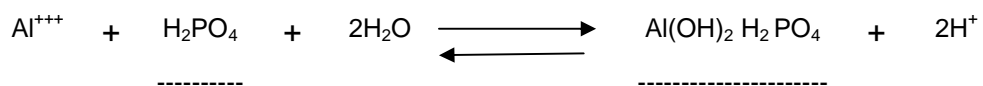
2.3.5 Relaciones entre el pH y otras propiedades químicas del suelo

Relación con la saturación de bases

- Cuando se pierden las bases del suelo (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) por proceso de lavado o lixiviación, los suelos se desaturan y el pH se torna ácido. Esto como ocurre en las regiones lluviosas del país. Esta es la causa del porque los suelos ácidos tienen baja concentración de bases.
- En las regiones secas, semiáridas y áridas del país, las bases se concentran en el suelo y los pH se tornan neutros a alcalinos.
- Suelos ácidos es sinónimo de baja saturación de bases.
- Suelos alcalinos es sinónimo de alta saturación de bases.

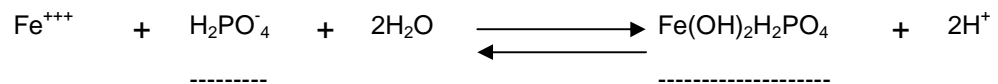
Relación con la disponibilidad del fósforo

- Cuando el pH disminuye o la acidez aumenta el fósforo se fija dando lugar a compuestos insolubles de hierro y aluminio. La fijación de fósforo es mayor cuando el pH es menor de 5. Las reacciones que ocurren en el proceso de fijación o insolubilización del fosforo por parte del aluminio y del hierro a pH menor de 5, son las siguientes:



Formas de fósforo solubles en agua y aprovechables por la planta

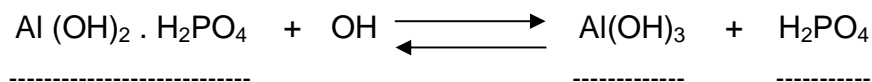
Fosfatos de aluminio insolubles en agua no aprovechables por la planta



Formas de fósforo solubles en agua y aprovechable por la planta

Fosfatos de hierro insolubles en agua no aprovechables por la planta

- A medida que el pH se hace menos ácido (pH 5.5 a 7), el fósforo aumenta su disponibilidad o solubilidad. La reacción que ocurre a estos pH es:



Fosfatos de aluminio insolubles en agua no aprovechables por la planta

Forma no tóxica de aluminio
 Forma de fósforo soluble en agua y aprovechable por la planta

- Con las anteriores reacciones químicas queda demostrado que en suelos ácidos con pH menor a 5.0 las plantas presentan deficiencia de fósforo debido a la fijación o insolubilización efectuada por parte del aluminio y el hierro. La mayor disponibilidad de fósforo en el suelo ocurre a pH entre 5.5 y 7.0, debido a que este pH el aluminio precipita como Al(OH)_3 y deja de ser tóxico.

Relación con la disponibilidad de nitrógeno

- A pH cercano a la neutralidad la actividad de microorganismos que participan en la descomposición y mineralización de la materia

orgánica es mayor; por lo tanto, será mayor el aporte de nitrógeno por procesos de nitrificación y fijación biológica.

Relación con la disponibilidad de azufre

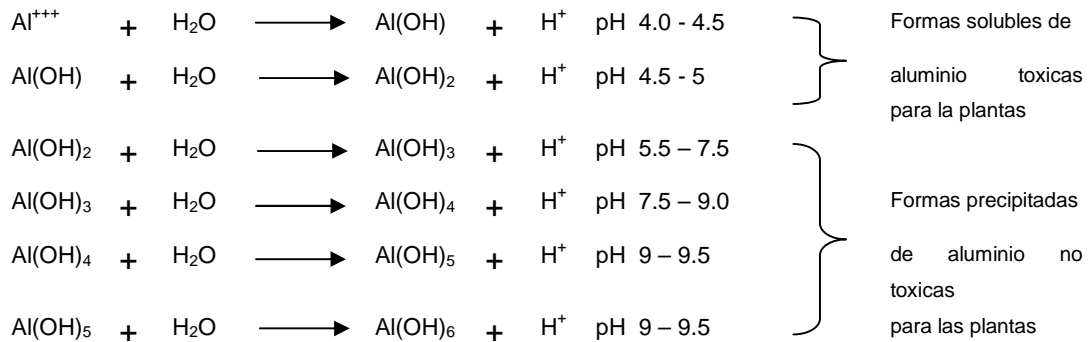
- La forma asimilable de azufre por las plantas es la de sulfatos (SO_4^{2-}).
- La elevación del pH aumenta la liberación de azufre de la materia orgánica por reacciones biológicas.
- Los iones de Al^{+++} y Fe^{+++} en suelos ácidos retienen o fijan altas cantidades de sulfatos [10].

2.3.6 Causas para el crecimiento pobre de las plantas en suelos ácidos

Toxicidad de aluminio y manganeso. En suelos ácidos a pH menor de 5.5, el aluminio (Al^{+++}) y el manganeso (Mn^{+++}) son muy solubles y alcanzan concentraciones tóxicas. Se ha encontrado que una parte por millón (ppm) de aluminio soluble afecta la mayoría de las plantas y que los niveles de toxicidad de manganeso están alrededor de 100 ppm en el suelo y 1000 ppm en las hojas.

La presencia de aluminio en el suelo, como se anotó anteriormente cuando se habló de la fijación del fósforo, depende del pH. La secuencia de las posibles formas de aluminio en el suelo depende de un proceso hidrolítico del aluminio, en donde cada forma de aluminio ocurre a un pH determinado.

Ejemplo:



En esta secuencia se puede concluir que por debajo de pH 5.5 las formas $\text{Al}(\text{OH})$ y $\text{Al}(\text{OH})_2$ son las responsables de los efectos adversos del aluminio sobre el crecimiento de las plantas. A pH superiores a 5.5 el aluminio precipita como $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_4$, $\text{Al}(\text{OH})_5$, $\text{Al}(\text{OH})_6$.

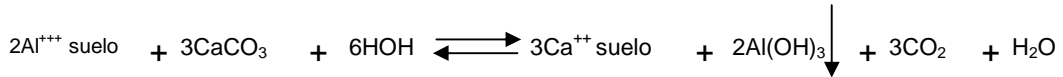
La toxicidad del manganeso puede ocurrir a pH similares a la toxicidad del aluminio, siendo mucho más grande e importante agrónomicamente la toxicidad por aluminio [10].

2.3.7 Neutralización de la acidez

La neutralización de la acidez se realiza generalmente mediante el encalado. No obstante, los suelos se encalan con varios propósitos.

- Neutralizar el aluminio intercambiable y el hidrógeno y/o manganeso intercambiable cuando estos se encuentran presentes.
- Suministrar calcio y magnesio como fertilizante.
- Mejorar la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos.

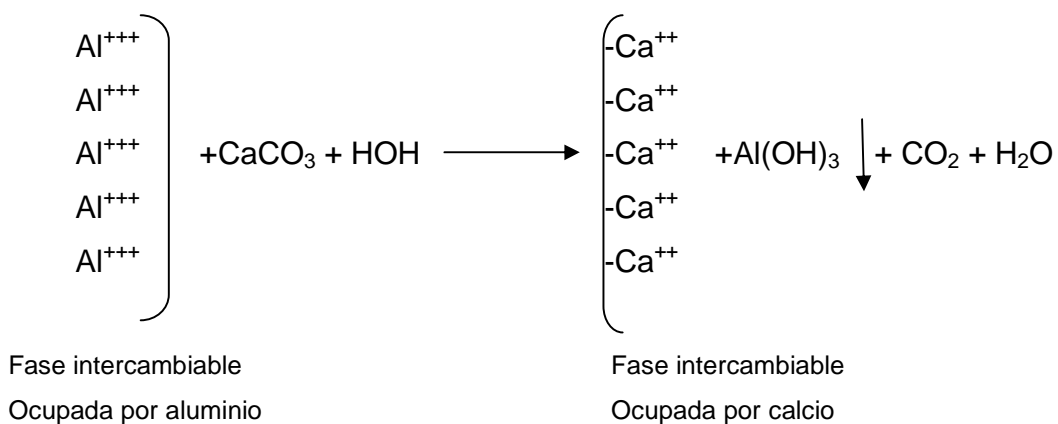
La neutralización de un suelo ácido o neutralización del aluminio intercambiable con cal (CaCO_3) puede entenderse a través de la siguiente reacción:



La reacción de neutralización puede explicarse de la siguiente manera:

- Al aplicar la cal (CaCO_3) a un suelo ácido, la molécula de CaCO_3 se disocia en iones Ca^{++} y iones CO_3^{--} .
- Los iones de Ca^{++} producto de la disociación de CaCO_3 desplazan al aluminio presente en la fase intercambiable del suelo y lo envían a la solución del suelo para que se hidrolice hasta forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, el cual precipita con incrementos del pH.
- Finalmente, la fase intercambiable del suelo queda ocupada por calcio y las formas tóxicas de aluminio precipitan como $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Un ejemplo grafico más comprensible puede expresarse como sigue [10]:

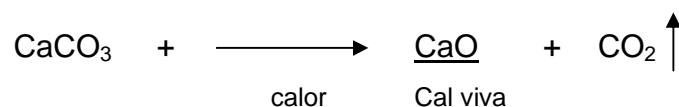


2.3.8 Materiales utilizados para neutralizar la acidez

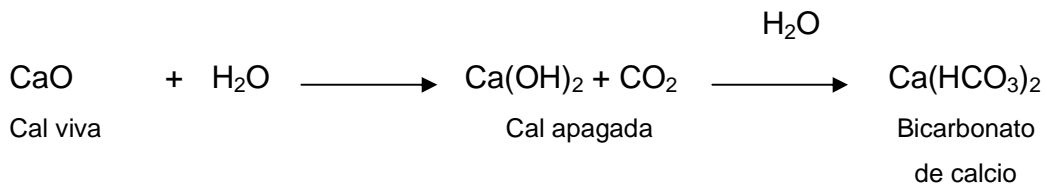
Para neutralizar la acidez del suelo, o en otras palabras, para aumentar el pH se puede utilizar la cal o las escorias Thomas (calfos o abonos Paz del Rio). Existen cuatro clases de cal; la cal agrícola, la cal viva, la cal apagada y la cal dolomítica.

