

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Distribución espacial de las propiedades químicas de los suelos en el Distrito de Riego RUT

Carlos José López Martínez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Posgrados
Palmira-Colombia

2016

Distribución espacial de las propiedades químicas de los suelos en el Distrito de Riego RUT

Carlos José López Martínez

Tesis de grado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias

Director

Juan Carlos Menjivar. Ph.D.

Director

Andrés Echeverri M. Sc.

Línea de Investigación Suelos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela de Posgrados

Palmira-Colombia

2016

Dedicatoria

A Dios

Quien me protege, me cuida en cada paso que doy.

A mi Madre

Por tenerme en sus oraciones y apoyarme en cada paso que doy.

A mi Esposa e Hijo

A mi esposa Jesica y mi hijo Isaac por darme el espacio, el tiempo el amor, la comprensión y apoyarme en cada decisión que tomo en la vida.

Agradecimientos

A todas aquellas personas que desinteresadamente y de corazón contribuyeron para que este logro se hiciera realidad.

Al profesor Andrés Echeverry por su comprensión, colaboración, capacidad e ilustración, para que este proyecto saliera adelante y se lograra realizar.

Al Doctor Juan Carlos Menjivar Flores porque sin su conocimiento, paciencia, consejos, dirección, y exigencia me hubiera quedado cuesta arriba este proceso.

AL Distrito de riego RUT por sus aportes financieros y logísticos para avanzar con la información requerida para este proyecto.

A mis amigos Sergio Silva, John Hernández, Jonatán Bernal y Jhon William quienes hicieron más llevadero este proceso.

A mi amigo y Director de Operaciones del RUT Leonardo Sánchez quien con sus consejos y amistad hizo que este proceso fuera ameno e interesante, mil gracias amigo.

Resumen

Uno de los centros productivos más importantes de Colombia es el Distrito de Riego R.U.T localizado en el Valle del Cauca Colombia. Se realizó un muestreo semi-detallado tomando muestras a dos profundidades, georeferenciadas y distribuidas aleatoriamente en las unidades cartográficas de suelo presentadas en los estudios de suelos de IGAC.CVC 2004. Las propiedades químicas evaluadas fueron CE, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CIC, PSI y PMgl

El Objetivo general del presente estudio era determinar la distribución espacial de las propiedades químicas de los suelos del distrito de riego RUT, generando mapas informativos con fines de orientar al agricultor sobre los diferentes procesos que debe afrontar y superar en el establecimiento y fases productivas de los cultivo, se utilizó la herramienta *Cross Validation* de la extensión *Geostatistical Analyst* del *ArcGis 10.3.1*.

Los resultados muestran en los suelos del RUT, las bases intercambiables en altas cantidades, pero en desequilibrio iónico, ocasionando antagonismos en las relaciones asociadas $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$, $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$, $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$, promoviendo la adición de fertilizantes para buscar balance de bases, se presentaron características magnésicas en el 99% de los suelos del RUT, los niveles medios de magnesio intercambiable fueron en el 55% del área mientras los niveles altos el 49%, las zonas con niveles medios de magnesio intercambiable presentaron problemas en las características físicas del suelo, las mayores afectaciones por magnesio intercambiable se distribuyeron espacialmente en la zona centro cuyos afectaciones guardaron relación con los mapas de las relaciones de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ invertidas y con las de porcentaje de saturación de Mg^{2+} .

Palabras clave: Distribución espacial, Degradación química, Magnesio intercambiable.

Summary

One of the most important production centers in Colombia is the Irrigation District RUT located in the Valle del Cauca Colombia. A semi-detailed sampling was conducted by taking samples at two depths, geo-referenced and randomly distributed in the soil mapping units presented in studies 2004 IGAC.CVC floors. The chemical properties were evaluated CE, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , PSI and MSP

The general objective of this study was to determine the spatial distribution of the chemical properties of soils irrigation district RUT, generating informative maps for the purpose of guiding the farmer about the different processes that must face and overcome in the development and production phases of the cultivation, *Cross Validation* tool *Geostatistical Analyst* extension was used *Arc Gis 10.3.1*.

The results show in the soils of RUT, exchangeable bases in high amounts, but ionic imbalance, causing antagonisms associated Mg^{2+} relations / K^{+} / K^{+} / Mg^{2+} / Ca^{2+} / $\text{K}^{+}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{K}^{+}$ and Ca^{2+} / Mg^{2+} , promoting the addition of fertilizers to find balance bases, magnésicas characteristics were presented in 99% of soils in the RUT, the average levels of exchangeable magnesium were in 55% of the area while high levels 49%, areas with average levels of exchangeable magnesium had problems in the physical characteristics of the soil, the most affected by exchangeable magnesium were distributed spatially in the downtown area whose affectations were related to relations maps $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ reversed and the percent saturation Mg^{2+} .

Keywords: Space Distribución, Chemical degradation, Exchangeable magnesium.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Summary	X
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Introducción	17
1. Revisión de literatura	21
1.1 Degradación de los suelos	21
1.2 Tipos de degradación	21
1.3 Consecuencia de la degradación	22
1.4 El intercambio catiónico y su relación con la disponibilidad de las bases de cambio	22
1.5 Relación de bases en el suelo	25
1.6 Antecedentes de la distribución espacial de propiedades químicas del suelo con sistemas de información geográfica.	27
2. Materiales y Métodos	31
2.1 Localización y caracterización de la zona de estudio	31
2.2 Selección de los puntos de muestreo	35
2.3 Localización de los sitios de muestreo	37
2.4 Toma de muestras de suelo	38
2.5 Técnicas de laboratorio en la determinación de las variables de respuesta. ...	39
2.5.1 Determinación de la Conductividad Eléctrica -C.E.....	39
2.5.2 Determinación de pH con potenciómetro	39
2.5.3 Determinación de bases intercambiables por absorción atómica.....	39
2.6 Criterio para determinar la relación de absorción de sodio (RAS).	40
2.7 Comparación entre órdenes taxonómicos por propiedades evaluadas.....	41
2.8 Análisis de la distribución espacial de las propiedades evaluadas	41
3. Resultados y Discusión	43
3.1 Conductividad eléctrica	43
3.2 pH	45
3.3 Potasio.....	48
3.3.1 Porcentaje de Saturación de K ⁺ en primer y segundo horizonte	50

3.4	Sodio	51
3.4.1	Porcentaje de Saturación de sodio en el primer y segundo horizonte .	53
3.4.2	Relación de absorción de sodio (RAS).....	55
3.5	Calcio.....	60
3.5.1	Porcentaje de Saturación de Ca ²⁺ en el primer y segundo horizonte.	61
3.6	Magnesio.....	63
3.6.1	Porcentaje de Saturación de Magnesio en el primer y segundo horizonte.	64
3.7	Relaciones entre bases de cambio.....	69
3.7.1	Relación Ca ²⁺ : Mg ²⁺	69
3.7.2	Relaciones Mg ²⁺ /K ⁺ , K ⁺ /Mg ²⁺ , Ca ²⁺ /K ⁺ , (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/K ⁺	71
4.	Conclusiones	75
5.	Recomendaciones.....	77
5.1	Recomendaciones para la conservación de las propiedades químicas de los suelos y las aguas de riego del distrito RUT.	77
5.2	Recomendaciones directas para los usuarios del RUT.	78
Anexos	79
A.	Anexo. Ubicación de puntos de muestreo (0-50 puntos).....	80
B.	Anexo. Ubicación de puntos de muestreo (51-100 puntos).....	81
C.	Anexo. Datos de 0 a 50 de los parámetros muestreados de 0 a 25 cm.....	82
D.	Anexo. Datos de 50 a 100 de los parámetros muestreados de 0 a 25 cm.....	83
E.	Anexo. Datos de 0 a 50 de los parámetros muestreados de 25 a 50 cm.....	84
F.	Anexo. Datos de 50 a 100 de los parámetros muestreados de 25 a 50 cm.....	85
G.	Anexo. Propiedades químicas de 0 a 25 cm estudio de suelos RUT 2004.	86
H.	Anexo. Propiedades químicas de 25 a 50 cm estudio de suelos RUT 2004.	87
I.	Anexo. Datos de Calidad de Agua para tres zonas de estudio RUT.....	88
Bibliografía	89

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Unidades cartográficas de Suelos IGAC-CVC ,2004	32
Figura 2. Órdenes taxonómicos de Suelos IGAC-CVC ,2004.....	33
Figura 3. Ubicación de sitios de muestreos georeferenciados.....	38
Figura 4. Distribución de la CE en el primer horizonte del R.U.T	44
Figura 5. Distribución de la CE en el segundo horizonte del R.U.T	45
Figura 6. Distribución de pH en el primer horizonte del R.U.T	47
Figura 7. Distribución de pH en el segundo horizonte del R.U.T	47
Figura 8. Distribución de K^+ en el primer horizonte del R.U.T	49
Figura 9. Distribución espacial de K^+ en el segundo horizonte del R.U.T	49
Figura 10. Distribución de la saturación K^+ en el primer horizonte del R.U.T	50
Figura 11. Distribución de la saturación K^+ en el segundo horizonte del R.U.T	51
Figura 12. Distribución de Sodio en el primer horizonte del RUT	52
Figura 13. Distribución de Sodio en el segundo horizonte del RUT	53
Figura 14. Distribución de saturación de sodio en el primer horizonte en el R.U.T.	54
Figura 15. Distribución de la saturación de sodio en el R.U.T.	54
Figura 16. Distribución de las zonas de riego en el distrito de riego RUT	56
Figura 17. Distribución de Ca^{2+} en el distrito de Riego del R.U.T	61
Figura 18. Distribución de la saturación de Ca^{2+} en el primer horizonte del R.U.T	62
Figura 19. Distribución de la saturación de Ca^{2+} en el segundo horizonte del R.U.T	63
Figura 20. Distribución de Mg^{2+} en el distrito de Riego R.U.T	64
Figura 21. Distribución de la saturación Mg^{2+} en el primero horizonte del R.U.T	65
Figura 22. Distribución de la saturación Mg^{2+} en el segundo horizonte del R.U.T	66
Figura 23. Distribución de la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} en los suelos del Distrito R.U.T	70
Figura 24. Relación $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ en el primer horizonte los suelos del R.U.T	72
Figura 25. Relación $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ en el segundo horizonte los suelos del R.U.T	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Interpretación de rangos de relación de balance de bases para suelos con fines agrícolas.	24
Tabla 2. Interpretación de bases y su porcentaje de saturación en suelos con fines agrícolas	24
Tabla 3. Interpretación de niveles de pH para suelos con fines agrícolas	25
Tabla 4. Representatividad por área de los órdenes taxonómicos en el Distrito RUT	33
Tabla 5. Área representativa por Cada Unidad Cartográfica de Suelos (UCS) RUT	34
Tabla 6. Área de las diferentes UCS con afectación de sales y/o Sodio.	35
Tabla 7. Modelo para designar No de muestras adicionales por % de área en las UCS ..	36
Tabla 8. Distribución de muestreos de los suelos del RUT	36
Tabla 9. Calidad del agua en el distrito de riego RUT	57
Tabla 10. Relación de HCO_3/Ca y CEw del agua de Riego.....	58
Tabla 11. RAS ^o Calculado para las aguas de riego en el distrito R.U.T.....	59
Tabla 12. Criterio para evaluar riesgo de sodicidad relacionado con riesgo de salinidad ..	59
Tabla 13. Niveles de LAA en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio.	68
Tabla 14. Niveles de DPM en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio...	68
Tabla 15. Niveles de Ks en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio	69
Tabla 16. Relaciones entre bases de cambio en los suelos del R.U.T	72

Introducción

La producción de alimentos y el uso del agua están íntimamente relacionados. El agua siempre ha sido el principal factor limitante de la producción agrícola en gran parte del mundo donde la lluvia es insuficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos por lo que la utilización y conservación racional del agua debe constituirse en elemento fundamental en cualquier estrategia de desarrollo (García *et al.*, 2011). Con la creciente competencia por las fuentes hídricas disponibles y con el constante aumento de la demanda de productos básicos agrícolas, nunca antes había sido más urgente el llamado a mejorar la eficiencia y productividad del uso del agua en la agricultura, para garantizar tanto en términos de cantidad como de calidad, es una de las aristas más sensibles del vínculo entre desarrollo, equidad y sostenibilidad (Novo y Garrido, 2011)

Actualmente la agricultura consume alrededor de dos terceras partes del agua dulce en todo el mundo (FAO, 2013). El riego ha sido crucial para aumentar la producción de alimentos. Adicionalmente, el riego reduce el riesgo a la sequía y fomenta la diversificación de cultivos, mejorando de ésta manera los ingresos rurales. Sin embargo, la mala administración del riego, también puede contribuir al anegamiento y salinización.

El anegamiento del suelo proviene de la sobre-irrigación e inadecuado drenaje. De esta manera, se restringe el crecimiento de la planta y a menudo precede a la salinización. El cambio climático hace que la solución de estos problemas sea más urgente. Las medidas apropiadas pueden ser implementadas para limitar la extracción excesiva de nutrientes en el suelo, el anegamiento, y la salinización que pueda dar lugar a pérdidas considerables de tierras con vocación agrícola y resultar en costos operativos insostenibles (FAO, 2013). El aumento de la concentración de sales en la solución del suelo, disminuye la disponibilidad del agua para las plantas a causa del aumento del potencial osmótico. Afecta de manera irreversible los procesos fisiológicos, impactando negativamente en la producción agrícola. Este tipo de degradación, es un proceso lento pero latente, que cada

vez crece. Sin embargo, hasta el momento no se le ha prestado ningún tipo de atención ya que no existen planes de contingencia diseñados para mitigar su impacto.

De hecho, una herramienta tan útil como la gestión del riesgo, ha sido totalmente enfocada a elementos expuestos como vidas o infraestructuras, y no se ha considerado el recurso suelo como un elemento expuesto; ignorando su importancia en el ámbito económico, social y ambiental. En este sentido, mientras el proceso avanza, el efecto recae sobre los ecosistemas, la productividad y sobre la economía de los productores agrícolas.

En el caso del distrito de riego Rut, se pretende abordar la distribución espacial de propiedades químicas, la relación entre ellas y las posibles afectaciones a los suelos del distrito de riego y que grado de degradación tenemos actualmente, esta información se traducirá a la potencial pérdida de capacidad productiva del suelo, lo que en posteriores estudios se podría valorar el impacto en cuanto a pérdidas económicas y daño ambientales.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el distrito de riego RUT, no existe una distribución espacial de propiedades químicas analizadas estadística y geo estadísticamente que permitan claramente determinar índices de homogeneidad y degradación que se constituya en una herramienta fundamental para el agricultor y que este pueda definir el plan de uso y manejo de los suelos.

Bajo estas premisas, éste trabajo pretende construir indicadores que nos permitan evaluar e identificar los diferentes estados de degradación que presenta el distrito de riego RUT. Inicialmente se presentará un marco conceptual sobre las temáticas asociadas a la problemática. Posteriormente se desarrollará la aproximación metodológica para la evaluación e identificación, luego se desarrollarán bajo sistemas de mapeo en ARGIS la zonificación de las áreas con las diferentes intensidades de degradación y el riesgo que este presenta para realizar agricultura dentro de estas zonas.

El objetivo general es determinar la distribución espacial de las propiedades químicas de los suelos del distrito de riego RUT.

Como objetivos específicos se plantearon:

-
- Determinar el estado actual de la fertilidad de los suelos del distrito de riego RUT en función de las principales propiedades químicas de los mismos y su distribución en todo el distrito.
 - Evaluar las relaciones existentes y los porcentajes de saturación de las bases de cambio de los suelos como un indicador del balance de la fertilidad de estos suelos.
 - Evaluar la distribución espacial de los posibles problemas de degradación química que se pueden estar presentando en los suelos del distrito de riego RUT.

1. Revisión de literatura

1.1 Degradación de los suelos

El suelo es considerado como un ente de la naturaleza, cuyas características son el resultado de una larga evolución hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones naturales. Se ha de tener claro que en esas condiciones ambientales no está incluida la acción de las civilizaciones humanas. El suelo es un componente del medio natural y como tal debe ser considerado como un suelo virgen, no explotado. Es evidente que su continua y abusiva utilización por parte del hombre ha truncado su evolución y ha condicionado negativamente sus propiedades (Vázquez, 2009).

Los sistemas de producción agrícola han propiciado un deterioro continuo del recurso suelo, afectando características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que se traduce en una pérdida de la productividad agrícola reflejada en menores rendimientos y mayores problemas ambientales (Mogollón 2014).

El establecimiento de sistemas productivos inapropiados ha incrementado la afectación de suelos por sales, procesos de degradación como la erosión hídrica y eólica, terminan por presentar resultando en reducción de la fertilidad de los suelos, disminución en la cantidad y calidad de agua disponible para los cultivos y pérdida de la biodiversidad animal y vegetal; lo que ha conducido a la improductividad de los recursos existentes en la zona bajo estas condiciones (Rodríguez et al., 2009).

1.2 Tipos de degradación

Entre el amplio concepto de degradación se distingue una serie de degradaciones de diferentes tipos como la degradación de la fertilidad, la erosión y la contaminación; de cada una de ellas se dividen diferentes tipos de degradación, en este caso nos

enfocaremos en la degradación de la fertilidad, la cual obedece a la disminución de la capacidad del suelo de soportar vida (Dorronsoro, 2009).

En zonas áridas y semiáridas se debe considerar que la implementación de sistemas agrícolas no apropiados, en algunas ocasiones puede llevar a dos tipos de problemas: a) la degradación química del suelo, producto de la acumulación de sales solubles, y b) problemas de degradación física de suelos, como compactación, pérdida de estructura, los cuales no sólo provocan un déficit nutricional, sino que también disminuyen el potencial productivo de estos suelos (Muñoz et al., 2013)

1.3 Consecuencia de la degradación

Las áreas de suelo degradadas por problemas de sales y sodio están ampliamente distribuidas en el mundo; pero son de mayor importancia para el hombre, las ubicadas en las zonas áridas y semiáridas que se han abierto a la agricultura intensiva (Torres et al., 2015). La contaminación de los suelos trae como consecuencia procesos de empobrecimiento a causa la desertificación, la erosión y la salinización; este último consiste en la acumulación de sales en la capa arable del suelo, las cuales causan efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas (Torres et al. 2006, Mogollón et al., 2010).

En definitiva, estos procesos de degradación producen un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos tienen dos consecuencias generales una a corto plazo como la disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos), y a largo plazo se manifiesta la infertilidad total, abandono y desertización del territorio (García, 2013).

1.4 El intercambio catiónico y su relación con la disponibilidad de las bases de cambio

Gracias a su carga negativa, la fracción coloidal de la fase sólida del suelo, constituida principalmente por las arcillas finas y la materia orgánica, es el mayor reservorio de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ para las plantas (Sadeghian, 2012). De esta manera, estos cationes y otros elementos con cargas positivas (Na^+ , Al^{3+} y Mn^{2+}) son adsorbidos por la superficie

negativamente cargada de estas partículas coloidales, las cuales se mueven de manera dispersa en una solución electrolítica (Mengel y Kirkby 2000).

Conocer la distribución de las bases en el complejo de cambio, permite inferir propiedades relacionadas con la riqueza de los coloides, capacidad buffer, acidez, tipo de material parental requerimiento de enmiendas, fertilización y hasta comportamiento físico, lo cual es un índice que expresa la capacidad productiva de un suelo (Torres y Chinchilla 2006). Aun es más importante conocer la concentración y saturación de cationes apropiada y balanceada respecto a la CIC la cual Castro y Gómez (2013) proponen como 55-65% de calcio, 15.20% magnesio y un 3-5% potasio, de igual forma referencia que los elementos relacionados con las propiedades de cambio son los cationes y su presencia depende de otras propiedades de los suelos como pH, origen de las cargas y de propiedades de los elementos como la energía de retención, radio iónico y valencia.

La disponibilidad de nutrimentos en el suelo puede ser afectada por factores como antagonismos y sinergismos. Para los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ estos factores son especialmente importantes (Cadena, 2004). Cationes como el potasio y sodio pueden ejercer efectos antagónicos o sinérgicos sobre la absorción y translocación recíproca dentro de las plantas, en particular bajo condiciones de campo salina y salino-sódicos tal como lo investigaron Hussain et al., (2013) evaluaron el papel de K^+ en el alivio de los efectos adversos de Na^+ en el trigo [*Triticum aestivum* (L), Iquilab-91] crecido en los sitios de dos campos que varían en salinidad. Obtuvieron incremento en la producción de trigo con la aplicación de K^+ el mejor rendimiento y crecimiento fueron acompañados por una mayor relación $\text{K}^+ : \text{Na}^+$ en ambos sitios, lo que también indico una mejora en la tolerancia a la sal de la cosecha.

Otros investigadores como Lince et al, (2015), han evaluado suelos provenientes de cinco unidades cartográficas de la zona cafetera central de Colombia, observando la disponibilidad de cationes en la solución del suelo y su relación con las propiedades edáficas, para lo cual analizaron las características físicas, químicas y mineralógicas, incluyendo la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en la solución. Encontraron como cationes predominantes en las cinco unidades al Ca^{2+} , seguido por Mg^{2+} y K^+ , y las concentraciones de éstos para la fase de cambio y la solución, en la mayoría de los suelos el comportamiento fue similar en los primeros 30 cm, las unidades Catrina,

Doscientos y Guamal presentaron los valores más altos mientras las unidades Quindío y Chinchiná los más bajos, lo cual se relacionó con el material parental ya que las tres primeras provienen de rocas máficas y ultramáficas y las dos últimas de materiales de composición intermedia. Finalmente, las concentraciones de Ca^{2+} en la solución se explicaron desde 36,97 % hasta 88,11 % por la fase de cambio, las de Mg^{2+} desde 32,23 % hasta 97,30 % y las de K^+ desde 79,06 % hasta 94,68 %, mediante modelos lineales que incluyeron nutrientes del suelo y propiedades como CIC, pH y contenido de arcillas.

En la tabla 1 se muestran los niveles y rango para la interpretación de la relación del balance de bases para suelos con fines agrícolas.

Tabla 1. Interpretación de rangos de relación de balance de bases para suelos con fines agrícolas.

Apreciación	$\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}:\text{K}^+$	$\text{K}^+:\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}:\text{K}^+$	$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{K}^+$
Relación Ideal	3-5	6-8	0.2-0.3	12-18	12-20
K^+ deficiente		>10	< 0.2	> 30	> 40
Mg^{2+} deficiente	> 10	<6	>0.3		
Ca^{2+} deficiente	Suelos con relación $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ invertida				

Castro y Gómez 2009

La tabla 2 presenta la los rangos y niveles para interpretar los porcentajes de saturación de bases en suelos con fines agrícolas.

Tabla 2. Interpretación de bases y su porcentaje de saturación en suelos con fines agrícolas

Apreciación	Ca^{2+}		Mg^{2+}		K^+		Na^+	
	Cmol.Kg^{-1}	% Sat	Cmol.Kg^{-1}	% Sat	Cmol.Kg^{-1}	% Sat	Cmol.Kg^{-1}	% Sat
Muy Bajo	< 2		< 0.5		< 0.2			
Bajo	2-3	< 50	0.5 - 1.2	< 15	0.2 - 0.4	< 2	< 0.1	
Medio	> 3-6	50 - 70	> 1.2 - 1.8	15 - 25	> 0.4 - 0.6	2 - 3	0.1 - 0.5	< 7
Alto	> 6	> 70	> 1.8	> 25	< 0.6 - 1	> 3	> 0.5	> 15

Castro y Gómez 2009

La tabla 3 nos muestra los diferentes niveles empleados para interpretar las condiciones de acides en suelos con fines agrícolas.

Tabla 3. Interpretación de niveles de pH para suelos con fines agrícolas

Apreciación	Rango
Fuertemente ácido	5.1 - 5.5
Moderadamente ácido	5.5 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Alcalino calcáreo	7.4 - 7.9
Moderadamente alcalino	8.0 - 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 - 9.0

Castro y Gómez 2009

Algunos investigadores varían acorde a resultados obtenidos estos porcentajes tal como lo muestra Estrada, (2001) quien hace una síntesis de los niveles críticos y las relaciones ideales para Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en el suelo, propuestas por diversos autores. En general se consideran como bajos los siguientes rangos:

- Contenido de Ca^{2+} intercambiable: 1,5–3,0 cmolc kg^{-1}
- Porcentaje de saturación de Ca^{2+} : 15–30%
- Contenido de Mg^{2+} intercambiable: 0,4–1,5 cmolc kg^{-1}
- Porcentaje de saturación de Mg^{2+} : 5–15%
- Relación $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$: 1

1.5 Relación de bases en el suelo.

La disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas depende de la cantidad y la naturaleza de estos en la solución del suelo, y su asociación con los nutrientes adsorbidos o contenidos en la fase sólida Sadeghian, (2012), no obstante, algunos suelos presentan desequilibrio iónico por lo que hay que realizar un balance de bases e identificar cuales elementos hay que agregar o sacar del complejo de cambio para lograr el equilibrio. En ocasiones la aplicación de las diferentes relaciones de $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ en forma de sales (carbonatos) no logran variaciones proporcionales de estos elementos en el suelo de

acuerdo con las cantidades aplicadas; comportamiento que se ha relacionado con las diferencias en la solubilidad de las fuentes empleadas (Oliveira y Parra 2003)

Zúñiga et al, (2011), evaluaron en la hacienda grama del municipio de Roldanillo Valle del Cauca, en una parcela de 2 hectáreas y en cultivo de Maíz, tres tecnologías propuestas y compararlas con el método convencional basada en la teoría del USDA (United States Department of Agriculture) de enmiendas químicas (yeso – azufre), las tecnologías propuestas fueron 1. La aplicación de biofertilizantes, 2. Biopolímeros y 3. Electromagnetismo. Los tratamientos basados en el uso de microorganismos fueron los más efectivos en cuanto respuesta fisiológica y productividad. Se resalta la estimulación electromagnética, puesto que aceleró la actividad microbiana, lo cual disminuyó el tiempo de mejoramiento y enriquecimiento de los suelos. Los biofertilizantes y los biopolímeros influyeron en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, con una disminución de la compactación y mejora en su estructura.

Gasca et al, (2011), estudiaron la efectividad de la de la vinaza como enmienda para mitigar el efecto del Na^+ y simultáneamente su acción sobre la biomasa microbiana, esta investigación se realizó en suelos con problemas de sales y/o sodio con características que imponen limitaciones fuertes para su uso agropecuario intensivo, la aplicación de vinaza influyó favorablemente en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando variables como Infiltración básica, M.O, PSI, RAS, CIC, C-Biomasa Microbial y actividad biológica, la actividad en la biomasa microbiana del suelo contribuyendo en el mejoramiento de las propiedades químicas, y estimulando la microbiota del suelo, limitada por la presencia del Na^+ y otras sales en el medio edáfico también mostro cambios favorables en la infiltración.

Díaz, (2006) determinó en cinco unidades de suelo de la zona cafetera colombiana el efecto de algunas dosis de cal agrícola sobre las características químicas del suelo, empleando una fuente con 51% de CaO y 2% de MgO . Con el incremento de las dosis aplicadas se incrementaron los niveles de Ca^{2+} extraídos con acetato de amonio normal y neutro; pese a ello, la tasa del aumento de este elemento no fue igual en todos los suelos. El comportamiento de la respuesta al Mg^{2+} presentó una tendencia cuadrática en cuatro de los suelos evaluados; tendencia que se relacionó con la competencia entre Ca^{2+} y Mg^{2+} en dosis altas de Ca.

Diferentes investigaciones se han realizado, para tratar de incorporar al suelo nutrientes que puedan reemplazar las fertilizaciones químicas y que además contribuyan a mejorar las condiciones físicas de los suelos, con la aplicación de vinaza en diferentes tratamientos tratando de suplir los requerimientos de potasio en el cultivo de maíz tal como lo hacen Ángel y Menjivar (2010) y Narváez et al, (2010).

1.6 Antecedentes de la distribución espacial de propiedades químicas del suelo con sistemas de información geográfica.

Las variaciones espaciales aplicadas a la agricultura pueden estudiarse a través de técnicas geoestadística que permiten elaborar mapas con características homogéneas delimitadas con información precisa para su manejo Vásquez, (2009). La variabilidad espacial que presentan los suelos en referencia a las propiedades químicas es un problema al que se enfrentan los investigadores que trabajan la agricultura de precisión; sobre todo cuando se desea saber cómo se distribuye la concentración de nutrimentos o algunas otras variables químicas útiles para la experimentación (Acevedo et al., 2008).

El conocimiento que se pueda construir de forma precisa identificando y ubicando espacialmente las dificultades o situaciones que puedan presentar en los suelos y en los cultivos de una zona específica, contribuyen en buena medida a mejorar la calidad y confiabilidad de los agricultores, para realizar labores puntuales de adecuación y preparación de tierras donde sean necesarias, de igual forma se podrían realizar fertilizaciones y enmiendas logrando así, obtener beneficios económicos, mejores producciones y calidades en los cultivos (Garzón et al.,2010).

Cabrera et al, (2015), evaluaron la distribución espacial de la CE, RAS corregido e Iones Tóxicos de las aguas subterráneas utilizadas para riego en la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río Cuba. Los semivariograma experimentales se determinaron mediante el programa ILWIS. Verificaron la existencia de anisotropía en la distribución espacial de las variables analizadas. Todos los semivariograma se ajustaron a un modelo Power. Se utilizó el Kriging ordinario, y su comprobación mediante la técnica de validación cruzada o jackknife. El procedimiento se realizó mediante la extracción de hasta un 50% de los datos disponibles y su comparación con los valores obtenidos mediante la interpolación.

Concluyeron que las aguas de la región Occidental de Pinar del Río en su totalidad clasifican como salinas con restricciones severas para el riego por aspersión en más del 95% de las fuentes por la alta concentración de los iones tóxicos sodio y cloruros.

Araujo, (2011), realizó un estudio para establecer la influencia que sobre la fertilidad del suelo presentaron las variaciones espaciales de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la Provincia de Quebec (Canadá), el muestreo fue realizado en una red de 10x10m a 20 cm de profundidad, y a cada 10 cm hasta 40 cm de profundidad. Los análisis geoestadísticos se realizaron con el programa GS+. La textura, la humedad del suelo y los cambios en los compuestos orgánicos afectaron la distribución espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos evaluados. La granulometría del suelo, el contenido de humedad, los procesos de mineralización - inmovilización y los cambios en la naturaleza de los compuestos orgánicos afectaron los patrones de distribución espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos estudiados. Las propiedades físicas mostraron coeficientes de variación más bajos que las propiedades químicas y biológicas en ambos suelos, indicando que los parámetros bioquímicos presentaron una dinámica muy compleja; en tanto que las características físicas de los suelos generalmente mostraron una distribución más uniforme.

Vásquez et al, (2010), estudiaron la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos de la Granja agrícola de la Universidad del Magdalena (Colombia), para el estudio realizaron un muestreo de 184 puntos ubicados en grillas de 29 x 29, los datos fueron analizados geoestadísticamente mediante el programa GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences Versión 5.1 de Gamma Design Software), obteniendo semivariogramas experimentales para cada propiedad. La interpolación la realizaron por Kriging puntual, con la información obtenida construyeron los planos y concluyeron del análisis, que la variabilidad espacial de los atributos del suelo en el lote experimental es alta, siendo mayor en las propiedades químicas que en las físicas; con excepción del Ca^{+2} y el pH, las propiedades químicas de los suelos de la granja presentan niveles de variación altos, asociados con una evidente heterogeneidad en toda el área de estudio. El separado arena presentó una fuerte dependencia espacial lo cual es válido si se tiene en cuenta que los cambios texturales entre muestras vecinas son mínimos. Con excepción

de las propiedades Ca^{+2} , CIC, P y Cu con débil dependencia espacial, las propiedades restantes mostraron una moderada dependencia espacial.

Garzón et al, (2010), evaluaron la variabilidad espacial y la relación de algunas propiedades químicas del suelo en el municipio de Pasca (Cundinamarca), en área productora de *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., en un Entisol. El muestreo se realizó tomando 64 muestras en una malla regular, con distancias perpendiculares entre puntos de 25 x 12,5 mt, a una profundidad de 0,20 mt, determinando carbono orgánico, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , suma de bases y la relación $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$. El análisis de datos lo realizaron mediante un análisis multivariado, geoestadística e interpolación por kriging. Los atributos manifestaron variabilidad baja o media, donde el K^+ fue el único atributo que no presentó dependencia espacial. Se observaron fuertes atracciones entre los cationes, así como una estrecha relación entre el Ca^{2+} y la suma de bases. Los mapas de contorno confirmaron la variabilidad espacial de las propiedades, lo que indica la conveniencia de la aplicación de insumos agrícolas mediante tasa variada.

Bravo et al, (2007) en los llanos centrales venezolanos estudiaron la variabilidad espacial de propiedades físicas (textura, resistencia a la penetración) y químicas (PH, carbono orgánico total, fosforo disponible) y su relación con el rendimiento de frijol bajo un muestreo sistemático en una parcela de 2.6 ha obteniendo 213 muestras a una profundidad entre los 0 cm y 15 cm. Se realizó un análisis exploratorio y geo estadístico para estudiar los cambios espaciales de los parámetros considerados, los cuales se ajustaron a un modelo exponencial con un alto nivel de dependencia espacial. La variabilidad espacial se realizó para cada una de las propiedades utilizando herramientas geo estadísticas para definición y ajuste de semivariogramas, las variables fueron estimadas por medio del método Krigeado ordinario utilizando el programa Surfer V. 8.0 (2001).

2. Materiales y Métodos

2.1 Localización y caracterización de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en el distrito de riego de Roldanillo, La Unión y Toro RUT (Entre 4°25'- 4°40'), al suroccidente de Colombia, al norte del departamento del Valle del Cauca, entre las estribaciones de la cordillera Occidental y la margen izquierda del río Cauca, El área de estudio tiene una extensión aproximada de 11.058 hectáreas y está limitada al occidente por el canal interceptor, al oriente por el dique de protección marginal y está dividida en dos por el canal principal de drenaje.

El clima de la región corresponde al piso térmico cálido moderado (Temperatura promedio 24°C), con dos periodos secos y dos lluviosos durante el año. La altitud varía entre 915-980 m.s.n.m., su precipitación media es 1015 mm/año y su evaporación promedio 1145 mm/año, la evaporación supera ampliamente la precipitación en toda el área siendo necesaria la aplicación de riegos suplementarios para la eficiente producción agrícola en la zona.

Los suelos estudiados son en su mayoría de origen aluvial, debido a los cambios continuos del lecho del río Cauca, y en su parte alta en el pie de monte de la cordillera están formados por conos de deyección, originados por las corrientes de materiales que fluyen de la loma, considerando lo anterior se pueden distinguir paisajes de planicie aluvial de desborde, planicie fluvio lacustre y planicie aluvial de piedemonte.

Los suelos del R.U.T pertenecen a 5 órdenes taxonómicos (Figura 1), siendo el orden Inceptisol y Molisol los de mayor representatividad (Ver Tabla 4), Se identifican 25 unidades cartográficas (UCS), de las cuales las más representativas son: (LM-EV)ar, RTar, LEar, CKa, (CU-MN)a, GLar, LEaxr, (LM-EV)ayr, SNb y (LM-EV)axr. (Ver Tabla 5 y

Figura 2). Siendo 8 de las que presentan algún tipo de afectación por salinidad y/o sodicidad representando un área de 1.138 Hectáreas un 11% del área total.