Cal agrícola. Es un producto formado principalmente por 70% mínimo de carbonato de calcio (CaCO_3). En la forma natural se encuentra como piedra caliza o piedra de cal.

Cal viva. En la misma piedra caliza o carbonato de calcio, calcinada o quemada en hornos. Esta cal también recibe el nombre de óxido de calcio (CaO) y se encuentra en el comercio en forma de terrones. Para aplicar al suelo se debe pulverizar. Inmediatamente después de su aplicación absorbe agua y forma gránulos que se endurecen por la formación en su superficie de carbonato de calcio (CaCO_3). En este estado puede permanecer en el suelo por largo tiempo. Su aplicación se recomienda solamente cuando se pueda asegurar una mezcla completa en el suelo pues existe el peligro de "quemar" la semilla. El proceso de obtención es el siguiente:



Cal apagada. Es la misma cal viva después de haberla apagado con agua; también recibe en nombre de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y de cal hidratada. Es menos fuerte que la cal viva. Como el óxido de calcio (CaO) es difícil de manipular, se recomienda el uso de cal hidratada. El proceso de obtención es el siguiente:



Cal dolomítica. Es una mezcla de carbonatos de calcio y de magnesio. Generalmente contiene de 40 a 55% de carbonato de calcio CaCO_3 y de 10 a 35% de carbonato de magnesio MgCO_3 . El uso de esta cal tiene importancia en suelos ácidos deficientemente en calcio y magnesio [10].

2.3.9 Tolerancia de las plantas a la acidez del suelo

Existen varias especies de vegetales que son bastante tolerantes a la acidez del suelo. Se mencionan, entre los frutales, el mango, el marañón, la piña, el aguacate, los cítricos, el guayabo, el ciruelo y muchas otras.

Entre las gramíneas y leguminosas forrajeras tolerantes a la acidez, se encuentran las siguientes especies: pasto gordura o yaraguá, que es quizás el ejemplo más destacado las gramíneas, seguido por el pasto puntero y varios pastos nativos de los Llanos Orientales.

Entre las leguminosas más tolerantes se encuentran: *Stylosanthes*, *Centrocema*, *Desmodium* y Kudzú. Así parece fácil lograr buenas mezclas de leguminosas y gramíneas para la ganadería de las regiones tropicales de Colombia, sin necesidad de encalar suelos. Entre los cultivos anuales y semestrales que más requieren cal, están el coliflor y la caña de azúcar; requieren menos cantidad el maíz, la papa y el algodón.

Un caso muy especial es el arroz. Es una planta que tolera suelos bastantes ácidos cuando se siembra en seco. Parece que el arroz de seco responde a pequeñas aplicaciones de cal en suelos muy ácidos del piedemonte llanero, mientras que el arroz de riego en los mismos suelos no responde significativamente al encalamiento.

En general casi todas las plantas crecen y producen mejor en suelos con un pH entre 5.5 y 7.3. La tabla 5 muestra los límites aproximados de tolerancia de pH para algunos cultivos [10].

Tabla 5. Límites de tolerancia de pH para algunos cultivos

pH 4.8 – 5.5	pH 5.6 – 6.4	pH 6.5 – 7.3
Piña, papa, fique, yuca, café y pastos; gordura, puntero, pangola, braquiaria e imperial	Maíz, soya, frijol, manzano, maní, algodón, trigo, cebada, avena, lechuga, cebolla, repollo, remolacha, tomate, tabaco, arroz y guayaba.	Alfalfa, coliflor, aguacate, trébol, cacao, vid, maracuyá, caña de azúcar.

Asimismo, los cultivos pueden ser clasificados en términos de tolerancia al porcentaje de saturación de aluminio tal como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de saturación de Al tolerado por algunos cultivos en suelos ácidos [11]

Cultivo	% de Saturación de Al tolerado			% de Sat de Al recomendado (RAS)
	Alto	Medio	Bajo	
Arroz	X	X	X	
Maíz		40		25
Sorgo			15	<20
Trigo			10	<10
Soya		X		<10
Frijol negro			X	<20
Maní		40		<25
Caupí	60			<40
Gandul	X			<40
Camote		30		<20
Papa		30		<20
Yuca	75			<60
Plátano		X		<25
Banano		X		<15
Coco		X		<30
Mango		X		<20
Cítricos		X		<20
Piña	X			<30
Pejibaye		X		<30
Cacao		X		<20
Palma aceitera		X		<15
Caña de azúcar		X		<20
Café		40		<25

2.4 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua, con fines de riegos de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas del agua; así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las

propiedades de los suelos, las condiciones de manejo de fertilizantes, y aguas, y las condiciones climatológicas [12].

2.4.1 Criterios e índices de clasificación

En general existen tres criterios principales para juzgar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego de cultivos agrícolas. Estos criterios son: el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos para las plantas. Para cada uno de estos criterios se tienen diferentes índices cuantitativos, como se ilustra en el Tabla 7.

Tabla 7. Criterios e índices de clasificación del agua de riego [13]

CRITERIOS	ÍNDICES	ABREVIATURA
1. Contenido de sales solubles	1.a) Conductividad eléctrica	CE
	1.b) Salinidad efectiva	SE
	1.c) Salinidad potencial	SP
2. Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo	2.a) Relación de adsorción de sodio	RAS
	2.b) Carbonato de sodio residual	CSR
	2.c) Porcentaje de sodio posible	PSP
3. Contenido de elementos tóxicos para las plantas	3.a) Contenido de boro	B
	3.b) Contenido de cloruros	Cl

2.4.1.1 Contenido de sales solubles

El efecto nocivo de las sales solubles, se debe a que produce presiones osmóticas en la solución del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas, las cuales al pasar de ciertos valores, ocasionan disminuciones de los rendimientos o pérdida total de las cosechas. Estos efectos son diferentes

para distintos cultivos y etapas de desarrollo. Según se ha observado, los contenidos de sales solubles en la mayoría de las aguas de riego no son suficientemente altos para producir daño a las plantas; sin embargo el daño puede presentarse cuando la concentración de las sales en el agua aumenta debido a la pérdida de humedad por evapotranspiración.

Para medir el efecto de las sales solubles en el agua de riego se tienen los siguientes índices:

Conductividad eléctrica (CE). Generalmente se expresa en micromhos por centímetro a 25⁰C (CE *10⁶). La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la presión osmótica que a recibido gran difusión, debido a la facilidad y rapidez con que puede ser determinada. Incluso muchos cuadros de clasificación de aguas y la tolerancia de los cultivos a las sales se expresan en términos de conductividad eléctrica.

Cálculo de la conductividad:

Conductividad = (Conductancia medida) x (Constante corregida de la celda)

Salinidad efectiva (SE). Es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, pues toman en cuenta la precipitación ulterior de las sales menos solubles: carbonatos de calcio y magnesio y sulfatos de calcio, los que, por consiguiente, dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo.

Salinidad potencial (SP). Cuando la humedad aprovechable del suelo disminuye a niveles inferiores del 50%, las últimas sales que quedan en solución son los cloruros y parte de los sulfatos. La salinidad potencial es un

índice para estimar el peligro de estas últimas sales que quedan en solución, a bajos niveles de humedad y que, por consiguiente, aumenta considerablemente la presión osmótica. Por la razón anterior la salinidad potencial es uno de los mejores estimadores del efecto de las sales sobre las plantas.

Este índice se calcula con la siguiente fórmula:

$$SP = Cl^{-} + \frac{1}{2} SO_4^{-2}$$

Donde todos los conceptos se expresan en meq/l. [2]

2.4.1.2 Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo

Cuando las aguas de riego contienen cantidades considerables de sodio en solución, este se acumula paulatinamente en el suelo y, al alcanzar ciertas concentraciones elevadas en relación con los otros cationes disueltos, sea por acumulación de sodio o por precipitación del calcio y magnesio, substituye a estos del complejo de intercambio, ocasionando un desequilibrio eléctrico de la micelas coloidal, en la que deja cargas negativas residuales, por lo que las partículas se repelen y, como consecuencia, el suelo se floclula y pierde su estructura. Debido a estos la permeabilidad del suelo al aire y al agua disminuye, se favorece la formación de costras, lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos.

Para estimar este efecto se proponen los siguientes índices.