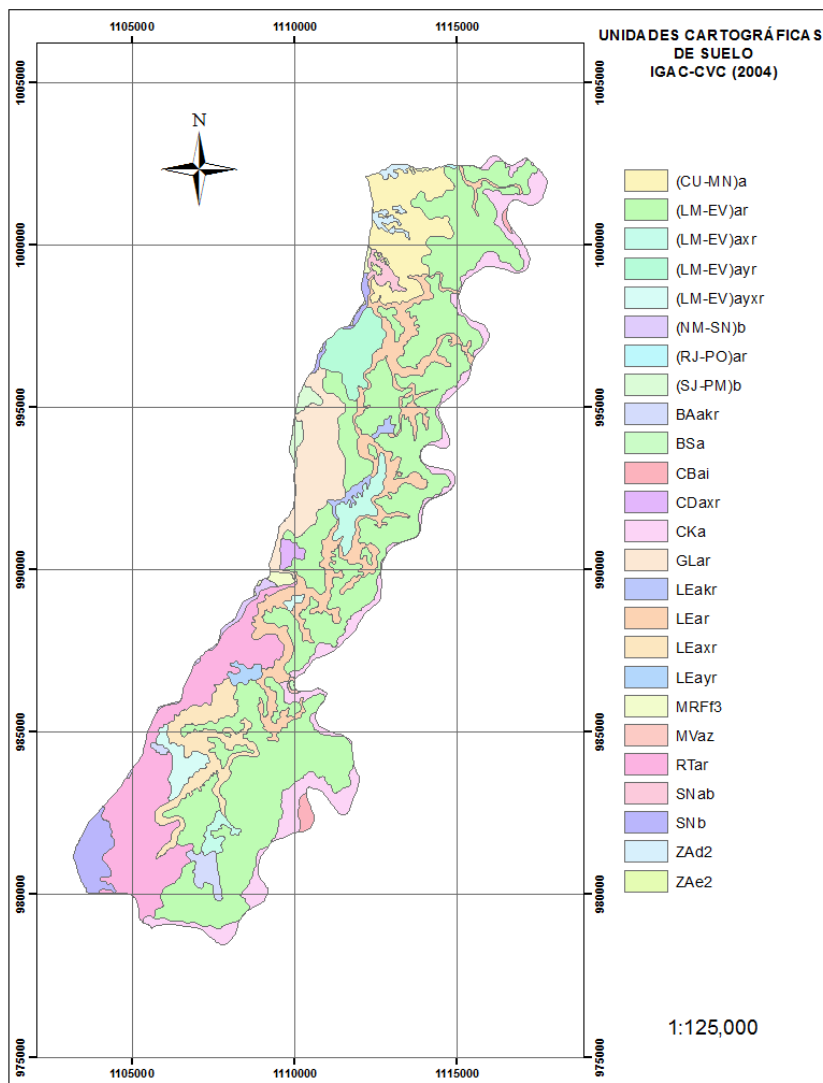


Figura 1. Unidades cartográficas de Suelos IGAC-CVC ,2004

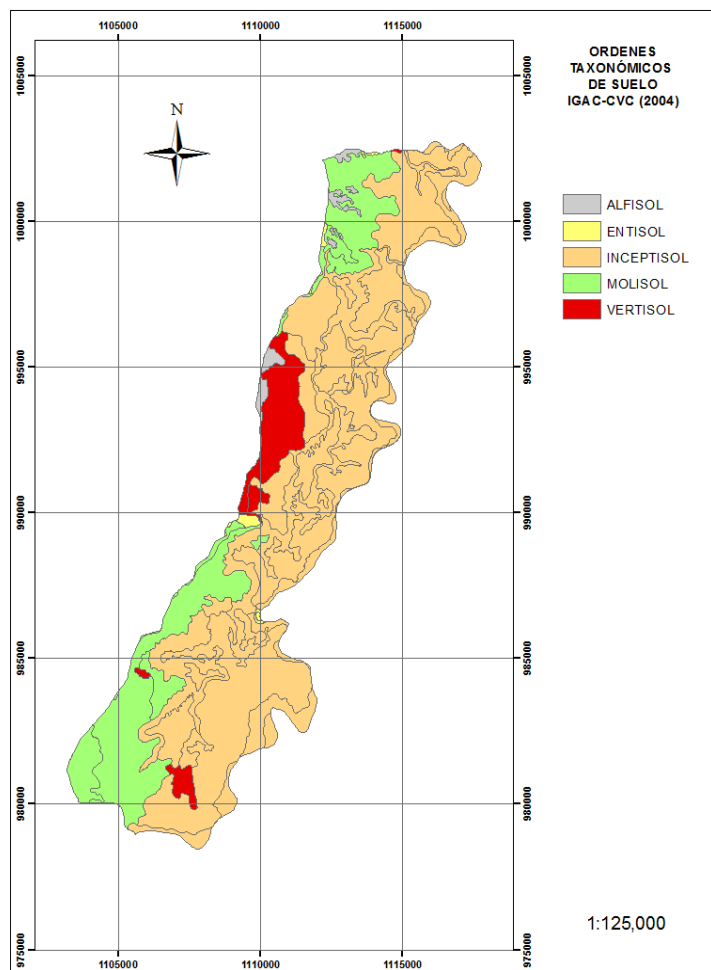


Figura 2. Órdenes taxonómicos de Suelos IGAC-CVC ,2004

Tabla 4. Representatividad por área de los órdenes taxonómicos en el Distrito RUT

ID	ORDEN	AREA (ha)	%AREA
1	Inceptisol	7869	71.1
2	Molisol	2297	20.8
3	Vertisol	733	6.6
4	Alfisol	148	1.3
5	Entisol	11	0.1
TOTAL		11058	100

Tabla 5. Área representativa por Cada Unidad Cartográfica de Suelos (UCS) RUT

Ítem	Unidad Cartográfica (UCS)	Taxonomía	Área (ha)	% Área
1	(LM-EV)ar	verticEndoaquepts	4627	41.8%
2	(LM-EV)axr	verticEndoaquepts	226	2.0%
3	(LM-EV)ayr	verticEndoaquepts	297	2.7%
4	(LM-EV)ayxr	verticEndoaquepts	146	1.3%
5	Leakr	VerticHaplustepts	60	0.5%
6	Lear	VerticHaplustepts	1085	9.8%
7	LEaxr	VerticHaplustepts	456	4.1%
8	LEayr	VerticHaplustepts	48	0.4%
9	Cka	FluventicHaplustepts	826	7.5%
10	CBai	AquicHaplustepts	50	0.5%
11	(CU-MN)a	CumulicHaplustolls	643	5.8%
12	(NM-SN)b	PachicHaplustolls	46	0.4%
13	RTar	VerticHaplustolls	1304	11.8%
14	SNab	PachicHaplustolls	59	0.5%
15	SNb	PachicHaplustolls	245	2.2%
16	(RJ-PO)ar	ChmicEndoaquerts	3	0.0%
17	BAakr	SodicHaplusterts	101	0.9%
18	CDaxr	TypicNatraquerts	47	0.4%
19	GLar	UdicCalciusterts	582	5.3%
20	(SJ-PM)b	TypicHaplustealfts	73	0.7%
21	ZAd2	TypicDurustalfts	63	0.6%
22	ZAe2	TypicDurustalfts	12	0.1%
23	Bsa	TypicUstipsamments	4	0.0%
24	MVaz	AericFluvaquents	7	0.1%
25	MRFf3	Ladera	48	0.4%
TOTAL			11058	100%

Fuente: IGAC-CVC (2004).

2.2 Selección de los puntos de muestreo

Se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo tomando como referencia los siguientes parámetros:

- ❖ Una muestra como mínimo a cada UCS (Unidad cartográfica de suelos)
- ❖ Se asignó un numero de cuatro muestras a las áreas de las UCS (Unidades Cartográficas de Suelo), que presentaron problemas de sales y/o sodio en el estudio realizado por CVC-IGAC, (2004)

Tabla 6. Área de las diferentes UCS con afectación de sales y/o Sodio.

UCS	Área (ha)	Características	Clasificación
(LM-EV)axr	226	PSI ENTRE 7 -15%	LIG. SODICO
(LM-EV)ayr	297	CE ENTRE 4 -8 dS/m	SALINO
(LM-EV)ayxr	146	CE ENTRE 4 -8 dS/m Y PSI ENTRE 7-15%	SALINO- SODICO
LEakr	60	PSI>15%	SODICO
LEaxr	456	PSI ENTRE 7 -15%	LIG. SODICO
LEayr	48	CE ENTRE 4 -8 dS/m	SALINO
BAakr	101	PSI>15%	SODICO
CDaxr	47	PSI ENTRE 7 -15%	LIG. SODICO
TOTALES	1381		

Fuente: IGAC-CVC, (2004)

El estudio realizado por IGAC-CVC (2004), muestra que el 12,8% del área del distrito de riego, presenta problemas de sales y/o sodio, siendo el Na⁺ quien más predominó en las afectaciones. Se asignó un mayor número de muestras acorde al porcentaje de área que cada UCS representa sobre el área total del distrito de riego RUT, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Modelo para designar No de muestras adicionales por % de área en las UCS

% de área de la UCS sobre el área total	No de Muestras adicionales
1%	0
2%	2
3-5%	3
6-10%	4
11-20%	5
21-30%	6
31-40%	7
> 40%	9

Con la anterior metodología se designaron un total de 100 sitios de muestreo en los cuales se tomaron muestras a 25 centímetros y 50 centímetros de profundidad. La distribución de las muestras se realizó y georeferencio dentro del distrito tal como se propuso en la tabla 9

Tabla 8. Distribución de muestreos de los suelos del RUT

ITEM	UCS	Taxonomía	Área/UCS (ha)	%UCS	No de Muestras UCS	No de Muestras salinidad	No de Muestras Área
1	(LM-EV) ar	Vertic Endoaquepts	4627	42%	1		9
2	(LM-EV) axr	Vertic Endoaquepts	226	2%	1	4	2
3	(LM-EV) ayr	Vertic Endoaquepts	297	3%	1	4	3
4	(LM-EV) ayxr	Vertic Endoaquepts	146	1%	1	4	2
5	LE akr	Vertic Endoaquepts	60	1%	1	4	
6	LE ar	Vertic Endoaquepts	1085	10%	1		4
7	LE axr	Vertic Endoaquepts	456	4%	1	4	3
8	LE ayr	Vertic Endoaquepts	48	0%	1	4	
9	Cka	Fluventic Haplusteps	826	7%	1		4
10	CBai	Aquic Haplusteps	50	0%	1		
11	(CU-MN)a	Cumulic Haplustolls	643	6%	1		4

12	(NM-SN)b	Pachic Haplustolls	46	0%	1		
13	RT ar	Vertic Haplustolls	1304	12%	1		5
14	SNab	Pachic Haplustolls	59	1%	1		
15	SNb	Pachic Haplustolls	245	2%	1		3
16	(RI-PO)ar	Chmic Endoaquerts	3	0%	1		
17	BAakr	Sodic Haplusterts	101	1%	1	4	
18	CDaxr	Typic Natraquerts	47	0%	1	4	
19	GLar	Udic Calciusterts	582	5%	1		4
20	(SJ-PM)b	Typic Hapustealfs	73	1%	1		
21	ZAd2	Typic Durustalfs	63	1%	1		
22	ZAe2	Typic Durustalfs	12	0%	1		
23	BSa	Typic Ustipsamments	4	0%	1		
24	MVaz	Aeric Fluvaquents	7	0%	1		
25	MRFf3	Typic Durustalfs	48	0%	1		
			11058	100%	25	32	43

2.3 Localización de los sitios de muestreo

Una vez se estableció el número de muestras por cada sitio, se proyectaron en el plano general del distrito de riego (Figuras 3.), el plano del distrito ya tiene una numeración por código en cada predio, lo cual permitió ubicar cada punto de muestreo con mayor precisión en el momento que se realizó la georeferenciación para la toma de las muestras de suelo (Anexo A y B).

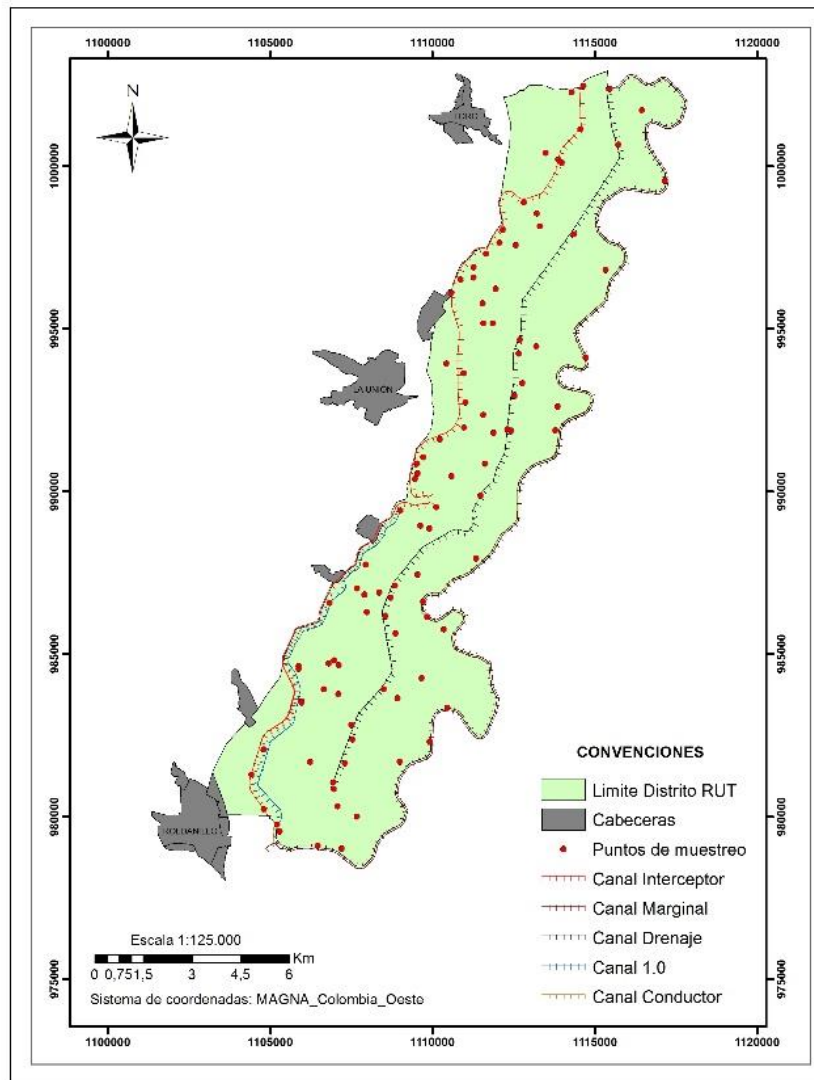


Figura 3. Ubicación de sitios de muestreo georeferenciados

2.4 Toma de muestras de suelo

La toma de muestras se realizó durante los meses de abril, mayo, junio del 2015, cada punto muestreado fue georeferenciado y anotado en una planilla con los datos del dueño del predio y el código asignado al predio por el Distrito de Riego RUT. las muestras de suelos fueron debidamente embaladas y se enviaron al laboratorio de aguas y suelos de la Universidad del Valle, donde se analizaron las variables pH , CE , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+

2.5 Técnicas de laboratorio en la determinación de las variables de respuesta.

2.5.1 Determinación de la Conductividad Eléctrica -C.E

La medida de la Conductividad Eléctrica de los extractos obtenidos del suelo permitió establecer una estimación aproximada cuantitativa de la cantidad de sales que contiene. La relación suelo-agua tiene influencia sobre la cantidad y composición de las sales extraídas, siendo necesario especificar la relación (IGAC 2006).

- *Principio del método.* Se realizó la preparación de la pasta saturada; se extrajo luego el extracto en un filtro a presión. En el extracto obtenido se determinó la conductividad (IGAC 2006).
- *Cálculos.* El extracto obtenido se leyó directamente del conductímetro, para este fin se ajustó la temperatura, la constante de Celda y la escala de lectura. El resultado se obtuvo en dS/m.

2.5.2 Determinación de pH con potenciómetro

Se tomaron 30 ml de suelos en pasta Saturada, se le agregaron 60 mls de agua destilada agitando durante una hora y luego se efectuó lectura directamente sobre la suspensión (IGAC 2006)

- *Cálculos.* El equipo dio la lectura directa del pH.

2.5.3 Determinación de bases intercambiables por absorción atómica.

La determinación de las bases (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) se fundamenta en el equilibrio que se establece entre una solución extractora de Acetato de Amonio y la muestra del suelo donde se efectúa éste intercambio (IGAC 2006).

- *Principio del Método.* Para este intercambio catiónico se utilizó CH_3COONH_4 1N y pH neutro. Los cationes K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , se determinaron en la solución extractora por espectrofotometría de absorción atómica.

2.6 Criterio para determinar la relación de absorción de sodio (RAS).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos –USDA (1954) realizó una clasificación de calidad del agua para riego con base en la CEw y los valores de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), para la cual se emplea la siguiente expresión

Este índice mide la cantidad de sodio y su actividad (dependiendo de la cantidad de calcio y magnesio presentes) y viene definido por la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{N_a}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Dónde:

RAS: Relación de adsorción de Sodio (adimensional)

Na⁺: Contenido de Sodio en el agua de riego (meq/l)

Mg²⁺: Contenido de Magnesio en el agua de riego (meq/l)

Ca²⁺: Contenido de calcio en el agua de riego (meq/l)

La anterior clasificación, no tiene en consideración los cambios que suceden en la solución del suelo debido a la solubilidad del Ca²⁺ presente, como resultado de los procesos de dilución o precipitación que tiene lugar después de un riego (García 2012). Actualmente la evaluación de este criterio se realiza según la FAO (1985) con base en el criterio de la Relación de Adsorción de Sodio cero (RAS⁰) la cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RAS^0 = \frac{N_a}{\sqrt{\frac{Ca^0 + Mg}{2}}}$$

Dónde:

RAS⁰: Relación de adsorción de Sodio (adimensional)

Na: Contenido de Sodio en el agua de riego (meq/l)

Mg: Contenido de Magnesio en el agua de riego (meq/l)

Ca⁰: Concentración corregida de calcio en el agua de riego (meq/l)

El valor de Ca⁰ es un valor ajustado de la concentración de Calcio que hay en el agua y depende de la salinidad del agua de riego y de los factores que afectan la dilución o

precipitación del Ca^{2+} . De manera práctica el valor de Ca^0 se obtiene de tablas que relacionan el contenido de $\text{HCO}_3/\text{Ca}^{2+}$ y la CEw (agua de riego).