Relación de adsorción de sodio (RAS). Es uno de los índices mas difundidos para medir el peligro de sodificación que presenta el agua de riego. Los investigadores que han desarrollado este método, argumentan que esta correlacionado con el porcentaje de sodio intercambiable del suelo que está en equilibrio con el agua de riego. De acuerdo con esto, entre mayor sea el valor de la RAS, es de esperarse un valor mayor del PSI del suelo y un mayor peligro de sodificación del mismo.

La RAS se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{[(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / 2]^{1/2}}$$

Donde todos los valores se expresan en meq/L.

Carbonato de sodio residual (CSR). Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el de calcio y magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio, debido a que, por su alto solubilidad, puede permanecer en solución aun después que han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. En estas condiciones, la concentración total y relativa del sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y al magnesio del complejo de intercambio, produciendo la defloculación del suelo [4].

Este índice se calcula de la siguiente forma:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

Donde todos los conceptos se expresan en meq/L.

Cuando la diferencia es negativa, no existe el problema y el valor del CSR puede suponerse igual a cero.

Porcentaje de sodio posible (PSP). El peligro del desplazamiento del calcio y el magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más de la mitad de los cationes disueltos. El porcentaje de sodio en solución en el agua de riego no es suficientemente representativo de este peligro, debido a que, como se anotó anteriormente, ya en el suelo las sales menos solubles (CaCO_3 , MgCO_3 , y CaSO_4) precipitan y, por tanto el porcentaje de sodio en solución aumenta relativamente. Por la razón anterior, el PSP se refiere a la salinidad efectiva [2]:

$$\text{PSP} = (\text{Na}^{+1}/\text{SE}) * 100$$

Donde Na y la SE se expresan en meq/L.

2.4.1.3 Contenido de elementos tóxicos para las plantas

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que, independientemente de los efectos anteriores, son tóxicos para las plantas, aun en pequeñas cantidades. Los que mas a menudo se presentan son: el boro, el ion cloruro, y el sodio, aunque los efectos tóxicos de estos últimos no han sido suficientemente estudiados.

Contenido de boro (B). El boro es un micro elemento indispensable para el buen desarrollo de las plantas; sin embargo, a muy bajas concentraciones, apenas superiores a las indispensables, empieza a ser tóxico para la mayoría de los cultivos. El contenido de boro en las plantas se expresa en ppm.

Contenido de cloruros (Cl⁻). El ion cloruro es especialmente tóxico en árboles frutales como cítricos y en algunos otros cultivos como la fresa. El contenido de cloruros se expresa en meq/L. [14]

2.4.2 Clasificación de las aguas de acuerdo con su calidad, con fines de riego de cultivos agrícolas

La clasificación de las aguas de acuerdo con su calidad, se efectúa de la siguiente manera:

Inicialmente, con base en las características químicas del agua, se concluye si es **buena** o **no recomendable** para el riego; o bien, si se requiere de información adicional sobre los cultivos, suelos y condiciones de manejo donde va a ser utilizada, en cuyo caso, la calidad del agua quedará **condicionada** a estos factores. Las condiciones de cultivos, suelos y manejos pueden referirse a una parcela determinada; de esta manera el agua que había sido clasificada como **condicionada**, antes de conocer los suelos y cultivos, definidos estos, podrá determinarse si es **buena**, o **no recomendable** para estas condiciones.

A continuación se detalla la secuencia de clasificación de un agua de riego.

2.4.2.1 Criterios de clasificación de aguas de riego

Para clasificar las aguas por CE y RAS se utiliza el cuadro de la figura 4, donde se definen 16 clases de agua: C₁S₁, C₂S₁, C₃S₁, C₄S₁, C₁S₂, etc. En la Tabla 8 se reporta la clasificación de las aguas según su salinidad y en la Tabla 9 según los parámetros fisicoquímicos que determinan su calidad.

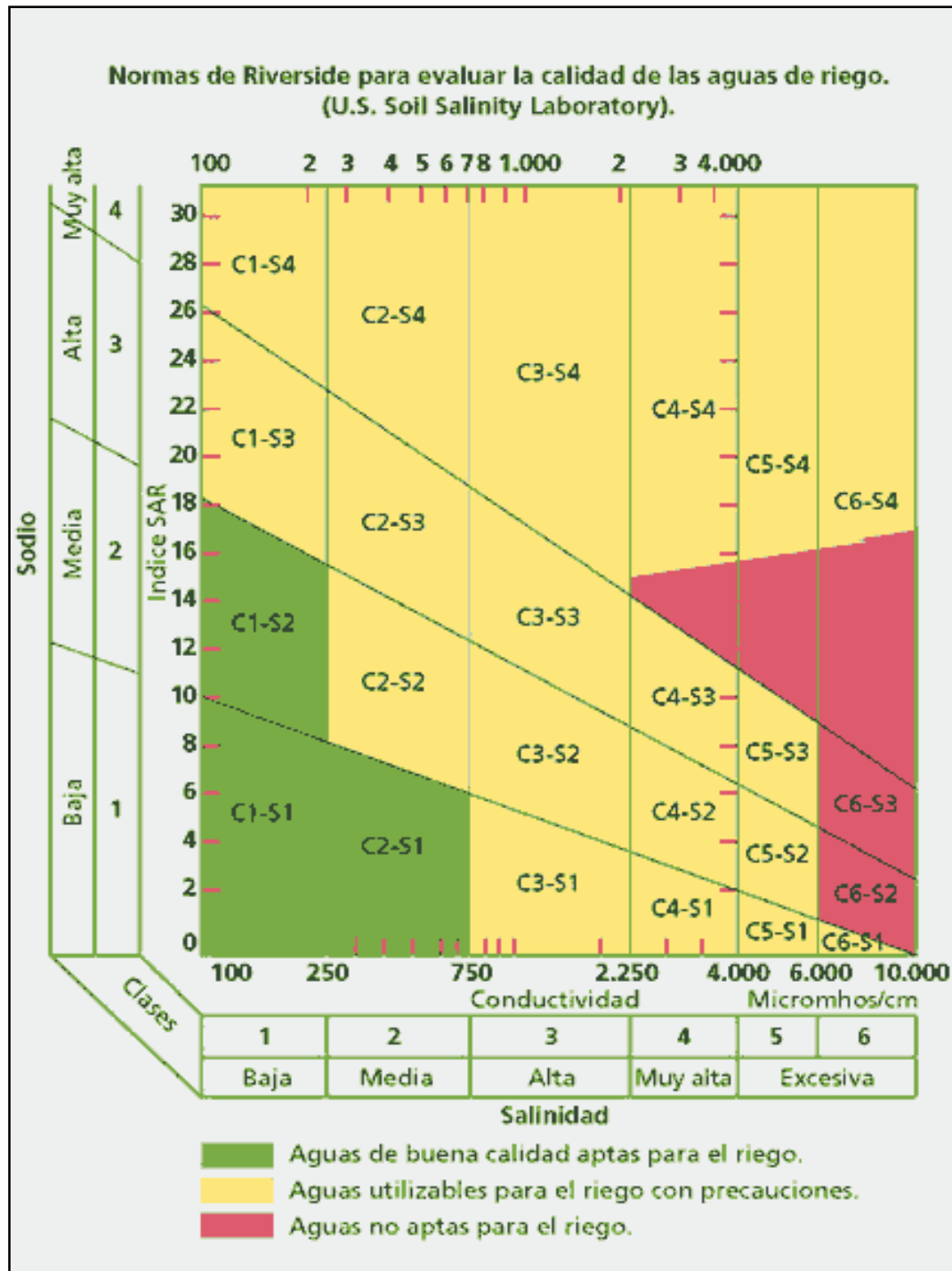


Figura 4. Clasificación de las aguas de riego por su $CE \cdot 10^6$ y por su RAS.

Tabla 8. Clasificación de las aguas de riego según su salinidad

Tipo	Calidad y norma de uso del agua
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Tabla 9. Clasificación de las aguas para riego según los parámetros fisicoquímicos que determinan su calidad

CLASE	VALOR DEL CSR (meq/L)	CONTENIDO DE BORO (ppm)	CONTENIDO CLORUROS (meq/L)	SALINIDAD EFECTIVA (meq/L)	SALINIDAD POTENCIAL (meq/L)
Buena	menos de 1.25	menos de 0.3	menos de 1	menos de 3	menos de 3
Condicionada	de 1.25 a 2.50	de 0.5 a 4	de 1 a 5	de 3 a 15	de 3 a 15
No recomendable	mas de 2.5	mas de 4	mas de 5	mas de 15	mas de 15

Clasificadas las aguas de acuerdo con los índices anteriores, la conclusión sobre su calidad será como sigue:

Tabla 10. Diagnóstico de aguas para riego

Buena: El agua se considera **buena** si los índices tienen los siguientes valores:

AGUAS CON MENOS DE 20% de $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$	AGUAS CON MÁS DE 20% De $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$
a) C_1S_1 b) $SP < 3 \text{ meq/l}$ c) $CSR < 1.25 \text{ meq/l}$ d) $B < 0.3 \text{ ppm}$ e) $Cl < 1 \text{ meq/l}$	a) $CE^*E6 < 250$, o $SE < 3 \text{ me/l}$ b) $SP < 3 \text{ meq/l}$ c) $CSR < 1.25 \text{ meq/l}$ d) $PSP < 50\%$ e) $B < 0.3 \text{ ppm}$ f) $Cl < 1 \text{ meq/l}$

Esta agua puede ser utilizada para el riego de la gran mayoría de los cultivos, en la generalidad de los suelos, con el mínimo de cuidados en el manejo de suelos y aguas.