2.7 Comparación entre órdenes taxonómicos por propiedades evaluadas

Las comparaciones entre los órdenes taxonómicos de las propiedades evaluadas en los dos horizontes de muestreo, se realizó mediante la estadística de tendencia central para la cual se usó el software SPSS (versión 10) en el cual se calcularon los promedios, máximos, mínimos, coeficientes de variación, desviación estándar, coeficiente de Kurtosis, se construyeron histogramas de cada parámetro, se realizaron las pruebas de Normalidad (Kolmogorov-Smirnoff), homogeneidad (Levene), para verificar la equivalencia de grupos e independencia de las observaciones y decidir qué tipo de prueba aplicar (Paramétrica o no paramétrica).

2.8 Análisis de la distribución espacial de las propiedades evaluadas

Para la modelación de los semivariogramas de cada conjunto de datos se utilizó el software *Gamma Design* (Versión 10). Este software permitió, por un lado, seleccionar el modelo de semivariograma de mejor ajuste a través de la identificación del menor valor del *Residual Sum Square* (RSS) y, por otro lado, seleccionar el método de interpolación a través de la proporción de varianza explicada ($C/C+Co$), donde C: varianza explicada o *sill* y Co: varianza no explicada o *nugget*.

La selección del método de interpolación se realizó teniendo en cuenta la proporción de varianza explicada, pues según Oliver and Webster (2014), los valores mayores a 75% significan existencia de alta correlación geo estadística entre los datos, por el contrario, valores menores significan baja correlación. En el primer caso se recomiendan métodos geo estadísticos y en el segundo métodos determinísticos.

La interpolación fue realizada en la extensión Geostatistical Analyst del ArcGis 10.3.1 donde se introdujeron los parámetros de los semivariogramas de mejor ajuste para los parámetros con proporción de varianza explicada mayor a 75% (Interpolador Ordinary

Kriging) y en el caso de los parámetros con valores de varianza explicada menor a 75% se usó el interpolador IDW con el valor de "Power" optimizado sugerido por el software.

Finalmente, se realizó una reclasificación de cada superficie raster obtenida en el proceso de interpolación para una mejor visualización e interpretación de los resultados. Este proceso se realizó con la herramienta "Reclassify" del ARcGIS 10.3.1.

3. Resultados y Discusión

3.1 Conductividad eléctrica

En las Figuras 4 y 5, se muestra la distribución espacial de la CE en los suelos del Distrito de Riego, los niveles ligeramente salinos (SCSS, 2013), se presentan en la zona Sur (Roldanillo) y Centro (La Unión), con tendencia a incrementar el área en profundidad pasando de 2918,46 a 3450,93 hectáreas. Las zonas con niveles moderadamente salinos se encuentran en el Centro y parte del Norte, con tendencia a incrementar en profundidad de 193,28 a 633,03 hectáreas y los niveles salinos se ubican de forma muy puntual en dos núcleos en la zona Centro, incrementándose en profundidad de 1.28 a 50.27 hectáreas.

El incremento en profundidad de la CE se presenta en las zonas del RUT donde predominan los Vertic Endoaquepts, caracterizados por tener problemas de drenaje y encharcamientos en épocas de lluvia. Una baja eficiencia de riego y un exceso de láminas de lavado con aguas alcalinas donde no existe un drenaje adecuado, puede promover un ascenso de las aguas freáticas potencialmente salinas, situación que puede estar presentándose en el RUT (García A. 2002). También se puede inferir, que otra de las causas reales del incremento de sales en el segundo horizonte sea debido a la actividad del hombre, por la acción del riego, con bajas fracciones de lavado y el uso de agua con contenidos medios pH, Mg^{2+} , Ca^{2+} , bicarbonato y altos de sulfatos (Iora, 2003), lo que conlleva a una acumulación de sales en el perfil irrigado.

Estudios realizados por IGAC- CVC (2004), muestran en sus resultados 1381 ha afectadas por sales en los primeros 50 cm de profundidad, en la presente investigación solo 50,5 hectáreas son salinas, 663 moderadamente salinas, lo que significa una disminución en la afectación por sales. También es importante precisar que la evaluación realizada por IGAC-CVC (2004) tan solo referencian 17 sitios de muestreo ubicados

mediante foteinterpretación en las diferentes series de suelo que presentaban afectaciones de sales, la presente investigación realiza una distribución de sitios de muestreo más amplia, con mayor nivel de detalles dando mayor precisión en la interpolación y por ende mejor distribución espacial de propiedad evaluada.

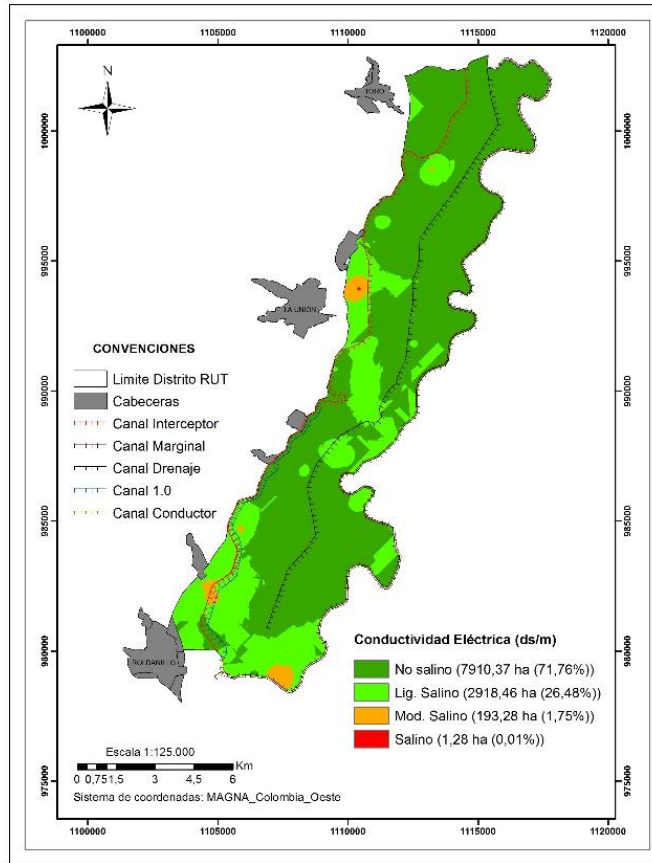


Figura 4.Distribución de la CE en el primer horizonte del R.U.T

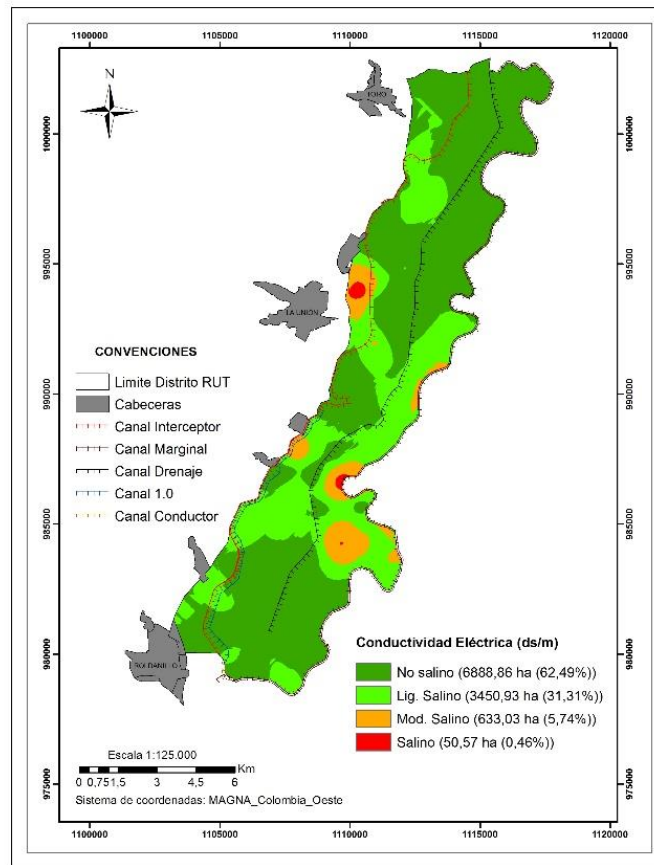


Figura 5. Distribución de la CE en el segundo horizonte del R.U.T

Si bien los resultados no muestran degradación por sales, se debe precisar que hay zonas del Distrito de Riego con niveles creciente en esta propiedad, afectando áreas en el orden de las 4244,5 hectáreas donde cultivos sensibles como repollo, maíz dulce, pimentón, lechuga, cebolla y frijol ($CE < 2 \text{ dS/m}$), con raíces a 30 centímetros de profundidad pueden presentar problemas por sales (Mendoza, 2013). Además, el deterioro ocasionado en las propiedades físicas del suelo por la presencia de alta saturación de Mg^{2+} , los niveles freáticos y la ausencia de drenajes prediales dificultan el lavado agudizando la situación.

3.2 pH

En las Figuras 6 y 7, se observan la distribución espacial de los valores de pH en los suelos del distrito de riego, la zona Sur y Centro muestra niveles de alcalinidad en 6034 hectáreas con pH entre 7.4 a 7.9 (SCCS, 2013), la zona Norte tiene pH neutros en 4200

hectáreas, se presenta un núcleo dentro de la zona Norte en la segunda profundidad con pH ligeramente ácidos en 798 hectáreas. Hay núcleos distribuidos en todo el distrito con niveles alcalinos calcáreos $\text{pH} > 8$ en 70 hectáreas; las cuales deben ser objeto de atención especial.

Los pH de la presente investigación muestran un incremento con respecto a los pH observados por IGAC- CVC (2004), los cuales se presentaron entre 7 y 7.4. El incremento del pH podría estar presentándose por los aportes en los riegos continuos con aguas ligeramente alcalinas (Lora, 2013). En efecto más del 50% de los suelos del Distrito muestran problemas de alcalinidad, con una leve tendencia a incrementar en profundidad alcanzando un 55.48% del área, esto nos lleva a pensar que se puede estar presentando carencia nutricional de elementos menores por los pH alcalinos (Torres et al., 2009), baja solubilidad de varios nutrientes con excepción del molibdeno (Lora, 2013), de igual forma en agua de riego y suelos pH superior a 7.5 , afectan la correcta asimilación de elementos menores Fe^{3+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} (Castro y Gomez, 2009). Anda et al, (2015) y Emamgolizadeh et al, (2015) Indican que el pH, la CIC y el contenido de arcilla tienen relación directa con la disponibilidad de bases de cambio y con micronutrientes del suelo.

Ramírez, (2011) observa en su evaluación mediante modelación de los riesgos de salinización que el 85% de los suelos evaluados en el Valle del Cauca, tienen pH con valores de 7.5 y que un 15% presentó pH entre 7.5 y 8, indicando un problema potencial en lo relacionado con los contenidos de bicarbonatos en áreas puntuales del estudio. La historia del manejo agronómico muestra que los suelos estudiados han sido regados con aguas duras en los últimos 20 años, lo que ha incidido en las propiedades físicas y en especial en el adensamiento del suelo a lo cual se suma una reacción alcalina con todas sus consecuencias sobre la fertilidad (García 2002).

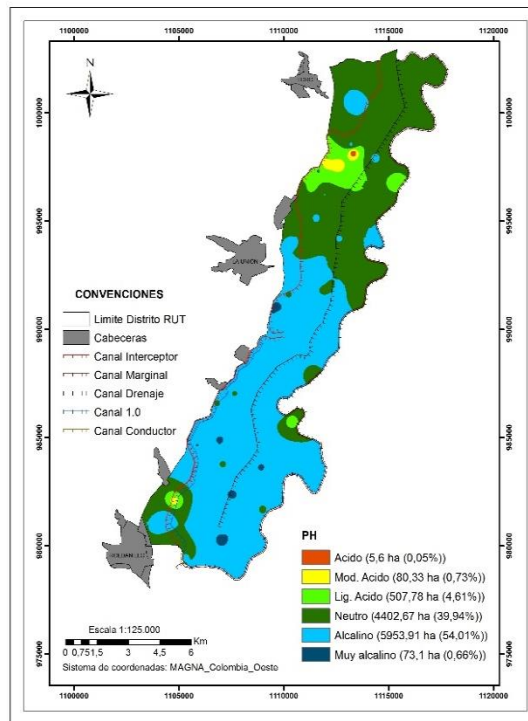


Figura 6. Distribución de pH en el primer horizonte del R.U.T

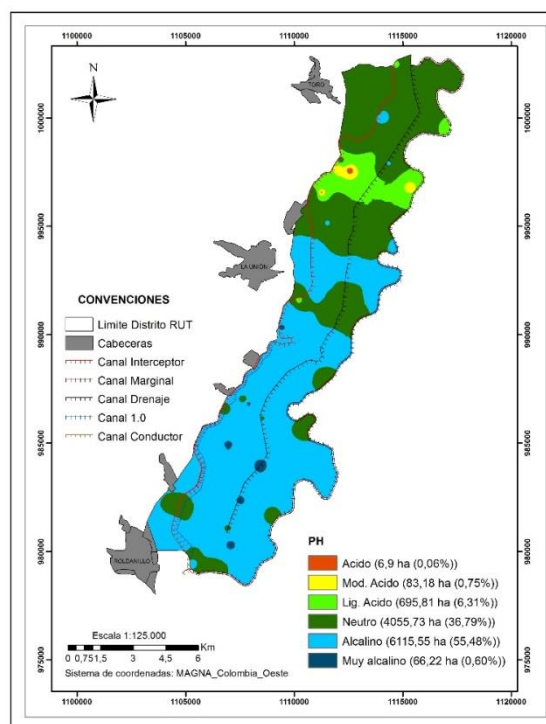


Figura 7. Distribución de pH en el segundo horizonte del R.U.T

3.3 Potasio.

En las Figuras 8, 9 se observan las distribuciones espaciales del potasio en los suelos del distrito, los niveles altos y medios (SCCS, 2013), se ubican en la zona Sur y Centro en un área de 9035 hectáreas, estos niveles disminuyen en profundidad pasando a 5313 hectáreas. Los niveles bajos y muy bajos se distribuyen en la zona Norte y tienen tendencia a incrementar en profundidad pasando en área de 1987 a 5708 hectáreas.

La disminución del potasio en profundidad podría ser el resultado de una fuerte adsorción, proceso que ocurre predominantemente en las arcillas 2:1 y en grandes cantidades en illita, limitando su disponibilidad para las plantas, la fijación consiste en una fuerte retención del ión potasio en las capas laminares de estas arcillas (Borrero, 2005), el potasio de la solución del suelo, es liberado de los minerales o proveniente de la fracción intercambiable, es atrapado firmemente por fuerzas electrostáticas entre las láminas de las arcillas debido a que es suficientemente pequeño (Arias, 2009). Sólo el NH_4^+ , por tener un radio iónico similar, puede competir con el potasio por estos sitios de retención. Esta forma de K^+ es lentamente asimilable para las plantas (Melo et al., 2009).

La deficiencia de potasio conlleva a incluir dentro del plan nutricional la aplicación de fertilizantes químicos para evitar la deficiencia en el cultivo, tal como lo propuesto por Puerto et al, (2014), donde con aplicaciones de sulfato de potasio al suelo, incrementó la presencia relativa de K^+ , respecto a Ca^{2+} y Mg^{2+} , en el tejido foliar de la vid en concordancia con los incrementos del mismo en la fase soluble y la tendencia similar en la fase intercambiable.

La distribución espacial del potasio presentada en la siguiente investigación sirve de guía para los agricultores de la zona, quienes podrán tomar decisiones en cuanto al manejo actual de sus cultivos. La presencia de arcillas 2:1 y los altos valores del magnesio intercambiable sugieren un eficiente manejo de aguas y suelos debido a que el mecanismo de absorción del potasio por las plantas es 72% difusión y 25% flujo de masa, lo que indica que el mecanismo de llegada de los nutrientes a la raíz más representativo es la difusión (Benavides, 2011).

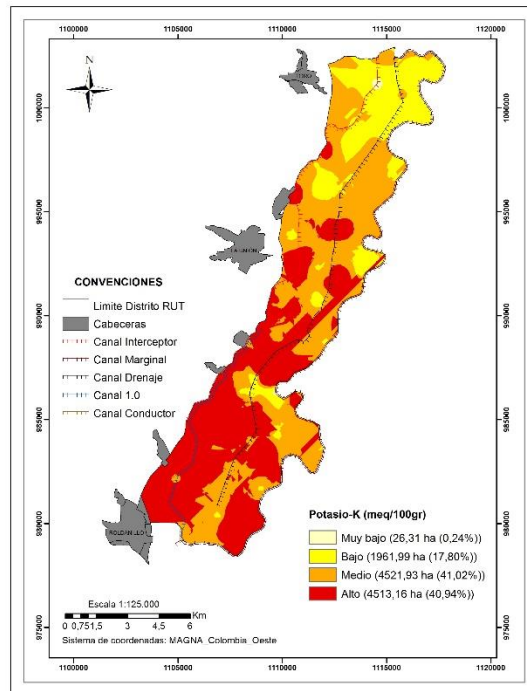


Figura 8. Distribución de K^+ en el primer horizonte del R.U.T

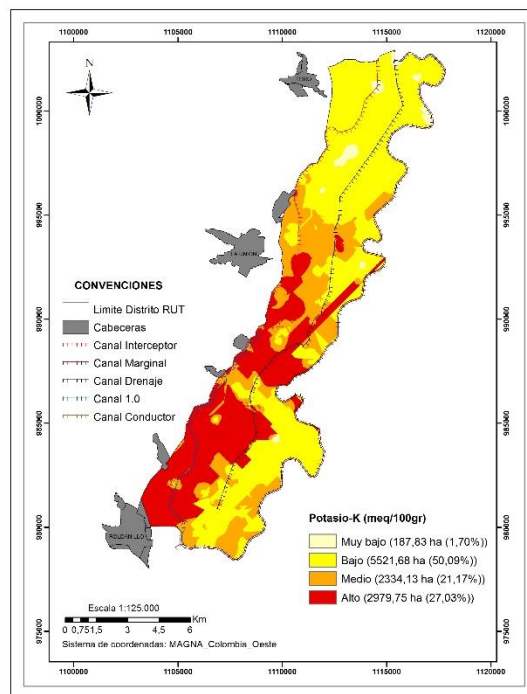


Figura 9. Distribución espacial de K^+ en el segundo horizonte del R.U.T

3.3.1 Porcentaje de Saturación de K⁺ en primer y segundo horizonte

Las Figuras 10 y 11, muestran el porcentaje de saturación de potasio en los suelos del Distrito de Riego RUT. En nivel bajo (SCCS, 2013) se encuentra distribuido en todas las zonas en un área de 10617 hectáreas incrementando en profundidad a 1083 hectáreas, los niveles medios se ubican en núcleos puntuales en la zona Sur y Centro mostrando disminución en profundidad pasando de 328.7 a 148.6 hectáreas. Los niveles ideales se presentan distribuidos en núcleos dentro de la zona Sur y Centro presentando disminución en profundidad pasando de 44 a 21 hectáreas. Los valores altos de potasio se distribuyen en la zona Sur y Centro dentro de los núcleos de niveles medios mostrando disminución en profundidad pasando de 32.7 a 18 hectáreas.