Tabla 11. Diagnóstico de aguas para riego

No recomendable. El agua se considera **no recomendable** si uno o más índices superan los siguientes valores:

AGUAS CON MENOS DE 20% De $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^{-1}$	AGUAS CON MAS DE 20% De $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1}$
a) C_4S_i y C_iS_4 ($i = 1,2,3,4$); y/o b) $SP > 15 \text{ meq/l}$; y/o c) $CSR > 2.5 \text{ meq/l}$; y/o d) $B > 4 \text{ ppm}$; y/o e) $Cl > 5 \text{ meq/l}$	a) $SE > 15 \text{ meq/l}$; y/o b) $SP > 15 \text{ meq/l}$; y/o. c) $CSR < 2.5 \text{ meq/l}$; y/o d) $B > 4 \text{ ppm}$; y/o e) $Cl > \text{ meq/l}$



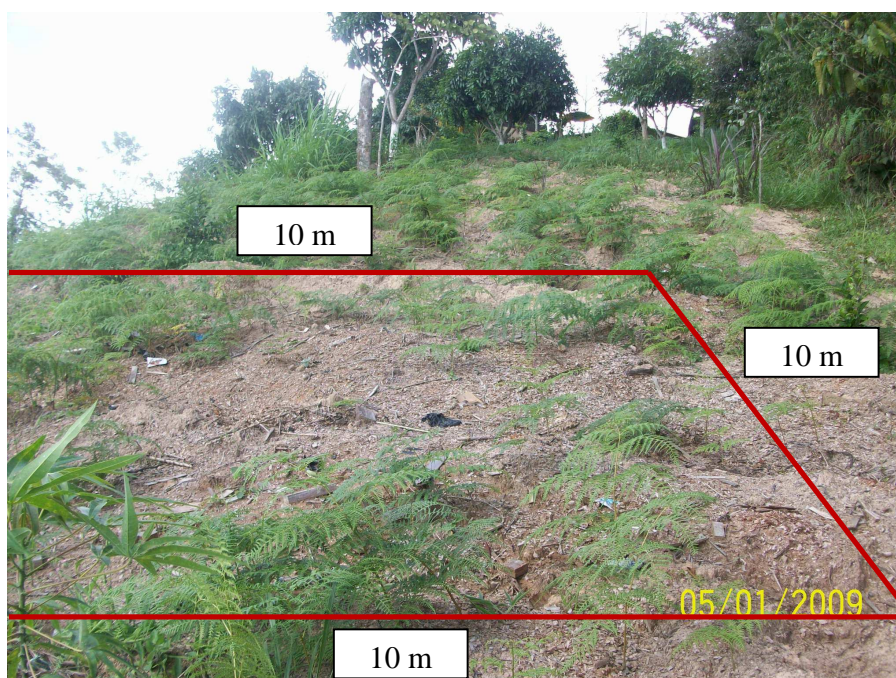
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL MONOGRAFÍA

Esta agua no se recomienda para ser empleada directamente, y de manera permanente en el riego de la mayoría de los suelos, y cultivos bajo las prácticas usuales de manejo; a menos que sean mezcladas con otras de mayor calidad.

3. METODOLOGÍA

3.1 MUESTREO DE SUELOS

Para llevar a cabo la recolección de las muestras, se tuvo en cuenta las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 3656 y en la USEPA SW 846 “Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods. El terreno monitoreado corresponde a una parcela piloto de 100 m² de área, ubicada en la parte alta de la finca el Caballito, considerada como la menor área posible para obtener buena exactitud a bajos costos. Se conformó una muestra compuesta, la cual fue integrada por 10 submuestras para reducir la variabilidad al mínimo, recolectando 5 submuestras en zig – zag por cada 50 m² (5m x 10m) a una profundidad de 18 – 20 cm. La muestra se embolsó en bolsas herméticas de polietileno y se preservó en hielo hasta ser entregada al laboratorio donde se realizó la caracterización.



Fotografía 1. Parcela piloto finca el Caballito

3.2 MUESTREO DE AGUAS

La toma de muestras y su preservación se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la guía para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM, las instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio del Instituto Nacional de Salud y las especificaciones estipuladas en el método AWWA 1060/05 "Collection and Preservation" del Standard Methods, Ed. 21 de 2005. Para asegurar la confiabilidad y representatividad de los resultados, la toma de muestras se realizó de forma compuesta, durante un periodo de tiempo de ocho (8) horas recolectando alícuotas cada dos (2) horas. La muestra para el análisis de metales fué preservada con ácido nítrico hasta un $\text{pH} < 2$ y refrigerada con hielo, mientras que la muestra de la cual se analizaron los restantes parámetros se refrigeró inmediatamente. La fotografía s presenta El Caño NN monitoreado, del cual se captan las aguas para riego y uso doméstico en la finca el Caballito.



Fotografía 2. Quebrada NN abastecedora de la Finca el Caballito

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el laboratorio químico de suelos para la muestra de suelo recolectada en la Finca El Caballito y por el laboratorio de consultas industriales de la Universidad Industrial de Santander para las muestras de agua recolectadas en la Quebrada NN de donde se abastece la finca. En el anexo 1 se encuentran los resultados emitidos por estos laboratorios.

4.1 CARACTERIZACIÓN MUESTRA DE SUELO

Tabla N°12. Resultados del análisis completo efectuado a la muestra de suelo recolectada en la Finca El Caballito (ver anexo 1)

CARACTERIZACIÓN SUELOS FINCA EL CABALLITO		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	unidades de pH	4.5
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	0.05
Textura	NA	Franco-arcillo-arenoso
Carbono	%	0.84
Fósforo	ppm	4.19
Calcio	meq/100 g suelo	0.65
Magnesio	meq/100 g suelo	0.17
Sodio	meq/100 g suelo	0.11
Potasio	meq/100 g suelo	0.10
Aluminio	meq/100 g suelo	6.0
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100 g suelo	8.4
Boro	ppm	0.03
Hierro	ppm	34.8
Manganeso	ppm	0.52
Cobre	ppm	0.24
Zinc	ppm	0.36

NA: no aplica

Acidez: según los resultados reportados por el Laboratorio Químico de Suelos, la parcela piloto muestreada en la finca el Caballito presenta características extremadamente ácidas teniendo en cuenta el valor de pH registrado, el cual fue de 4.5 unidades. De forma consecuente, se evidencia un alto contenido de aluminio intercambiable de 6.0 meq/100 g suelo, infiriendo que la acidez de estos suelos es debida al aluminio y no a la presencia de iones H^+ .

Textura: según los porcentajes de arena, limo y arcilla que componen la muestra analizada, la clasificación de este suelo es franco –arcillo- arenoso, los cuales son fáciles de cultivar pues retendrá la humedad y las sustancias nutrientes fácilmente (una vez aplicadas), pero pobres en nutrientes para las plantas debido principalmente a que son bajos en materia orgánica. Cuando están secos al tomarlo con la mano se desmoronan y en contacto con el agua son poco resistentes.

Materia orgánica: la materia orgánica del suelo es uno de los más importantes recursos y la base de la fertilidad del suelo; en términos generales se refiere al contenido total de carbono orgánico en el suelo. Según el porcentaje obtenido (0.84%), los suelos analizados presentan un muy bajo contenido de material orgánico, lo que nos indica que se debe incorporar al suelo abono para el enriquecimiento de nutrientes.

Fósforo: se registró un nivel de fósforo bajo indicando una gran deficiencia de este nutriente en el suelo analizado. Para mejorar el contenido de fósforo en el suelo, se debe incorporar roca fosfórica ya que el fósforo es un elemento de gran importancia para los cultivos porque estimula la formación y el crecimiento de la raíz, favorece el crecimiento vigoroso de la planta, estimula la floración, acelera la madurez y ayuda a la formación de la semilla.

Calcio, magnesio y potasio: para estos tres elementos se registraron valores bajos. Para corregir la deficiencia de estos metales se deben incorporar al suelo, fertilizantes que contengan estas especies; aunque primero debe tenerse en cuenta el requerimiento de la especie a cultivar.

Sodio: el contenido de sodio para este suelo es inferior a 1 meq/100 g suelo, lo que indica que no existen problemas de salinización o sodificación, hecho corroborado con el valor bajo de conductividad reportado.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): el suelo analizado presenta una CIC de 8.4 meq/100 g suelo, clasificada como baja lo cual indica baja fertilidad del suelo asociada a una baja saturación de bases, indicando una baja capacidad potencial de suministro y reserva de calcio, magnesio y potasio.

Finalmente, la elevada acidez presentada en el suelo analizado logra concentrar excesivamente los micronutrientes tales como el hierro y disminuye la disponibilidad de los elementos menores como el boro, manganeso, cobre, y zinc, tal como se registra en la caracterización efectuada por el Laboratorio Químico de Suelos.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS UTILIZADAS PARA RIEGO

Tabla N°13. Resultados de la caracterización efectuada a la muestra compuesta recolectada en la Quebrada NN (ver anexo 1)

CARACTERIZACIÓN QUEBRADA NN FINCA EL CABALLITO		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	48.6
Cloruros	mgCl^-/L	11.43
Sulfatos	$\text{mgSO}_4^{-2}/\text{L}$	11.4
Bicarbonatos	$\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$	18.04
Carbonatos	$\text{mgCaCO}_3^-/\text{L}$	0.0
Sodio	mgNa/L	3.95
Potasio	mgK/L	6.09
Calcio	mgCa/L	1.18
Magnesio	mgMg/L	3.73
Salinidad efectiva	meq/L	0.402
Salinidad potencial	meq/L	0.38
RAS		0.4
Carbonato de sodio residual	meq/L	-0.074
Porcentaje de sodio posible	%	47.8

Según los resultados emitidos por el laboratorio de Consultas Industriales, la clasificación de las aguas analizadas según su salinidad y nivel de sodio representados en los análisis de conductividad y RAS respectivamente, se encuentran en la clase C_1S_1 , siendo aguas de baja salinidad, aptas para el riego en todos los casos, con bajo contenido de sodio.

Asímismo, los valores registrados por estas aguas de salinidad efectiva y salinidad potencial, las clasifican como buenas implicando que su uso no presenta restricción alguna.

En este orden de ideas, según el valor de carbonato de sodio residual no existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio que pueda llegar a producir defloculación del suelo.

Finalmente, según los parámetros fisicoquímicos evaluados en su conjunto, que determinan la calidad de las aguas analizadas, la Quebrada NN cuerpo de agua abastecedor de la finca el Caballito de las aguas para riego, es clasificada como **buena**, entendiéndose como apta para riego sin ninguna restricción.

5. PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Con base en las características físicas de la muestra de suelo analizada, descritas anteriormente, se puede calificar este suelo como de buena aptitud física para el cultivo de yuca (por ejemplo) por lo que no es necesario realizar una propuesta para la recuperación de sus propiedades físicas. Sus principales limitantes se centran en la elevada acidez y la escasez de nutrientes y materia orgánica, lo cual limita el crecimiento de cualquier planta sin una adecuada corrección de pH y la adición de abonos que permitan el crecimiento y establecimiento de las especies a cultivar; sin embargo la especie sugerida (yuca) tolera hasta un 75% de saturación de aluminio, recomendándose porcentajes inferiores a 60.

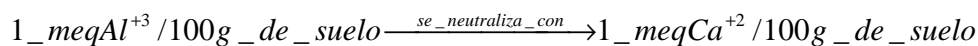
Con base en la caracterización realizada a la parcela piloto, se presenta a continuación una propuesta técnica para la recuperación de las características químicas del suelo que favorezca el cultivo de yuca:

5.1 CORRECCIÓN DEL pH

Las recomendaciones de cal, con el propósito de corregir la acidez del suelo, se basan principalmente en el pH y en el contenido de aluminio intercambiable reportado por el análisis del suelo.

5.1.1 Criterio del factor de encalamiento

Para suelos ácidos de Colombia existe un factor de encalamiento a partir del cual un miliequivalente (meq.) de aluminio intercambiable en 100 gramos de suelo debe ser neutralizado por un miliequivalente de calcio proveniente de una cal agrícola. La obtención de este factor de encalamiento se explica a continuación:



$$1 \text{ meqCa}^{+2} / 100 \text{ g suelo} = \frac{\text{peso molecular} / \text{valencia}}{1000} = \frac{40 / 2}{1000} = 0.02 \text{ gCa}^{+2} / 100 \text{ g suelo}$$

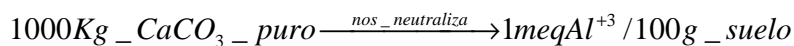
$$0.02 \text{ gCa}^{+2} \longrightarrow 0.1 \text{ Kg de suelo}$$

$$x \longrightarrow 2000000 \text{ kg suelo (peso de 1 ha)}$$

$$x = 400 \text{ KgCa}^{+2} / \text{ha} \longrightarrow 1 \text{ meqAl}^{+3} / 100 \text{ g suelo} = 400 \text{ KgCa}^{+2} / \text{ha}$$

Esto quiere decir que 1 meq de aluminio por 100 gramos de suelo registrado en un análisis de suelo, se neutraliza con la aplicación al suelo de 400 Kg Ca^{+2} /ha. Para aplicar 400Kg/ha de calcio puro al suelo se necesitan 1000 kg de carbonato de calcio puro. Como no es posible conseguir en el comercio cales con esta pureza (100% de CaCO_3), es necesario hacer los cálculos con base en una cal agrícola de 80% de pureza en carbonato de calcio, la cual si es posible obtener en el comercio. Al considerar que la cal agrícola que vamos a aplicar tiene 80% de CaCO_3 , significa que 1000 kg o una tonelada de esta cal nos aporta solamente 800 kg de CaCO_3 .

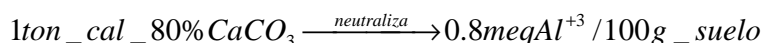
Entonces,



$$800 \text{ Kg CaCO}_3 \longrightarrow x$$

$$x = 0.8 \text{ meqAl}^{+3} / 100 \text{ g suelo}$$

Esto quiere decir que la cal agrícola que se compra en el comercio con 80% de CaCO_3 solo neutraliza 0.8 meq Al^{+3} /100g de suelo. Entonces se deduce que:



$$x = 1250\text{Kg}_{\text{ cal de } 80\% \text{CaCO}_3}$$

Se concluye entonces que para neutralizar 1 meq Al^{+3} /100 g de suelo se debe aplicar 1250 Kg/ha de una cal agrícola del 80% de CaCO_3 . En consecuencia se deduce:

FACTOR DE ENCALAMIENTO PARA SUELOS ÁCIDOS COLOMBIANOS	=	1250 Kg/ha de cal agrícola de 80% de CaCO_3 por cada miliequivalente de aluminio presente en el suelo
--	---	--

Este factor de encalamiento solo se utiliza cuando se piensa neutralizar la totalidad del aluminio intercambiable presente en el suelo. Esta práctica es hoy en día antieconómica porque la mayoría de suelos ácidos reportan más de 2 meq de Al^{+3} y las cantidades de cal requeridas serían muy altas, tal como se presenta en nuestro caso particular. En consecuencia, es conveniente manejar dosis moderadas de cal dependiendo del grado de tolerancia del cultivo a la concentración de aluminio presente en el suelo, tal como se presenta en el siguiente apartado.

5.1.2 Criterio de tolerancia al aluminio

Este criterio fue propuesto en 1980 por Cochrane y Salinas del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT [10], quienes argumentan que la cal requerida en el manejo de suelos ácidos debe estar de acuerdo con el grado de tolerancia del cultivo (especie y/o variedad) a las concentraciones de aluminio presentes en el suelo. Este método ofrece una interpretación más práctica y económica sobre el uso de la cal en suelos ácidos del trópico. Es necesario entonces, conocer el porcentaje crítico de saturación de aluminio soportado por el cultivo. Este método esta basado en la siguiente formula:

$$Cal_requerida[ton/ha] = 1.8 \left[Al^{+3} - \frac{PCSA(Al^{+3} + Ca^{+2} + Mg^{+2})}{100} \right]$$

Donde:

- PCSA: porcentaje crítico de saturación de aluminio tolerable por el cultivo o variedad.
- Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} : cationes intercambiables expresados en meq/100 g de suelo
- 1.8 constante

De esta forma, teniendo en cuenta que el PCSA tolerable para el cultivo de yuca se encuentra en un 60% (Molina, 1998) y con los resultados obtenidos del análisis de la muestra de suelo, se calcula el requerimiento de cal:

$$Cal_requerida[ton/ha] = 1.8 \left[6.0 - \frac{60(6.0 + 0.65 + 0.17)}{100} \right]$$

$$Cal_requerida[ton/ha] = 3.43$$

Comparando este requerimiento de cal, con la requerida según el criterio del factor de encalamiento tendríamos:

$$\text{Requerimiento}_{\text{cal}}_{80\% \text{CaCO}_3} / \text{ha} = \text{meq.Al}^{+3} * \text{factor}_{\text{de}_{\text{encalamiento}}}$$

$$\text{Requerimiento}_{\text{cal}}_{80\% \text{CaCO}_3} / \text{ha} = 6_{\text{meq.Al}^{+3}} * 1250$$

$$\text{Requerimiento}_{\text{cal}}_{80\% \text{CaCO}_3} / \text{ha} = 7500_{\text{Kg}} / \text{ha}_{\text{de}_{\text{cal}}}_{\text{del}_{80\% \text{CaCO}_3}}$$

$$\text{Requerimiento}_{\text{cal}}_{80\% \text{CaCO}_3} / \text{ha} = 7.5_{\text{ton}} / \text{ha}$$

De esta forma, el agricultor ahorra la adición de aproximadamente 4 ton/ha (4.07 ton/ha) de cal, lo que representa reducción en los costos de cultivo favoreciendo su economía.

5.2 PLAN DE FERTILIZACIÓN

Conociendo el requerimiento nutricional de los cultivos para una determinada producción y la disponibilidad natural de nutrientes existentes en el suelo a cultivar, calculada mediante el análisis de suelos, es posible obtener un plan de fertilización económicamente racional que logre, ayudado de los otros factores de manejo agronómico (adecuada técnica de uso de labranza, semilla certificada, riego, control sanitario, etc), maximizar los rendimientos.