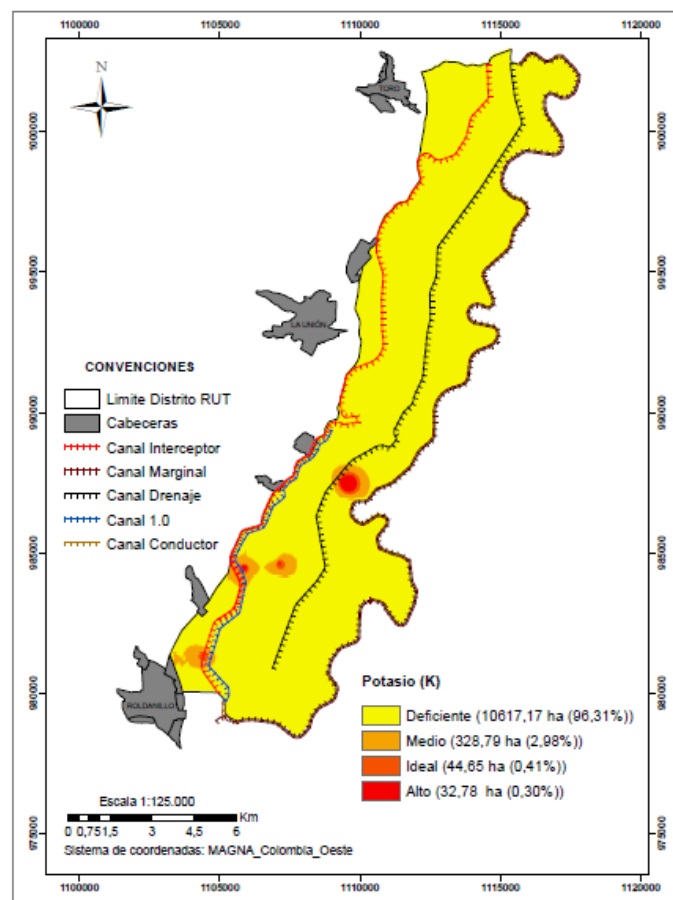


Figura 10. Distribución de la saturación K⁺ en el primer horizonte del R.U.T

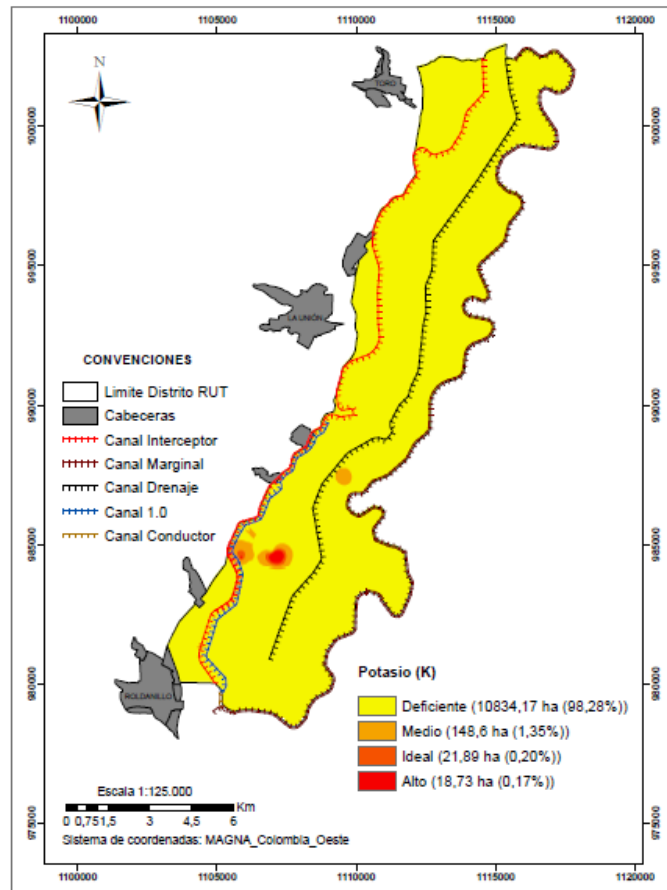


Figura 11. Distribución de la saturación K^+ en el segundo horizonte del R.U.T

3.4 Sodio

En las Figuras 12 - 13 se muestran las distribuciones espaciales del sodio en los suelos del distrito de riego, se presentan niveles medios con valores entre $0.1-0.5 \text{ Cmol.Kg}^{-1}$ (SCCS, 2013) en la zona Sur y Norte en un área 7933 hectárea, con tendencia a disminuir en profundidad pasando a 5256 hectáreas. Los niveles altos ubicados en el extremo Norte, con niveles $> 0.5 \text{ cmol.Kg}^{-1}$ ocupan un área 3276 hectáreas y su tendencia es a incrementar en profundidad pasando a 5574 hectáreas.

Se puede inferir que el incremento en profundidad de los niveles altos de sodio, puede estar relacionado con la magnitud relativa de adsorción o desorción del ion determinada por la valencia (Lora, 2013), en general, existe una relación directa entre la valencia del ión y la fuerza con que es retenido por los sitios de intercambio; en este sentido, los

cationes trivalentes se adsorben más firmemente que los bivalentes, y estos a su vez son retenidos con más fuerza que los monovalentes (Lince et al., 2015).

El incremento en profundidad del sodio concuerda con los resultados observados por Ramírez et al, (2011), quienes muestran que los suelos en la parte plana del Valle del Cauca en general no poseen problemas serios de sodicidad, pero que la RAS y el PSI presentan una tendencia a incrementar sus valores conforme avanza la profundidad. El incremento del Na^+ de niveles medios a altos guarda relación con el efecto específico de la alta saturación de Mg^{2+} intercambiable, de acuerdo a Torrente et al, (2003) el Mg^{2+} intercambiable es el causante del deterioro de las propiedades hidrodinámicas de los suelos, y su habilidad para causar el aumento paulatino de los niveles de sodio intercambiable.

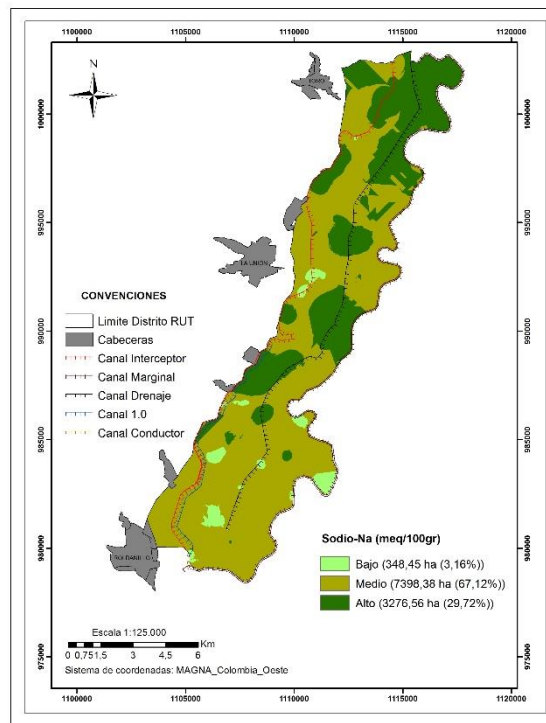


Figura 12. Distribución de Sodio en el primer horizonte del RUT

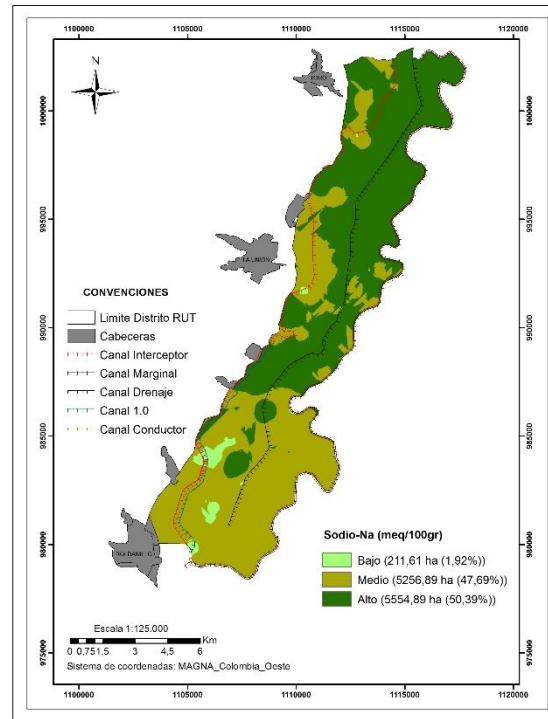


Figura 13. Distribución de Sodio en el segundo horizonte del RUT

3.4.1 Porcentaje de Saturación de sodio en el primer y segundo horizonte

La Figura 14 muestra la Distribución espacial de la saturación de sodio en los suelos del Distrito de Riego en el primer horizonte, presentando los niveles bajos en el 100% del área, en el segundo horizonte (Figura 15), se muestran niveles bajos con valores menores 7% de saturación de sodio en el 98.7 % del área, Las áreas con problemas de sodio se encuentran puntualmente en las zonas Sur y Norte en núcleos aislados con 133.4 hectáreas para niveles ligeramente sódicos y 9,98 hectáreas para niveles sódicos. Los núcleos con afectaciones de sodio se ubican entre en canal interceptor y el dren principal del distrito, esta zona se caracteriza por presentar encharcamientos constantes, mal drenaje interno, no presenta drenajes a nivel predial y están establecidas con cultivos de caña los cuales son irrigados por riego superficial. Los valores de PSI son inferiores a 15%, los cuales según Lamz et al, (2013), no presentan problema para cultivos no sensibles.

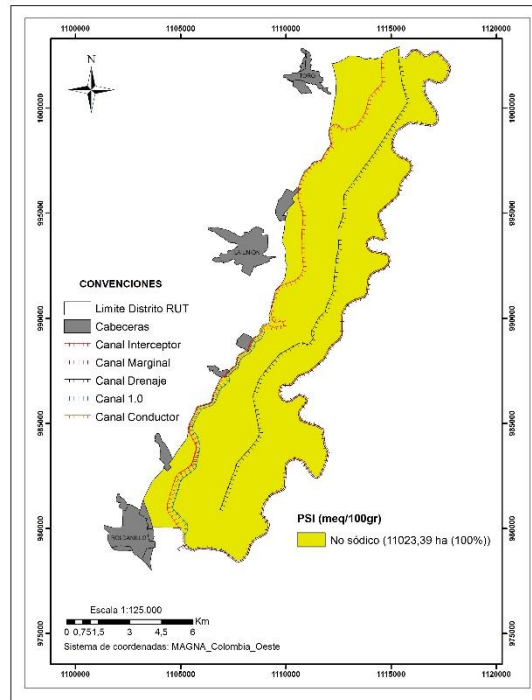


Figura 14. Distribución de saturación de sodio en el primer horizonte en el R.U.T.

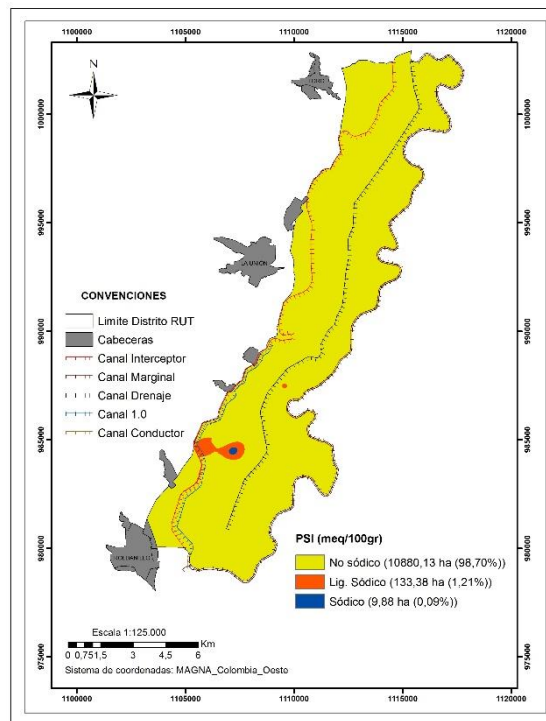


Figura 15 .Distribución de la saturación de sodio en el R.U.T.

Diagnósticos de suelos en el distrito de riego RUT como los realizados por IGAC-CVC (2004), observaron valores promedios de saturación de sodio del 3%, los resultados de esta investigación muestran valores inferiores al 1% de saturación de sodio lo cual muestra disminución, estos valores se presentan como no perjudicial para cultivos, lo anterior nos lleva a pensar que la capacidad agregante del Ca^{2+} en el suelo disminuye el efecto dispersante del Na^+ (Mahmoud e Ibrahim, 2012) y evita el incremento en el PSI, contribuyendo a mitigar reacciones en la que muchos de los nutrientes presentes no se puedan aprovechar y por lo tanto, disminuyen el crecimiento de raíces y microorganismos, causando una deficiente aireación (Castilla, 2006). De igual forma se puede decir que las altas cantidades en que se encuentra en Ca^{2+} contribuyen a que haya procesos de reemplazo del Na^+ de los sitios de intercambio, mejora la agregación y favorecer lo cual trae consigo disminución de sodio por efecto de lavado (Jalali y Ranjbar, 2009)

3.4.2 Relación de absorción de sodio (RAS).

En la agricultura el agua cumple un papel fundamental ya que es uno de los insumos de mayor importancia en el desarrollo y el medio ambiente (Sueiras y Paz, 2011), aún más si nos referimos a un distrito de riego, donde el agricultor se siente amparado y protegido por el suministro. No obstante, la calidad de este insumo juega un papel fundamental (Novo y Garrido, 2011). Sin embargo, si no se establecen medidas y controles, se puede llegar a generar problemas de salinidad, alcalinidad y sodicidad, interfiriendo en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituyéndose en uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura sostenible en la actualidad. (Zúñiga et al., 2011).

La Figura 16 muestra las diferentes zonas donde se realizaron los muestreos de las aguas de riego en el distrito de riego R.U.T. Los puntos de muestreo se seleccionaron tomando como criterio puntos clave como la captación, drenaje agrícola, y puntos de vertimiento de aguas residuales que caen sobre la red de riego del distrito (distribución hidráulica principal, secundaria y terciaria). Se seleccionaron, como mínimo, tres puntos de muestreo (inicio, medio y al final) sobre los canales o drenajes de cada zona identificada, la zona I comprende muestreos realizados en Roldanillo y la Unión Valle del cauca en agua bombeadas de río Cauca por el canal de riego llamado canal 1- 0 y canal marginal de riego. La Zona II corresponde a muestreos realizados en Roldanillo y La

Unión en aguas bombeadas del río Cauca pero que de una u otra manera se mezclan con aguas de uso doméstico sobre el Dren Interceptor. La zona III corresponde a Toro Valle del Cauca en aguas bombeadas del río Cauca las cuales en su trayectoria se han mezclado las aguas del Dren Interceptor con las aguas del dren principal.

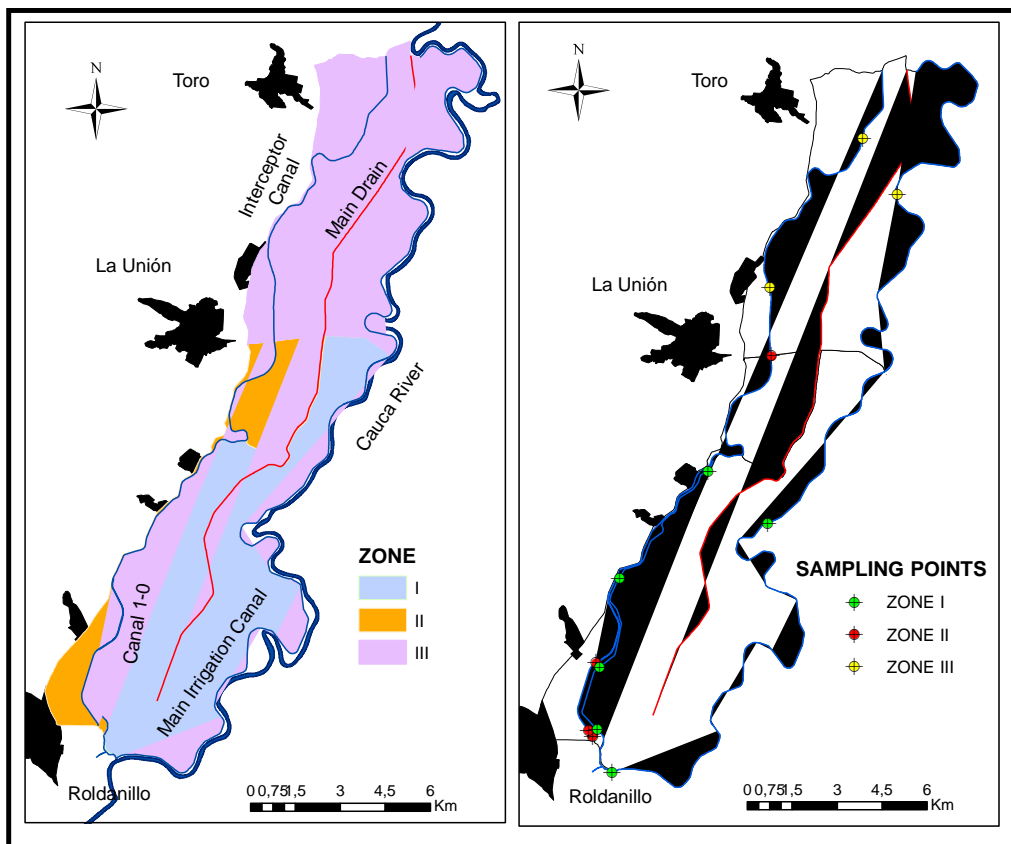


Figura 16. Distribución de las zonas de riego en el distrito de riego RUT

La Tabla 9 presenta los resultados de la calidad de agua mostrando los parámetros evaluados tales como la conductividad eléctrica (ECw), pH, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), aniones (HCO_3 o CO_3 , Cl , SO_4 , y NO_3), los cuales se determinaron en cada punto considerado como importante para evaluarlo para riego. (IGAC, 2006).