En la siguiente tabla se presentan los requerimientos nutricionales para el cultivo de yuca:

Tabla 14. Requerimientos nutricionales cultivo de yuca [10]

Cultivo	Rendimiento (ton/ha)	Absorción de nutrientes (Kg/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Yuca	40	150	70	350	150	24

5.2.1 Estimación del fósforo aprovechable

El análisis del suelo reportó un contenido de fósforo de 4.19 ppm con lo cual se calculan los kilogramos de fósforo y de P₂O₅ (pentóxido de fósforo) que existen en una hectárea del suelo:

1. Transformación de ppm de fósforo a Kg/ha de fósforo

Las 4.19 ppm de fósforo indican que existen 4.19 Kg de fósforo en 1000000 Kg de suelo. Si se asume que la capa arable del suelo pesa 2000000 Kg se tiene:

$$4.19 \text{ Kg de P} \xrightarrow{\text{están contenidos}} 1000000 \text{ kg de suelo}$$

$$x \longrightarrow 2000000 \text{ Kg de suelo}$$

$$x = 8.38 \text{ Kg de P / ha}$$

Lo que quiere decir que las 4.19 ppm de fósforo en este suelo son equivalentes a 8.38 Kg de fósforo/hectárea.

2. Transformación de Kg de P/ha a Kg de P_2O_5 /ha

Para transformar fósforo (P) a P_2O_5 o pentóxido de fósforo como vienen los fertilizantes, se realiza estequiométricamente así:

$$P_2O_5 = P * 2.29$$

O lo que es lo mismo

$$KgP_2O_5 / ha = KgP / ha * 2.29$$

Según lo anterior se tiene que los 8.38 Kg de fósforo/hectárea existentes en este suelo son equivalentes a 19.2 Kg de P_2O_5 /ha.

5.2.2 Estimación del calcio, potasio y magnesio

Los resultados de calcio, potasio, magnesio son reportados por el análisis de suelos en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100g de suelo). Para transformar estos meq/100g de un elemento reportado en el análisis de suelos a kilogramos por hectárea, se tiene en cuenta de igual forma el peso de la capa arable, que es de aproximadamente 2000000 de kilogramos (se estima la densidad aparente de $1g/cm^3$ y 20 cm de profundidad).

Entonces, según el análisis del suelo se reporta 0.65 meqCa/100g de suelo, y se realizan los siguientes cálculos:

$$0.65meqCa^{+2} = 0.013gramosCa^{+2} = 0.000013KgCa^{+2}$$

$$0.000013 \text{KgCa}^{+2} \xrightarrow{\text{están contenidos}} 100 \text{g de suelo} (0.1 \text{Kg})$$

$$x \longrightarrow 2000000 \text{ Kg suelo (capa arable)}$$

$$x = 0.65 \text{meqCa}^{+2} / 100 \text{g de suelo} = 260 \text{KgCa}^{+2} / \text{ha}$$

Aplicando el mismo razonamiento para una hectárea de 2000000 de kilogramos tenemos:

- 0.10 meq K⁺/100g suelo = 78 Kg K⁺/ha
- 78 Kg K⁺/ha * 1.2046 (cte) = 94 Kg K₂O/ha (forma como vienen los fertilizantes).
- 0.17 meq Mg⁺²/100g suelo = 40.8 Kg Mg⁺²/ha

5.2.3 Estimación del nitrógeno total y del nitrógeno disponible

Conociendo el contenido de materia orgánica en porcentaje, es posible calcular el contenido de nitrógeno total, asumiendo que una quinta parte de la materia orgánica corresponde a nitrógeno total (Casto, 1998).

Se calcula entonces el contenido de materia orgánica a partir del dato de carbono orgánico obtenido por laboratorio empleando la siguiente fórmula:

$$MO(\%) = \%CO * 1.724$$

$$MO = 0.84 * 1.724$$

$$MO = 1.45\%$$

Una vez se conoce el contenido de materia orgánica, se calcula el nitrógeno total así:

$$N_{total}(\%) = \frac{MO(\%)}{20}$$

$$N_{total}(\%) = \frac{1.45}{20}$$

$$N_{total}(\%) = 0.073\%$$

Cálculo del porcentaje del nitrógeno disponible

Para calcular el nitrógeno disponible o aprovechable para las plantas, se parte de qué tanto del nitrógeno total se mineraliza o pasa a formas inorgánicas (NH_4^+ , NO_3^-) asimilables por las plantas. Investigaciones realizadas en suelos colombianos (Casto, 1998), han demostrado que en clima templado 2% del nitrógeno total pasa a nitrógeno disponible, lo que quiere decir que los suelos de clima templado registran una constante de mineralización en el orden de 0.020 (2/100).

Teniendo en cuenta lo anterior, el porcentaje de nitrógeno disponible en el suelo calculado a partir del contenido de materia orgánica sería de:

$$N_{disponible}(\%) = N_{total}(\%) * cte_{mineralización_clima_templado}$$

$$N_{disponible}(\%) = 0.073\% * 0.020$$

$$N_{disponible}(\%) = 0.00146$$

Este porcentaje de nitrógeno disponible equivale a 14.6 ppm, lo que infiere que existen a 14.6 Kg de nitrógeno en 1000000 Kg de suelo.

Ahora, para convertir estos 14.6 Kg de nitrógeno a Kg/ha, se aplica el mismo razonamiento utilizado anteriormente, partiendo de una hectárea de 2000000 de kilogramos:

$$14.6 \text{ _Kg _N} \xrightarrow{\text{están _contenidos}} 1000000 \text{ _Kg _suelo}$$

$$x \longrightarrow 2000000 \text{ _Kg _suelo _}(peso \text{ _capa \text{ _arable}})$$

$$x = 29.2 \text{ _Kg _N / ha}$$

A continuación se presenta un resumen de los nutrientes disponibles en el suelo analizado (capa arable) versus el requerimiento nutricional para el cultivo de yuca.

Tabla 15. Nutrientes disponibles en el suelo analizado vs. requerimiento para cultivo de yuca

Nutriente	Requerimiento (Kg/ha)	Disponible en el suelo (Kg/ha)	Faltante (Kg/ha)
N	150	29.2	120.8
P ₂ O ₅	70	19.2	50.8
K ₂ O	350	94	256
Ca	150	260	–
Mg	24	40.8	–

Nitrógeno: para suplir el faltante de nitrógeno, se encuentra en el mercado de forma comercial el **Nitron®** que contiene un 12% de nitrógeno ureico que es el asimilable por las plantas. Este producto viene en presentación de 50 Kg (1 bulto), con lo cual para suplir el faltante de nitrógeno por hectárea es necesario el uso de 1000 Kg de **Nitron®** (20 bultos - 120Kg N ureico). Ahora, el bulto esta avaluado en 45000 pesos, con lo que la adición del nitrógeno faltante empleando esta marca comercial costaría en total para una hectárea 900000 pesos.

Fósforo y potasio: para suplir el faltante de fósforo, puede realizarse la aplicación del conocido NPK 10-20-10, teniendo en cuenta que en 50 Kg (1 bulto) se tiene 10 Kg de P_2O_5 y que es necesario adicionar por hectárea 5.1 bultos (254 Kg de 10-20-10) para suplir los 50.8 Kg de P_2O_5 faltantes. Asimismo, partiendo del hecho que en este fertilizante solo un 3% corresponde a Nitrógeno ureico (disponible), con la adición de estos 5.1 bultos de 10-20-10 se están adicionando 7.65 Kg de este nitrógeno, complementando la fertilización en cuanto a este nutriente se refiere. Igualmente, la adición de esta cantidad de fertilizante implica un aporte de K_2O (potasa) de solo 51 Kg por lo que se hace necesario para suplir la restante deficiencia de este nutriente, la adición de por ejemplo nitrato de potasio que comercialmente contiene un 46%de K_2O , debiendo aplicar 8.9 bultos para suplir los 205 Kg faltantes (con el 10-20-10 ya se adiciona 51 Kg). De esta forma, los costos del 10-20-10 serían del orden de 80300 pesos (1 bulto esta valorado en 73000 pesos) y los costos del nitrato de potasio serian de 1335000 pesos (1 bulto esta valorado en 150000 pesos).

Cal: en este orden de ideas, se debe tener en cuenta los costos de la adición de la cal que ya fue calculada: 3.43 ton/ha que corresponden a 68.6 bultos de cal (1 bulto - 50Kg), lo que se estima en 686000 pesos teniendo en cuenta que el bulto esta valorado en 10000 pesos.

Gallinaza: finalmente, es recomendable al momento de la siembra adicionar 0.25 Kg de gallinaza por cada punto de siembra; este abono orgánico que mejora las propiedades microbiológicas y de textura, se consigue en el mercado a 4000 pesos el bulto y dependiendo del número de puntos de siembra se calcula el valor total de esta adición. Así, siguiendo las recomendaciones del agrónomo del laboratorio de suelos, quien aconseja sembrar una planta cada 2 metros (2x2), en una hectárea podrían sembrarse aproximadamente 2500 plantas para lo cual serían necesarios 625 Kg de gallinaza evaluados en 50000 pesos.