Ca^{2+} muestra solo un valor normal en el tercer muestreo de la zona uno, en las demás zonas y en todos los muestreos sus valores son medios (IGAC 2006). El Mg^{2+} su comportamiento es normal en la zona I, la zona dos presenta el primer muestreo medio, los dos siguientes medios, mientras la zona III muestra el primer y tercer muestreo medio y el segundo normal, el Na^+ presenta valores medios al altos al igual que los carbonatos

mientras los sulfatos son altos en las tres zonas. La conductividad eléctrica es baja en todas las zonas.

De forma general las aguas del Distrito de Riego presentan en su composición contenidos de Ca (HCO₃)₂ con solubilidad baja, Mg (HCO₃)₂ solubilidad Muy baja, NaCl (solubilidad Alta y MgSO₄ solubilidad media (Echeverri et al., 2016).

Tabla 9. Calidad del agua en el distrito de riego RUT

Fecha Muestreo	Zona	pH	EC _w dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃	Cl	SO ₄
				mg l ⁻¹						
1/9/13	I	7.2	0.15	10.3	6.0	7.6	2.2	57.2	7.6	16.0
14/6/14	I	6.5	0.09	15.1	3.4	6.8	1.6	31.7	3.8	12.3
1/7/14	I	6.5	0.14	9.2	5.6	9.8	0.2	38.8	9.4	17.4
1/9/13	II	7.2	0.40	27.2	17.7	22.8	5.3	198.1	22.9	23.8
14/6/14	II	7.0	0.20	21.0	4.3	17.2	3.4	55.1	10.2	14.2
1/7/14	II	6.4	0.20	12.9	6.9	15.0	2.0	55.9	11.3	21.6
1/9/13	III	7.3	0.50	22.3	34.5	30.0	5.2	201.7	16.6	39.2
14/6/14	III	7.1	0.34	39.0	6.4	27.1	2.8	111.5	13.1	27.7
1/7/14	III	7.0	0.35	17.3	15.9	21.5	0.6	120.5	13.2	30.8

En los distritos de riego donde la agricultura es dinámica, muchos de los problemas físicos y químicos del suelo son resultados de prácticas intensivas de labranza y fertilización como también del riego inadecuado (Gasca et al., 2011), uno de los mayores problemas que se puede presentar es la presencia de sodio en el agua de riego (Mendoza 2013), por lo que se han presentado varios índices para determinar su afectación, el más utilizado es la RAS (Relación de adsorción de sodio).

Tabla 10. Relación de HCO_3/Ca y CEw del agua de Riego

		Salinidad del agua aplicada (EC_w) (dS/m)											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8
HCO ₃ /Ca	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,9	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,2	5,24	5,4	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,3	4	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,8	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,4	3,3	3,4	3,48	3,6	3,7	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,8	4	4,15	4,41	4,61
	0,5	2,84	2,93	3	3,1	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,3
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,7	2,84	2,95	3,14	3,28
	1	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,1	2,23	2,33
	1,5	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,7	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,3	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,4	1,48	1,54	1,63	1,7
	2,25	1,04	1,08	1,1	1,14	1,17	1,21	1,26	1,3	1,37	1,42	1,51	1,58
2,5	0,97	1	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,4	1,47	

Fuente: Adaptado de Suárez, (1981) y citado en Pizarro ,(1996).

Con base en lo anterior en la Tabla 11 se presentan los valores calculados para la RAS^0 , los cuales son interpretados según la Tabla 12 presentada por FAO (1985), donde se establecen los criterios de Sodicidad integrado con el criterio de salinidad. Por lo anterior es posible clasificar las aguas para riego del distrito, con riesgo alto para fines de riego. Sin embargo, comparándolos con un estudio de evaluación de aguas superficiales previo en el distrito de riego (CVC-IGAC, 2004), existe una tendencia pronunciada hacia el aumento de las concentraciones de iones, que apuntan hacia un proceso de salinización que viene aconteciendo en la región.

Tabla 11. RAS° Calculado para las aguas de riego en el distrito R.U.T

Fecha Muestreo	Zona	pH	EC _w dS m ⁻¹	Ca°	Mg mg l ⁻¹	Na	RAS°
1/9/13	I	7.2	0,15	2,97	6	7,6	3,6
14/6/14	I	6,5	0,09	1,13	3,4	6,8	4,5
1/7/14	I	6,5	0,14	1	5,6	9,8	5,4
1/9/13	II	7,2	0,4	1,02	17,7	22,8	7,5
14/6/14	II	7	0,2	1	4,3	17,2	10,6
1/7/14	II	6,4	0,2	1	6,9	15	7,5
1/9/13	III	7,3	0,5	1,06	34,5	30	7,1
14/6/14	III	7,1	0,34	1,06	6,4	27,1	14,0
1/7/14	III	7	0,35	1,06	15,9	21,5	7,4

La Tabla 4 se presenta el criterio de Sodicidad integrado con el criterio de salinidad según la norma de la FAO (1985)

Tabla 12. Criterio para evaluar riesgo de sodicidad relacionado con riesgo de salinidad

RAS°	Riesgo de sodicidad de acuerdo a la CE dS/m		
	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo alto
0 - 3	> 0,7	0.7 - 2.0	< 0.2
3 - 6	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
6 - 12	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
12 - 20	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
20 - 40	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9

FAO (1985).

3.5 Calcio

La figura 17 presenta la distribución espacial del calcio en los suelos del distrito de riego, con niveles altos en toda su extensión y para los horizontes de estudio. IGAC-CVC (2004) observa en los suelos del distrito de riego RUT, valores del Ca^{2+} de $17.06 \text{ Cmol.Kg}^{-1}$, la presente investigación obtiene resultados de Ca^{2+} de 35 Cmol.Kg^{-1} , esto podría explicarse debido a que el muestreo de esta investigación fue mejor detallado tomando zonas que en los estudios anteriores no se realizaron y por ese detalle no aparecieron, también es posible que las continuas aplicaciones de Ca^{2+} en las fertilización edáficas o a través de los fertiriego, con la finalidad de evitar relaciones invertidas $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ y mitigar el efecto Mg^{2+} hayan producido este incremento de Ca^{2+} en esas proporciones.

Valores de Ca^{2+} como los de la presente investigación superiores 10 Cmol.Kg^{-1} , pudo contribuir a evitar el llamado efecto no específico del Mg^{2+} , el cual es un mecanismo de expansión extrema de las arcillas estimulando la entrada de Na^+ al complejo de cambio, impidiendo la hidrólisis de estos minerales (Cavaza et al., 2002).

Torrente et al, (2003), encontraron en la caracterización físicas e hidrodinámicas en los suelos del Valle del Cauca, que el Ca^{2+} intercambiable tiene correlación altamente significativa con el Mg^{2+} en solución, el Na^+ en solución, los CO_3 , la conductividad eléctrica y con el coeficiente de dispersión. Esto significa que en aquellos suelos de la planicie donde se concentra el Ca^{2+} , se pueden encontrar altos niveles de Mg^{2+} intercambiable y bajos niveles de Na^+ en la solución, el carbonato tendrá tendencia a ser bajo porque se precipita en muchos de estos suelos como CaCO_3 que es prácticamente insoluble en agua; además la salinidad será baja y en consecuencia el riesgo a la dispersión del suelo será menor.

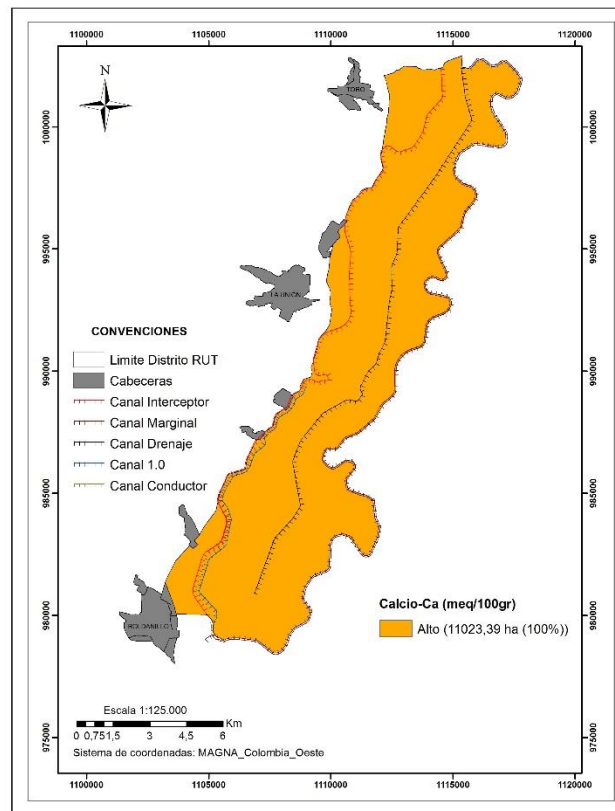


Figura 17. Distribución de Ca^{2+} en el distrito de Riego del R.U.T

3.5.1 Porcentaje de Saturación de Ca^{2+} en el primer y segundo horizonte.

Las Figuras 18 y 19 muestran la distribución espacial del porcentaje de saturación de calcio en los suelos del Distrito de Riego; el nivel medio (SCCS, 2013) es el de mayor representatividad dentro del distrito con un área de 6332 hectáreas y con incremento en profundidad de 6991 hectáreas, se encuentra disperso en la zona Centro, Norte y un núcleo en la zona Sur específicamente entre el canal interceptor y el drenaje principal. El nivel ideal se encuentra distribuido en la zona Sur y Norte presentando disminución en profundidad pasando de 2673 a 1731 hectáreas. Los niveles altos se encuentran en núcleos presentes dentro de las zonas Sur y Norte muy cercanos al canal interceptor del distrito, presenta disminución en profundidad pasando de 655 a 491 hectáreas. Los niveles deficientes se presentan en la zona Centro mostrando incremento en profundidad pasando de 1360 a 1809 hectáreas. La distribución de niveles altos de saturación de Ca^{2+} ,

guarda relación con la distribución espacial presentada en los mapas de saturación de magnesio con niveles altos y la relación $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ invertida. Los niveles ideales se ubican en diferentes áreas de la zona Sur y un núcleo muy distante en la zona norte, presenta un comportamiento de disminución en profundidad representado en 1731 ha.

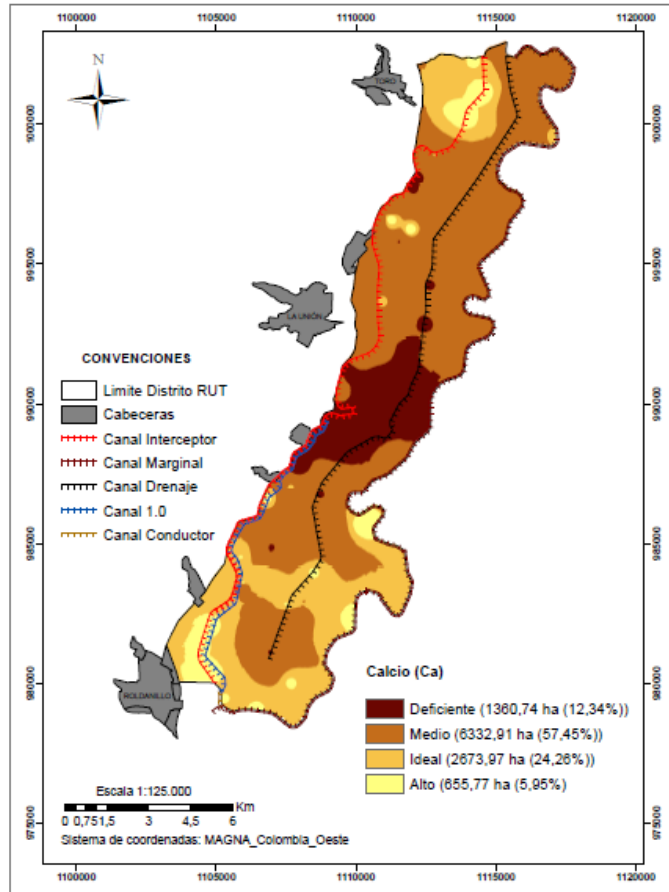


Figura 18. Distribución de la saturación de Ca^{2+} en el primer horizonte del R.U.T

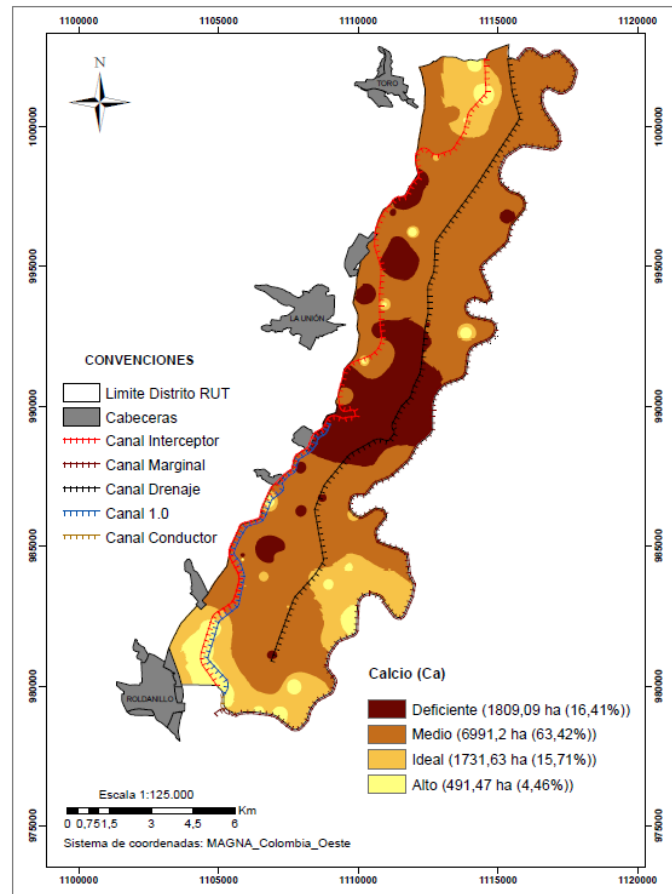


Figura 19. Distribución de la saturación de Ca^{2+} en el segundo horizonte del R.U.T

3.6 Magnesio

Como se puede observar en la figura 20, la distribución espacial muestra los suelos del RUT con altos contenidos de Mg^{2+} en toda el área de estudio y en las profundidades evaluadas. Los valores del Mg^{2+} se han ido incrementando con el paso del tiempo, esto se deduce al realizar la comparación con la evaluación realizada por IGAC-CVC (2004) quien presenta datos de Mg^{2+} en $18.4 \text{ Cmol.Kg}^{-1}$ frente a los arrojados por la presente investigación de 25 Cmol.Kg^{-1} .

El incremento Mg^{2+} puede estar presentándose por los aportes del material parental que en su mayoría son diabasa, el agua de riego también tiene contenido medios de Mg^{2+} . Sistemas de riego inapropiados para las características físicas de los suelos, la falta de drenaje predial, son condiciones que ayudan a incrementar el Mg^{2+} en el suelo.

Altas cantidades de Mg^{2+} en los suelos del distrito, debe llamar la atención de los agricultores de la zona, considerando que en estudios como los de Aristizabal, (2009), han comprobado que el magnesio tiene efectos negativos en la estructura del suelo bajo ciertas circunstancias y es así como se ha distinguido un efecto específico del magnesio en el decrecimiento de la estabilidad estructural, reduciendo la conductividad hidráulica y contribuyendo a la dispersión de arcillas en el suelo, y ocasionando un efecto no específico al facilitar la acumulación de sodio en el suelo.

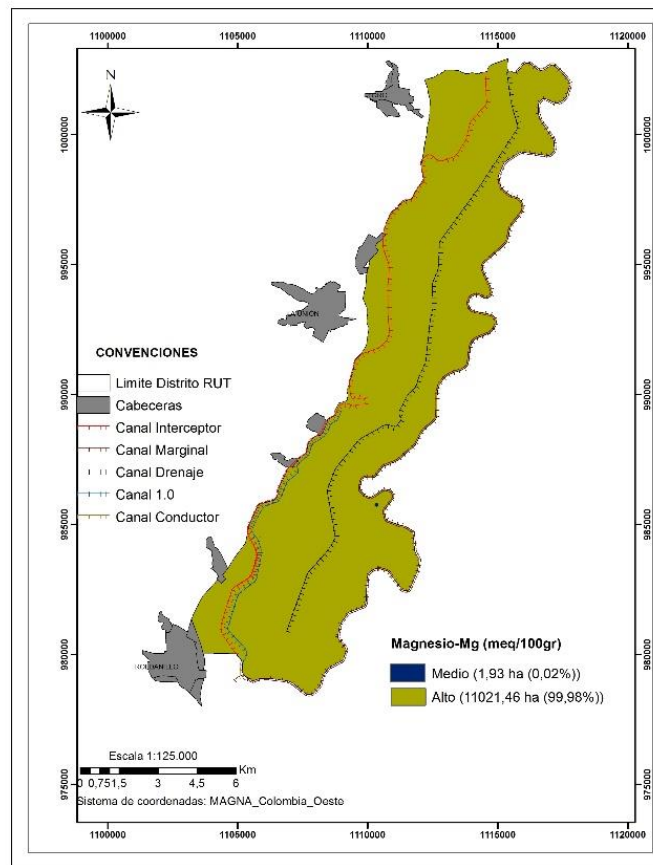


Figura 20. Distribución de Mg^{2+} en el distrito de Riego R.U.T

3.6.1 Porcentaje de Saturación de Magnesio en el primer y segundo horizonte.

Las Figuras 21 y 22, muestran la distribución espacial de los porcentajes de saturación de magnesio en los suelos del distrito. Los niveles medios (20 y 40% PMgl), se presentan en las zonas Sur y Norte en un área de 6629.45 hectáreas, disminuye en profundidad a 5550.9 hectáreas. La Zona Centro muestra valores altos (40 y 75% PMgl), en 4357.14 hectáreas y la tendencia es a incrementar en profundidad pasando a 5468.54 hectáreas.

Los suelos del Distrito de Riego RUT se pueden considerar como una categoría especial de suelos afectados por sales con saturación de magnesio de 35%, debido a que presenta manifestaciones de suelos magnésicos tales como estabilidad media, inestabilidad en los agregados y partículas del suelo, baja capacidad de almacenamiento y deterioro en las propiedades físicas (Sánchez, 2016).

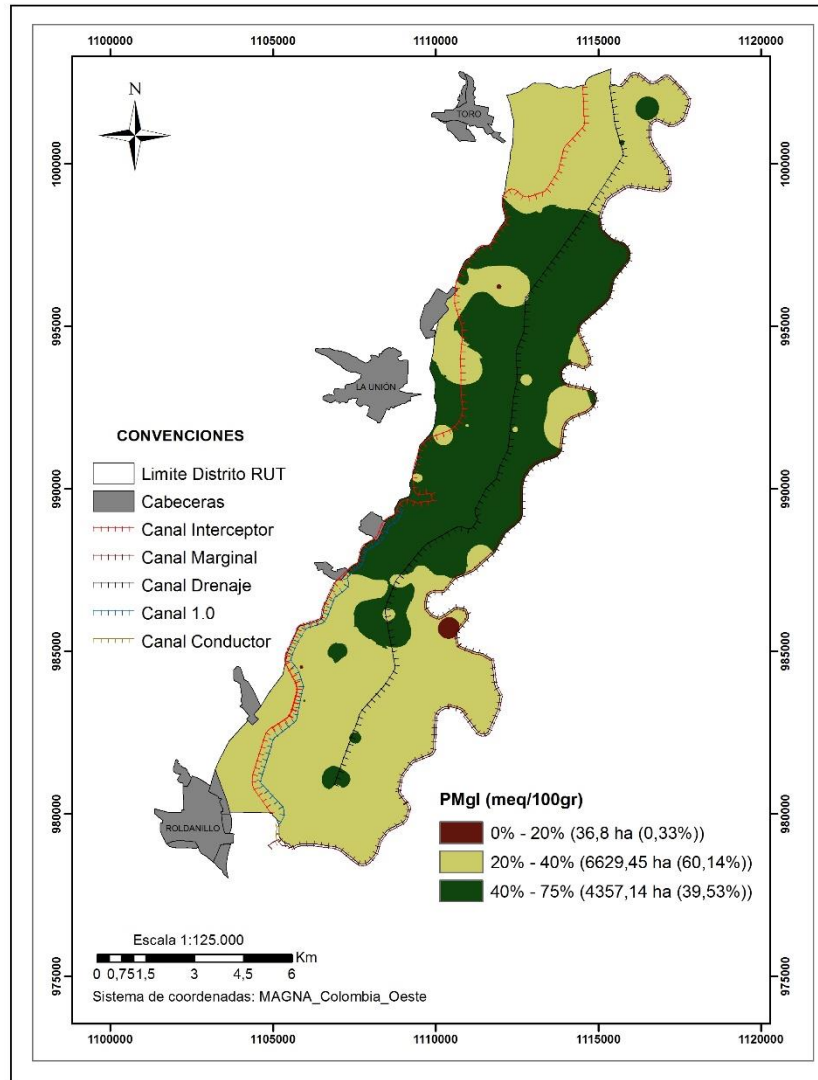


Figura 21. Distribución de la saturación Mg²⁺ en el primero horizonte del R.U.T

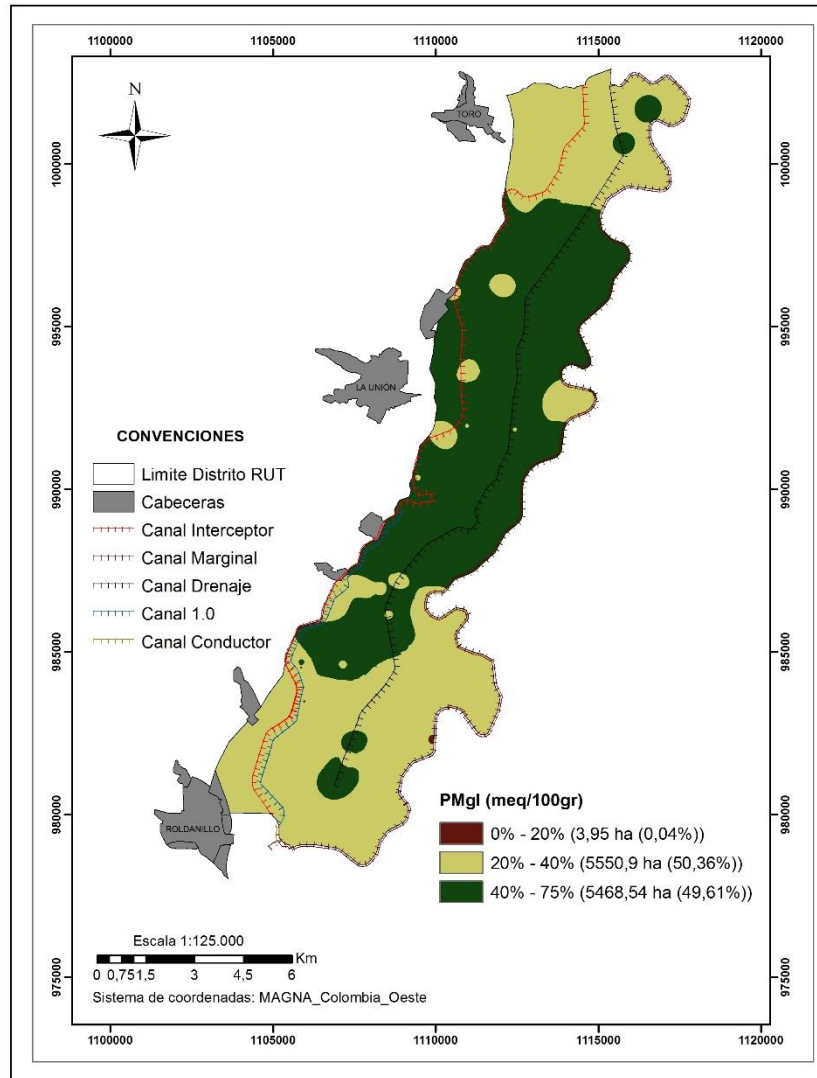


Figura 22. Distribución de la saturación Mg^{2+} en el segundo horizonte del R.U.T

Cultivos como la caña que ocupan el 50% del área del Distrito, podrían verse afectados en los contenidos de sacarosa tal como lo observó García, (2002), quien en investigaciones con Borrero encontró que el cultivo en suelos con altos contenidos de magnesio intercambiable presentan decrecimientos en el porcentaje de sacarosa que produce la planta durante su ciclo vegetativo. Altos contenidos de Mg^{2+} hacen más corta la longevidad de las cepas, por lo cual es muy importante relacionar el Mg^{2+} con otros indicadores de rendimiento y calidad del cultivo.

Los suelos del Norte del Valle incluyendo a los del distrito de riego, se han presentado como suelos con buena fertilidad (Madero et al., 2011), pero según los resultados evaluados, se presentan condiciones químicas que pueden ir en detrimento de la disponibilidad de nutrientes, altos porcentajes de saturación de magnesio en los suelos hace necesario la aplicación de calcio para llegar a una relación $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ adecuada, lo que puede estar originado los incrementos de Ca^{2+} en el suelo pasando de 17.5 reportados por IGAC-CVC (2004) a 35 Cmol.Kg^{-1} . Lo anterior también puede deberse a la falta de información sobre las dificultades que puede tener el magnesio en grandes cantidades en los suelos, y la forma como el agricultor lo soluciona, deben plantearse estudios en la zona donde se establezcan manejos del magnesio, lavándolo o sacándolo del perfil del suelo buscando mejorar condiciones físicas y mejores relaciones químicas. Castro et al, (2010) argumentan que un suelo fértil no necesariamente es un suelo productivo, que pueden tener alta concentración de nutrientes pero en desequilibrio iónico o con limitantes en la toma de agua para el normal crecimiento de los cultivos.

La Tabla 13 muestra cómo los diferentes porcentajes de magnesio intercambiable causan afectación en la entrega eficiente del agua al suelo, esto se puede observar en las láminas de agua aplicadas, donde niveles medios de afectación se presentan en 8.510 hectáreas, equivalentes al 77.2% del área, resultados que también son congruentes con los observados en el parámetro Densidad aparente, de igual forma al comparar los niveles altos de micro poros en la mayoría de los suelos y la humedad aprovechable media, se puede evidenciar el inicio de problemas físicos que impiden la adecuada retención de agua aprovechable para la planta. Se debe tener en cuenta que la mayoría de los suelos del Distrito de Riego son arcillosos, lo que para condiciones naturales normales deberían tener una buena retención de humedad (solo se encuentran 716 ha equivalentes al 6.5% del área con valores altos LAA).

Tabla 13. Niveles de LAA en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio.

INTERPRETACION	LAA (mm)	0 - 20 %	20 % - 40 %	> 40 %	AREA TOTAL
MUY BAJA	0 - 12.5	0	47	56	103
BAJA	12.5 - 25	31	520	1144	1695
MEDIA	25 - 37.5	3	5461	3046	8510
ALTA	37.5 - 50	1	597	118	716
AREA TOTAL		35	6625	4364	11024

La Tabla 14, muestran como los diferentes niveles de porcentaje de magnesio intercambiable crean afectación en el DPM. En el distrito de Riego el 60% de los suelos que se consideran magnésicos presentan algún grado de afectación en la estabilidad moderada, mientras que los ligeramente magnésicos muestran el 52% en el estado ligero y 48% en el estado moderado.

Tabla 14. Niveles de DPM en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio

INTERPRETACION	DPM (mm)	0 - 20 %	20 % - 40 %	> 40 %	AREA TOTAL
INESTABLE	0 -0.5	0	0	1	1
LIG. ESTABLE	0.5 - 1.5	30	3440	1765	5235
MOD. ESTABLE	1.5 -3.0	5	3185	2598	5788
AREA TOTAL		35	6625	4364	11024

La conductividad hidráulica presentada en la Tabla 15, muestra un comportamiento medio en 7.420 ha, equivalentes al 67.3% del área, la cual se relaciona directamente con la deficiencia de macro poros, sin embargo, la zona sur donde los PMgl están entre 20-40%, presenta la mayor afectación, lo anterior indica que en niveles ligeramente magnésicos (PMgl 20-40%), los suelos del Rut ya presentan afectaciones físicas.

Tabla 15. Niveles de Ks en áreas con diferentes rangos de saturación de magnesio

INTERPRETACION	Ks (cm.h ⁻¹)	0 - 20 %	20 % - 40 %	> 40 %	AREA TOTAL
BAJA	0 - 0.5	0	1569	1027	2596
MEDIA	0.5 - 1.5	26	4438	2956	7420
ALTA	1.5 - 5.0	9	618	381	1008
AREA TOTAL		35	6625	4364	11024

Podemos inferir que altos porcentajes de magnesio intercambiable en los suelos del RUT, produce afectaciones en las propiedades físicas de los suelos, causando efectos adversos sobre las propiedades de agregación de manera similar a como lo hace el sodio. En general el movimiento interno del agua en los suelos del RUT, es lento lo que puede considerarse un grave problema para cultivos comerciales y que puede marcar la diferencia en las productividades, sumado a lo anterior la falta de equipos de riego apropiados y diseñados bajo las características actuales de suelos, la falta de drenaje predial y los altos niveles de Mg²⁺ en el agua de riego presentan un escenario propenso a la degradación física de los suelos.

3.7 Relaciones entre bases de cambio

3.7.1 Relación Ca²⁺: Mg²⁺

La Figura 23, muestra la distribución espacial de la relación Ca²⁺:Mg²⁺ en los suelos del Distrito de Riego, la zona Sur y Norte presentan relación de nutrientes Ca²⁺:Mg²⁺ menor a dos en un área de 9690 hectáreas, el comportamiento en profundidad es similar. Estos valores son críticos (SCCS, 2013) y podrían causar afectación en la nutrición para cultivos como hortalizas, palma africana, café y papa entre otros (Castro y Gómez 2013).

La zona centro presenta relación invertida en 1214 hectáreas. Estos resultados guardan similitud con la distribución espacial presentada en los mapas del PMgl con niveles altos y Ca²⁺: Mg²⁺ con relación invertida. Este tipo de relaciones entre bases no son buenas y conllevan a aplicaciones de altas cantidades de Ca²⁺ en la fertilización, buscando establecer una relación acorde a las necesidades del cultivo que por lo general está entre 3-5 Cmol.Kg⁻¹ (SCCS, 2013). Malavolta, (2006) observó que la relación Ca:Mg, hasta

4,49:1, proporciona una mayor producción de café, no así para relaciones mayores a 5:1. Jiménez (2006) estudió la dinámica y la disponibilidad de potasio en Andisoles e Inceptisoles dedicados al cultivo de la papa en el altiplano cundiboyacense (Colombia). Este autor no encontró respuesta en producción a los tratamientos ni las relaciones entre bases intercambiables.

Los resultados de la presente investigación guardan relación con lo observado por Madero et al, (2004), donde se muestra el efecto del magnesio en todos los paisajes de la parte plana del Valle del Cauca para relaciones $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} < 2$.

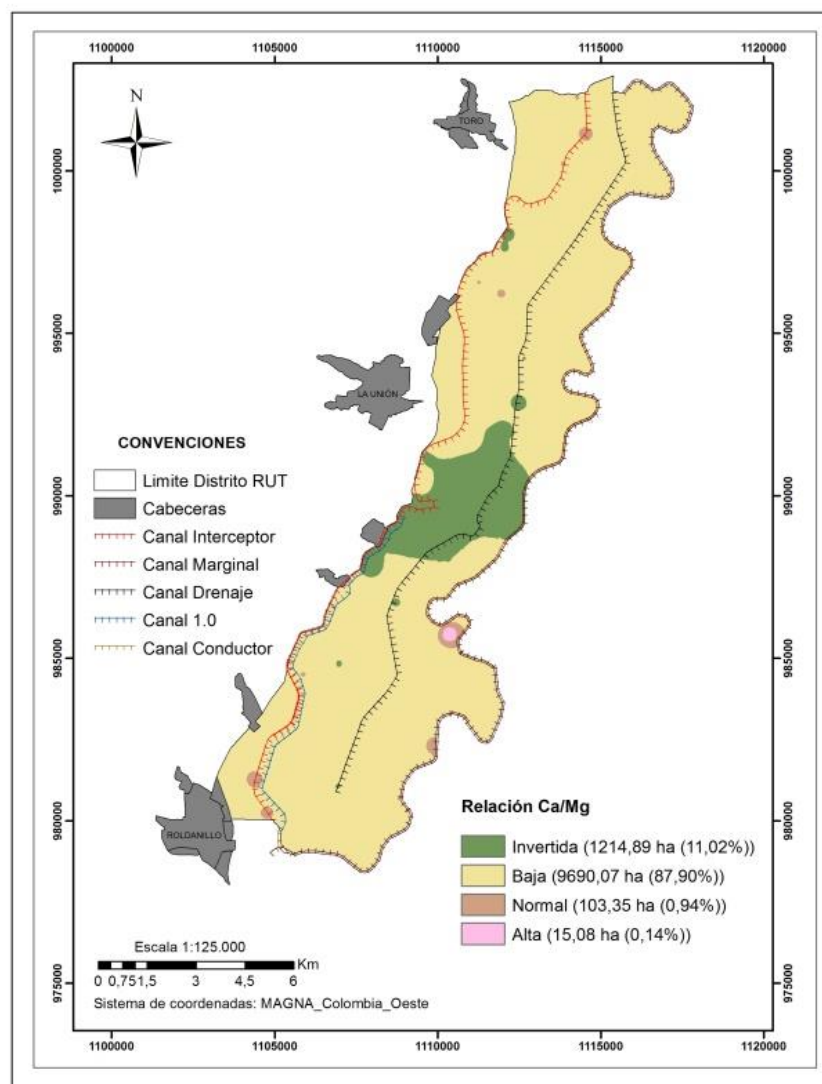


Figura 23. Distribución de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en los suelos del Distrito R.U.T

3.7.2 Relaciones Mg^{2+}/K^+ , K^+/Mg^{2+} , Ca^{2+}/K^+ , $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$

La Tabla 16, presenta las relaciones de las bases de cambio en los suelos del distrito de riego R.U.T, donde se muestran valores para Mg^{2+}/K^+ superiores a 10 , K^+/Mg^{2+} inferiores 0.2 , Ca^{2+}/K^+ mayores a 30, rangos que indican deficiencia de potasio, Castro y Gómez (2013) sugiere las siguientes relaciones con fines agrícolas Mg^{2+}/K^+ 6:8, K^+/Mg^{2+} 0.2:0.3, Ca^{2+}/K^+ 12:18 y $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ de 12:20.