En la siguiente tabla se resumen los costos de la adición de los fertilizantes para el cultivo de yuca por hectárea:

Tabla 16. Costos asociados al plan de fertilización para cultivo de yuca

Nutriente	Faltante (Kg/ha)	Costo en el mercado a Nov-09
N	120.8	900000 pesos
P ₂ O ₅ - K ₂ O	50.8 P ₂ O ₅ – 51 K ₂ O	80300 pesos
K ₂ O	205	1335000 pesos

Una vez se tienen las cantidades recomendables de fertilizantes a adicionar, se debe tener en cuenta una serie de recomendaciones presentadas a continuación:

5.2.4 Localización de los fertilizantes en el suelo

En cualquier programa de fertilización se debe considerar que los nutrientes van a alimentar a la planta y no al suelo. Por tanto, los fertilizantes se deben colocar

donde mejor puedan ser utilizados por las plantas. En términos generales, para cultivos poco extensos se aconseja que el fertilizante se coloque lo más cerca posible a la semilla, dentro de los límites permisibles materialmente.

Los métodos más comunes de localizar los fertilizantes sólidos en el suelo son: aplicación al voleo, aplicación en banda, aplicación en el fondo del surco, aplicación en corona y aplicación en hoyos. Para el cultivo de yuca se aconseja esta última.

Aplicación en hoyos. Este método es muy práctico y apropiado para el caso del establecimiento de árboles frutales, café cacao, palma africana y especies forestales, así como en el caso de la yuca. El fertilizante se mezcla previamente con abonos orgánicos y correctivos, y una vez homogeneizado con el suelo se deposita en el hoyo, para colocar posteriormente la planta.

5.2.5 Época de aplicación de los fertilizantes

El efecto final de una fertilización no depende solamente de la correcta dosificación, selección de las fuentes y métodos de aplicación, sino también de la época oportuna en que la planta debe recibir el fertilizante, debido a que los distintos nutrientes son requeridos por la planta a un mismo tiempo.

Las aplicaciones de **fertilizantes nitrogenados** deben fraccionarse debido a la alta movilidad que el nitrógeno tiene en el suelo. Para evitar pérdidas por lavado y daños a la semilla, la fertilización con fuentes nitrogenadas debe descartarse con aplicaciones en su totalidad a la siembra. Generalmente es recomendable para mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada, hacer varias aplicaciones de nitrógeno a partir de la siembra hasta el inicio de la floración.

Las aplicaciones de **fertilizantes potásicos** deben fraccionarse tratando de aplicar 50% de la dosis en el momento de la siembra y 50% de la dosis restante, con la primera aplicación del nitrógeno días después de la emergencia del cultivo. De esta manera se mejora la eficiencia del potasio para el cultivo, por ser este otro elemento de alta movilidad en el suelo.

Sin temor a pérdidas por lixiviación, debido a la relativa inmovilidad del fósforo en el suelo, las aplicaciones de **fertilizantes fosfóricos** pueden hacerse en su totalidad, en presiembra, cuando se hacen siembras al voleo o al momento de la siembra cuando se establecen cultivos en surco. Comúnmente, el fósforo se aplica en el momento de la siembra junto con 50% de la dosis de potasio [10].

5.2.6 Recomendaciones varias: Manejo de la plantación de yuca

Precosecha. La óptima calidad de las raíces está dada por las buenas prácticas realizadas antes de la cosecha. Si se determina la cantidad de nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta, se controla el crecimiento de malezas o plantas indeseables y se mantiene un equilibrio biológico adecuado, es muy posible obtener resultados favorables al momento de cosechar.

Preparación del terreno. Es importante seleccionar el terreno donde se establecerá el cultivo y realizar un análisis de suelos para determinar su textura y composición química. El cultivo de la yuca es tolerante a ciertas condiciones adversas como la sequía, pero se ve muy afectado por la humedad. Es preferible sembrar en suelos franco arenosos.

La preparación debe hacerse a mano o de forma mecánica. Se debe arrastrar tratando de voltear la capa, a una profundidad de 20 cm y luego surcar tratando de que el surco tenga una altura de 20-30 cm y un ancho de 40 cm para lograr un

buen enraizamiento y que el suelo no se compacte para que el tubérculo engruese. No es recomendable rastrillar.

Control de acidez. En la etapa de preparación de suelos y antes de usar se debe aplicar cal para darle las condiciones mínimas al cultivo para su desarrollo.

Sistema de Siembra. La yuca se siembra en la parte alta del surco y la estaca se coloca en un ángulo de 45° para evitar el exceso de brotes y el cangre se debe enterrar a un 95% de su tamaño para evitar que se deshidrate muy rápido.

Manejo integrado de plagas y enfermedades. El ataque de plagas y enfermedades a un cultivo trae como consecuencia pérdidas económicas, deterioro de la calidad de las raíces y consecuencias ambientales lamentables. El manejo preventivo contribuye a asegurar la calidad del cultivo.

Prácticas adecuadas de establecimiento y sostenimiento del cultivo. Las buenas prácticas culturales, de nutrición y control de maleza sobre el cultivo, están relacionadas con los rendimientos y la calidad de las raíces al momento de la cosecha.

Deshierba. La yuca es un cultivo que no resiste la competencia por la luminosidad y si no tiene buena iluminación se atrasa y baja la productividad. Se recomienda como mínimo 2 deshierbas en el periodo del cultivo. La primera debe hacerse antes de los 45 días después de la siembra. Para lograr un buen desarrollo de la planta, generalmente es una labor manual que se hace con pala o machete. La segunda deshierba depende del grado de enmalezamiento. Si es necesario se hace una tercera antes de la cosecha.

Aporque. Para lograr un buen engrosamiento del tubérculo se debe realizar esta labor que consiste en amontar tierra alrededor de la planta. Se lleva a cabo en la segunda deshierba.

Raleo ó deshije. Para obtener una buena semilla y que la producción de la planta sea óptima, es necesario regular el número de tallos en la planta. Se deben dejar máximo 2 tallos por planta si son de igual calidad, pero si son desiguales se elimina el más deficiente. Esta labor se debe efectuar con la primera deshierba y si es necesario en la segunda. El deshije es manual.

Cosecha. Este proceso se realiza entre los 7 y 18 meses de edad de la planta y su importancia es tal, que si una variedad se cosecha antes de su período óptimo los rendimientos serán bajos; si se cosecha más tarde, el contenido de materia seca y de almidón podrían ser bajos.

La cosecha de las raíces puede realizarse de manera manual o mecánica. Estos métodos tratan de no partir las raíces ni ocasionarles daños físicos apreciables, para así evitar el proceso de deterioro.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La muestra de suelo analizada proveniente de la Finca El Caballito, presenta al terreno monitoreado como extremadamente ácido debido al elevado nivel de aluminio intercambiable y al bajo valor de pH registrado; siendo esta acidez la principal causa de su infertilidad.

De forma consecuente, los niveles de materia orgánica y de nutrientes son muy bajos reportándose asimismo una baja capacidad de intercambio catiónico asociada a una baja saturación de bases siendo bajo el suministro y reserva de calcio, magnesio y potasio.

Se determinó el requerimiento de cal por hectárea según el criterio de tolerancia al aluminio, tomando como base el cultivo de yuca, el cual reporta una tolerancia del 60% a la saturación de aluminio, una de las más elevadas constituyéndose en una alternativa viable para su cultivo en este terreno. Este requerimiento de cal fue menor que el calculado según el criterio del factor de encalamiento para suelos ácidos de Colombia.

Se determinaron así mismo las concentraciones de fósforo aprovechable, nitrógeno disponible, así como de potasio, calcio y magnesio, encontrando deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio según el requerimiento de estos nutrientes para el cultivo de yuca.

Se realizó la propuesta de un plan de fertilización teniendo en cuenta los nutrientes disponibles en el suelo y los requerimientos del cultivo de yuca. Dicho plan contempla la adición de un fertilizante nitrogenado, así como de fertilizantes potásicos y fosfóricos contemplados en el conocido 10:20:10, previo encalamiento del terreno.

La evaluación de las características físicas de la muestra de suelo analizada, califica al terreno como de buena aptitud física para el establecimiento de varios cultivos, siendo el más apropiado por sus características químicas antes descritas, el cultivo de yuca.

Finalmente, según la caracterización realizada a la Quebrada NN abastecedora de la Finca El Caballito, las aguas utilizadas para el riego provenientes de dicha Quebrada se clasificaron como **Buenas** de tipo C_1S_1 , siendo aguas de baja salinidad, y con bajo contenido en sodio, apta para el riego en todos los casos.

Se Recomienda:

Tomar muestras de suelo de forma rutinaria, las cuales son esenciales para conocer el ritmo de acidificación y así poder definir la frecuencia, tipo y cantidad de cal a aplicar.

Para realizar un encalado en un suelo ácido y con niveles bajos de nutrientes el agricultor debe conocer el suelo que trabaja, para esto se debe hacer un análisis de suelo lo cual es una determinación fácil, rápida y económica.

Utilizando la fórmula que se presentó en el texto se puede obtener la dosis de cal que se debe aplicar y de la misma forma lograr rendimientos óptimos del suelo.

En la aplicación de cal como método correctivo, es importante evitar el exceso (sobre encalado) ya que pueden surgir condiciones de excesiva basicidad con la consecuente reducción en la disponibilidad de nutrientes.

BIBLIOGRAFIA

1. Lebrija, Sitio oficial de Lebrija en Santander, Colombia. Disponible en Internet [on line]:<http://www.lebrija-santander.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m1W1--&m=f>
2. CHARRY, Jairo. Los suelos su clasificación, acidez, salinidad y fertilidad. Palmira: Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1991.
3. GRAETZ, Humberto. Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. Bogotá: ICA, 1991.
4. FLOREZ, Luis. Relaciones químicas de suelo, planta y fertilidad. Manizales: Universidad de Caldas, 1997.
5. MARIN, Gildardo. Fertilidad de los suelos con énfasis en Colombia. Bogotá: Sección comunicación rural. ICA, 1986.
6. RODRIGUEZ, Humberto y RODRIGUEZ, José. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación, 1ª. Ed., Trillas, México, 2002.
7. GRAETZ, Humberto. Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. Bogotá: ICA, 1991.
8. BALCAZAR, Rafael. Medio Ambiente y Agricultura Ecológica. Santa fe de Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1994.

9. MALAGON, Dimas; PULIDO, Carlos y CHAMARRO, Clara. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Santa fe de Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1995.

10. CASTRO, Hugo. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual técnico. Tunja: Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998.

11. MOLINA, Eloy. Acidez de suelo y encalado. San José de Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, 1998. Disponible en Internet [on line]: http://www.agrotriunfo.com/pdf/acidez_de_suelo_encalado.pdf. Consultado el 15 de octubre de 2009.

12. QUIJANO GONZALES, Pedro M. Ideología general Agrícola. Espasa Calpe. S.A.

13. PALACIOS V, Oscar y ACEVES N, Eucario. Riego de cultivos Agrícolas, Instituto para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad de agua para riego agrícola. 1988.

14. HARDENBERGH. W. WATER Supli and purification. Editor Public Works Magazine. 3 ed, mayo de 1960.

ANEXOS

LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS PROGRAMA DE SUELOS DIRECCIÓN: Carrera 27 Calle 9 Ciudad Universitaria Teléfono: 6544000 Ext. 2499 Bucaramanga - Santander del Sur		CONVENIO GOBERNACIÓN DE SANTANDER - UIS SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL ESCUELA DE QUÍMICA - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Telefax: (7)6324861 - Correo Electrónico: laboratorioquimicosuelos_uis@uias.com		ANÁLISIS DE SUELOS: UN BENEFICIO MAYOR Y PRIORITARIO PARA EL CAMPO DIA: 24 MES: SEPTIEMBRE AÑO: 2009 Finca: El Caballito														
CLIENTE:	Jaime Yamid Lamus	MUNICIPIO:	Lebrija	VEREDA:	Palonegro													
DIRECCIÓN:	Carrera 16 A N° 2ª - 30	TELÉFONOS:	6387238	DEPARTAMENTO:	Santander													
TOPOGRAFÍA:		EXTENSIÓN:		ANÁLISIS SOLICITADOS	ELEMENTOS MENORES													
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS																		
No. Orden	No. Lab.	pH Unidad	% C	P (ppm) Bray II	Ca Mg Na K Al meq/100g suelo	% Arena	% Limo	% Arcilla	TEXTURA	CIC meq/100g	CE mmhos/cm	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	
	8479									8,4	0,05							
PARAMETROS pH: Potencia de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K Al: Aluminio intercambiable % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC Capacidad Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica						MÉTODO ANALÍTICO Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black K ₂ C ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ Colorimétrico: Bray II. HCl 0.1 N-NH ₄ F 0.03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Valoración: Extracción: KCl Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción: Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción: Fosfato Monocálcico Electrométrico: Extracción: Acetato de Amonio Agua destilada						OBSERVACIONES N.D.: No detectable a la mínima concentración detectada para el método						
						VoBo												
						JAIME H. CAMARGO HERNÁNDEZ Químico Mat. Prof. 0047												

Resultados emitidos por el laboratorio Químico de Suelos de la Universidad Industrial de Santander para la muestra de suelo recolectada en la Finca El Caballito.



REPORTE DE RESULTADOS

Página 1 de 3
SOLICITUD No. 195

FECHA: Octubre 28 de 2009
 NOMBRE DEL SOLICITANTE: JAIME YAMID LAMUS SIERRA
 No DE MUESTRAS: 1
 MUESTRAS TOMADAS POR: El Solicitante
 FECHA DE LLEGADA AL LABORATORIO: Agosto 18 de 2009

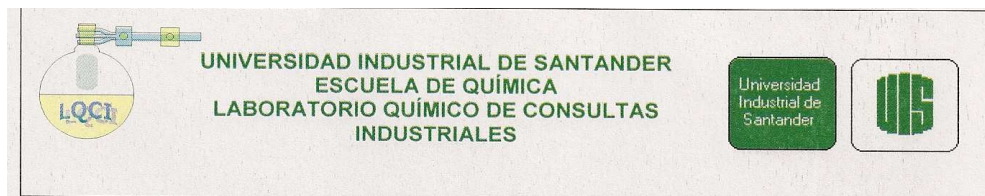
RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICO

Muestra Identificada como: Muestra de agua compuesta durante 12 horas el día 17 de agosto de 2009 en la quebrada.

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	48,6	Conductivimétrico
Cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$)	11,43	Titrimétrico
Sulfatos ($\text{mg SO}_4\text{-}2/\text{L}$)	11,4	Espectrofotométrico
Bicarbonatos ($\text{mg HCO}_3\text{-}/\text{L}$)	18,04	Titrimétrico
Carbonatos ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	0,0	Titrimétrico
Sodio ($\text{mg Na}/\text{L}$)	3,95	Absorción Atómica
Potasio ($\text{mg K}/\text{L}$)	6,09	Absorción Atómica
Calcio ($\text{mg Ca}/\text{L}$)	1,18	Absorción Atómica
Magnesio ($\text{mg Mg}/\text{L}$)	3,73	Absorción Atómica
Salinidad Efectiva (meq/L)	0,402	Titrimétrico/Absorción Atómica
Salinidad Potencial (meq/L)	0,38	Titrimétrico/Absorción Atómica
RAS	0,4	Absorción Atómica
Carbonato de sodio residual (meq/L)	-0,074	Titrimétrico/Absorción Atómica
Porcentaje de Sodio Posible	47,78	Titrimétrico/Absorción Atómica

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 222
 Apartado Aereo 0678 - Conmutador: 6344000 Ext. 2465. Telefax: 6349009
 E-mail: labquimco@yahoo.es
 Bucaramanga - Colombia

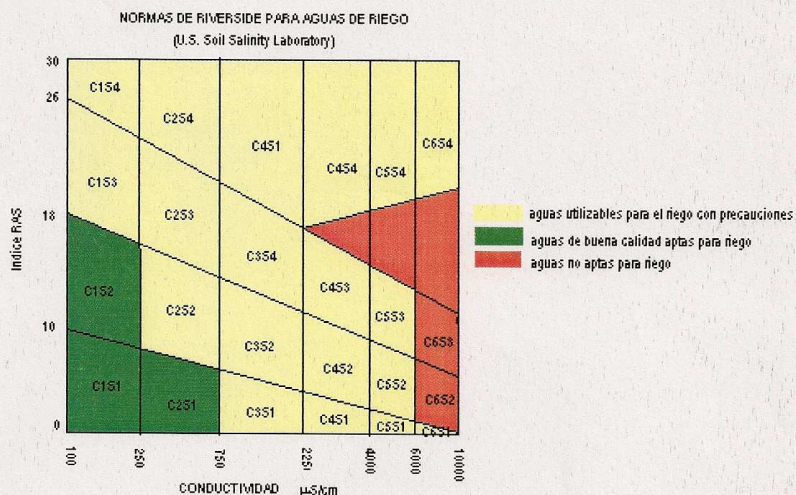
Resultados emitidos por el laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para las muestras de agua recolectada en la Quebrada NN abastecedora de la Finca El Caballito.



REPORTE DE RESULTADOS

Página 2 de 3

Agua clasificada dentro de la zona del tipo C1-S1. Algunas de las características de esta clase de agua son las siguientes: Agua de baja salinidad, con bajo contenido de sodio, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.

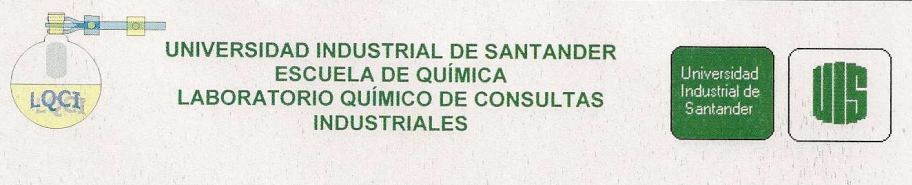


De acuerdo con los criterios de Palacios y Aceves (1970) y De la Peña (1986) para el valor de carbonato de sodio residual clasifican al agua como BUENA para riego, puesto que el valor es inferior a 1,25 meq/L.

Como el porcentaje de sodio posible es inferior al 50% se permite clasificar el agua como BUENA, donde puede ser aplicada sin restricciones a diferentes suelos y cultivos.

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 222
 Apartado Aereo 0678 - Conmutador: 6344000 Ext. 2465. Telefax: 6349009
 E-mail: labquimco@yahoo.es
 Bucaramanga - Colombia

Resultados emitidos por el laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para las muestras de agua recolectada en la Quebrada NN abastecedora de la Finca El Caballito.



REPORTE DE RESULTADOS

Página 3 de 3

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración. COPIA DE RESULTADO ORIGINAL.



Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora Laboratorio Químico
de Consultas Industriales
Matrícula Profesional PQ.1144

Resultados emitidos por el laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para las muestras de agua recolectada en la Quebrada NN abastecedora de la Finca El Caballito.