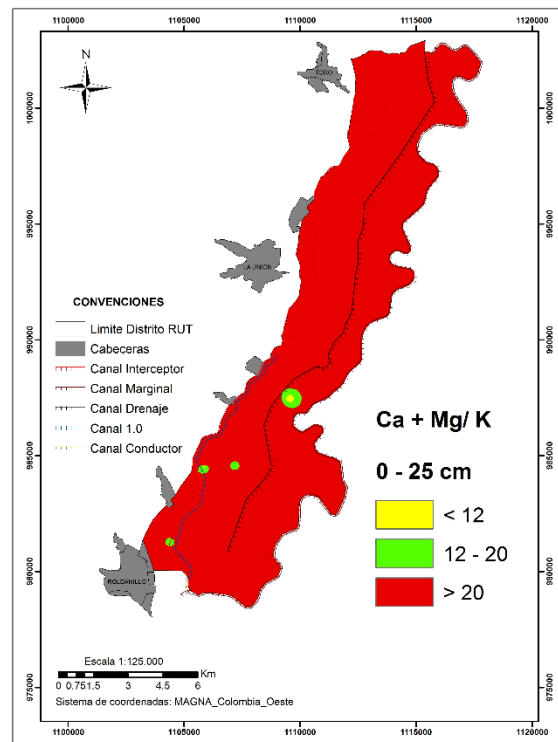
Como se observa en las Figuras 24 y 25, las relaciones de $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / K^+$ presenta valores superiores a 20 en el 98% de los suelos del R.U.T, lo anterior indica deficiencia de potasio, podría presentarse un funcionamiento inadecuado en los procesos de absorción y nutrición. Según Hirzel, (2008) cuando las relaciones K^+/Mg^{2+} son menores a 0.1 lo más probable es que exista una carencia inducida de K^+ .

Sin duda, los agricultores deben balancear sus bases y aplicar potasio para cubrir las necesidades de sus cultivos, tal como lo observa Puerto et al, (2014), en suelos del Valle del Cauca para cultivo de Vid, donde con aplicaciones de sulfato de potasio incrementó la presencia relativa de K^+ , respecto a Ca^{+2} y Mg^{+2} . Otro aspecto importante que contribuye a realizar aplicaciones de potación es la condición física de los suelos, los cuales presentan arcillas 2:1 con características verticas, esto debe manejarse con cuidado por que inicialmente la retención que hacen las arcillas 2:1 del K^+ influye directamente en la respuesta del suelo a las aplicaciones de potasio (Sierra, 2001) cuando un suelo arcilloso está deficiente en K^+ es decir con menos 0,25 a 0,30 $cmol.Kg^{-1}$, se deberían realizar las correcciones de los niveles de K^+ con dosis altas, debido a que gran parte del K^+ quedará retenido.

(Borrero, 2005), observa que en terrenos cálcicos el Ca^{+2} compite con el K^+ por los sitios de intercambio y se suspende el proceso de fijación del K^+ , pero la calidad del agua de riego, en terrenos semiáridos y áridos como los del Valle del Cauca, puede llegar a incrementar el K^+ por evaporación del agua y concentración del K^+ , disminuyendo la relación Ca^{2+}/K^+ y aumentando con ello fijación de K^+ .

Tabla 16. Relaciones entre bases de cambio en los suelos del R.U.T

first horizon	Mg^{2+}/K^+	K^+/Mg^{2+}	Ca^{2+}/K^+	$(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$
Mean	54.01	0.04	80.17	134.18
Standard deviation	35.59	0.08	49.92	78.00
second horizon				
Mean	73.09	0.03	80.17	106.81
Standard deviation	44.76	0.05	49.92	47.78

**Figura 24.** Relación $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ en el primer horizonte los suelos del R.U.T

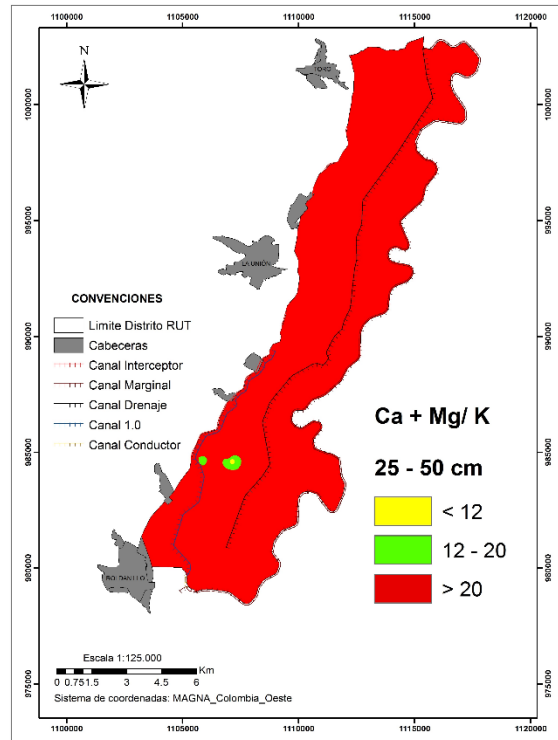


Figura 25. Relación $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ en el segundo horizonte los suelos del R.U.T

4. Conclusiones

- ❖ Los resultados muestran que en los suelos del distrito de riego en función de las principales propiedades químicas podrían estar en proceso de degradación en su fertilidad, debido al desequilibrio iónico en que se encuentran las principales bases
- ❖ La evaluación de las relaciones existentes y los porcentajes de saturación de las bases de cambio en los suelos del RUT, muestran desbalance afectando la fertilidad
- ❖ Las principales propiedades químicas evaluadas muestran en la distribución espacial que los suelos del distrito de riego, presentan problemas de degradación química en la totalidad del área.

5. Recomendaciones

5.1 Recomendaciones para la conservación de las propiedades químicas de los suelos y las aguas de riego del distrito RUT.

Dada la importancia de los resultados obtenidos en el presente estudio, se considera pertinente realizar en diferentes niveles sugerencias para tomar acciones que pueden contribuir a un manejo adecuado de las propiedades químicas de los suelos y las aguas de riego.

Gestión administrativa por la posible degradación de propiedades químicas de los suelos de RUT.

- Informar de forma inmediata a todos los usuarios beneficiarios del RUT, la situación actual que afrontan los suelos.
- Proponer a entidades gubernamentales trabajos de investigación que permitan abordar de forma técnica y científica la problemática actual frente a la posible degradación de suelos en cuanto a las propiedades químicas.
- Mediante capacitaciones programadas y con expertos en el área de suelos, proponer para cultivos de la zona programas de fertilización adecuados evitando crear relaciones inadecuadas entre las bases de cambio.
- Considerando que gran parte de los aportes de magnesio al suelo están en las aguas de riego, es posible capacitar a los usuarios en el uso adecuado de ellas bajo sistemas de riego eficientes y si es posible incentivar con el apoyo del estado subsidios para tal fin.

- Concentrar atención inmediata en la zona centro la cual presenta los niveles más altos del PMgl y donde con seguridad presenta mayores afectaciones de las propiedades físicas de los suelos.
- Establecer un plan de monitoreo de las aguas de riego distrito de riego y si es posible mezclar aguas para disminuir la carga de magnesio, carbonatos y bicarbonatos presentes en ellas.
- Generar investigación en cuanto a variedades de cultivos resistentes PMgl altos y condiciones de suelos arcillosos.
- Implementar un servicio de información en la web para los usuarios donde se muestre: condiciones climatológicas, calidades de agua de riego por temporadas, niveles freáticos (red freaticométrica). Comportamiento de las propiedades químicas y físicas de los suelos por capas de interés. Lo cual nos acercaría a la agricultura de precisión.

5.2 Recomendaciones directas para los usuarios del RUT.

- Crear conciencia de la problemática actual que presenta el distrito de riego en cuanto a la posible degradación de las propiedades químicas de los suelos.
- Implementar con la asesoría de expertos en el tema un plan de manejo integral de suelos que contemple:
 - Mecanización adecuada para las propiedades físicas actuales del suelo
 - Drenajes prediales
 - Sistemas de riego idóneos para el cultivo, considerando estudios de las propiedades físicas del suelo.
 - Manejo adecuado de las aguas de riego, el cual debe contemplar los análisis químicos, físicos, considerando la corrección del pH y la conductividad.
 - Manejo adecuado de láminas de lavado.
 - Plan de fertilización considerando un balance de bases, los requerimientos nutricionales del cultivo y evitar aplicaciones innecesarias de productos que podrían conllevar al desequilibrio iónico.

Anexos

A. Anexo. Ubicación de puntos de muestreo (0-50 puntos)

Número Papel	Código Predio Rut	Nombre del Predio	Propietario	Municipio
1	5A4170	HDA BNOS AIRES	INGENIO RISARALDA S.A.	TORO
2	3B2150	SANTA CATALINA	AGROPECUARIA EL NILO LTDA.	TORO
3	4B1590	LA PEPA	VILLEGAS JARAMILLO MARIO	TORO
4	4B1870	PORTUGAL	NISHI SHIGETOMI ARMANDO	TORO
5	5A4150	EL PALMAR	GOMEZ JOAQUIN EMILIO	TORO
6	5A4270	LA MARIA	GALLEGO DORIS LOAIZA DE	TORO
7	3B2050	LA GUAJIRA	PALACIO VILLEGAS Y CIA S. EN C	TORO
8	5A3990	SANTA MONICA	INGENIO RISARALDA S.A.	TORO
9	4B1570	EL EDEN	SOTO ECHEVERRY LIMITADA	TORO
10	3B1520	LA PUNTA NUMERO	OROZCO YOLANDA GOMEZ DE	TORO
11	3B1650	LA ROSALBA	CARDONA MARLENY DE	LA UNION
12	3B1550	LA FRUTERA I	SOCIEDAD ARNAOS S.A.S.	LA UNION
13	2D9070	EL LINDERO	ARISTIZABAL SANDRA ISABEL	LA UNION
14	3B1540	LA PUNTA	VILLEGAS GRETCHEN SCHNEPEZ	LA UNION
15	4A1490	LA LINDA	APARICIO PIEDRAHITA JAIME A.	LA UNION
16	3A0270	EL REFLEJO	GARCIA B MARIA ADELINA	LA UNION
17	3A0280	EL REFLEJO	BEDOYA GARCIA MANUEL SALVADOR	LA UNION
18	3A0840	BELLAVISTA	BORJA CABEZAS CAMPO ELIAS	LA UNION
19	3A1190	LAS BALINES	BOHORQUEZ LEONIDAS ANTONIO	LA UNION
20	4A0530	DIAMANTE	GOMEZ HECTOR NELSON Y OTRA	LA UNION
21	3A0240	EL RODEO	RENTERIA A. EDUARDO ANTONIO	LA UNION
22	3A0250	BALZAR GRANDE	RENTERIA A EDUARDO ANTONIO	LA UNION
23	3A0670	BELLAVISTA	ARISTIZABAL LUCILA A. DE Y OTR	LA UNION
24	3A0190	EL ENCANTO	MONCADA ARISTIZABAL JHON JAIRO	LA UNION
25	3A0170	MATEGUADUA	INGENIO RISARALDA S.A.	LA UNION
26	5A3770	EL HOBO	GORDILLO ISAURA VELEZ DE	LA UNION
27	3A0550	TEJEDA	INGENIO RISARALDA S.A.	LA UNION
28	3A0120	EL PALMAR	SOC. ALBERTO ARISTIZABAL Y CIA	LA UNION
29	3A0490	LA SIRIA	ESCOBAR GOMEZ GONZALO	LA UNION
30	(5A3600)	EL PALMAR	MURIEL EPIFANIO	LA UNION
31	4A0720	LA ESPERANZA	GIRALDO ROJAS HERMANOS	LA UNION
32	4A0710	LA SARITA	RIOS PRADO LTDA	LA UNION
33	4A0940	LAS PLAYAS	GARCIA B SALUSTIANO	LA UNION
34	3A0040	VILLA IVONE	PEREA H. JAIME ARTURO Y HNOS.	LA UNION
35	4A0580	EL NARANJO	CARRILLO NIVIA LUISA F.	LA UNION
36	2D9110	LA GUAYANA	MARMOLEJO DEMETRIO	LA UNION
37	1D366A	EL PALMARCITO	ARISTIZABAL SANCHEZ PAOLA	LA UNION
38	1D3690	LA CEIBA	SOC. ALBERTO ARISTIZABAL Y CIA	LA UNION
39	2D8990	LA VILLA	BOCANEGRA GALLEGO IVAN RENE	LA UNION
40	1D378C	SAN ANTONIO II	GORDILLO VARELA BERTHA LUCIA	LA UNION
41	1D3560	LA RAFAELA	MURIEL MURILLO ADALBERTO	LA UNION
42	2D8720	LA GALICIA	GIRALDO MEJIA JULIO ANIBAL	LA UNION
43	1D3610	SAN JUANITO	GRAJALES HERMANOS LTDA	LA UNION
44	1D3850	LUCITANIA I	SANCHEZ GUTIERREZ RUBY	LA UNION
45	1C3390	LA PLAYITA	MONTOYA MALDONADO OSCAR	LA UNION
46	1D3630	HDA. CONTADORA	TORRES TITO HERNAN Y OTRA	LA UNION
47	1D4230	HDA. QUISQUELLA	PROD. HIDROAGROPECUARIOS LTDA.	LA UNION
48	1C3350	EL RECREO	BERMUDEZ VARELA LUCIA	LA UNION
49	1C3420	EL REFUGIO	ESCARRIA RUIZ REINEL	LA UNION
50	1C3410	LA JOTA	RESTREPO JARAMILLO CARLOS H.	LA UNION

B. Anexo. Ubicación de puntos de muestreo (51-100 puntos)

Número Papel	Código Predio Rut	Nombre del Predio	Propietario	Municipio
51	1D4210	EL ANHELO	SOCIEDAD PALOMINOS LTDA	LA UNION
52	1C2810	BOJACA	ESCARRIA RUIZ CIRO	LA UNION
53	1C2320	EL CONSUELO	CUELLAR C LILIA	ROLDANILLO
54	1C2880	LA REDONDA	ESCARRIA RUIZ REINEL	ROLDANILLO
55	1C2910	GUASIMAL	POSSO JOAQUIN E SUC	ROLDANILLO
56	2D7200	EL MANGON	MORENO GARCIA EDUARDO	ROLDANILLO
57	1C2120	SAN ISIDRO	POSSO ARIAS SEGUNDO	ROLDANILLO
58	2C6300	CONCHAL	GARCIA CAMPO ABSALON	ROLDANILLO
59	1C2270	SAN JORGE	JARAMILLO TORO FELIPE	ROLDANILLO
60	2C5650	PERIGORRON	ESCARRIA RUIZ CIRO	ROLDANILLO
61	2C4980	LA FLORESTA	OSORIO RAMIREZ GLORIA MARY	ROLDANILLO
62	1B1760	PUENTE GRANDE	VARELA G GILBERTO	ROLDANILLO
63	2C5620	LA CLINICA	QUINTANA YUSTY SAUL	ROLDANILLO
64	1B1670	EL ESTERO	JARAMILLO MORENO MIGUEL	ROLDANILLO
65	1B190B	LA ESPERANZA	RAMIREZ OTILIA GARCIA DE	ROLDANILLO
66	1C3020	LA MERCEDES	LLANOS VALDERRAMA ELENA DE	ROLDANILLO
67	2C5590	LA GRANJA	AGUADO GARCIA ALFREDO	ROLDANILLO
68	2C5040	LA CARMELITA	ESCOBAR M JOSE OCTAVIO	ROLDANILLO
69	1B1810	LA CRISTALINA	SOCIEDAD FADETRAP S.A.S	ROLDANILLO
70	1B1610	GARRUCHAL	ANDRADE LIBREROS JAIME	ROLDANILLO
71	2C5280	YARUMAL	GARCIA LUZ MARY VALENCIA DE	ROLDANILLO
72	1B189A	LA NATALIA	GIRALDO HOLGUIN HECTOR	ROLDANILLO
73	1B1790	EL PITAL	SOC. G.G BERNAL E HIJOS LTDA	ROLDANILLO
74	1B1280	IYOMA	AGROPECUARIA IYOMA LTDA	ROLDANILLO
75	2B4500	ALEJANDRIA	MEJIA JARAMILLO JESUS	ROLDANILLO
76	1B110A	PARCELA N.3	MILLAN GARCIA NICOLAS	ROLDANILLO
77	1B1770	SAN BERNARDO	SOC. G.G BERNAL E HIJOS LTDA	ROLDANILLO
78	1B1300	EL PITAL	ROMERO PEDRO NEL	ROLDANILLO
79	2B2210	LA ISABELA	MORALES GARCIA ALVARO	ROLDANILLO
80	5A1050	SANTA ANA	MULLER LYDIA ESTEFAN DE	ROLDANILLO
81	1B1080	LA NAVARRA	LOPEZ SALAZAR ALBERTO	ROLDANILLO
82	1B1070	EL MOLINO	GONZALEZ DANIEL SUC	ROLDANILLO
83	1B1250	MONTE NO 2-LUISA	REBOLLEDO MA LUISA	ROLDANILLO
84	2A2450	PEOR ES NADA	CASTA PRODUCCIONES Y CIA	ROLDANILLO
85	2A1350	LA PONDEROSA	CABAL M. CRISANTO ALFONSO	ROLDANILLO
86	5A2410	SANJON HONDO	VALDERRAMA ERNESTINA	ROLDANILLO
87	2A2050	QUEREMAL	AGUILAR MANUEL DE J	ROLDANILLO
88	2A2390	NUCLEO VIVIENDA	INCORA	ROLDANILLO
89	1A0770	PALMAMOCHA	RODRIGUEZ NUÑEZ GREGORIO	ROLDANILLO
90	2A1000	DIAMANTE 1 Y 2	VILLAQUIRAN TERAN HERNANDO	ROLDANILLO
91	5A2040	CANAGUAY	MEJIA JARAMILLO RICARDO	ROLDANILLO
92	1A0650	BARROHONDO	GARCIA VARELA JESUS	ROLDANILLO
93	2A0980	BELLAVISTA	ESTRADA VIRGINIA LONDOÑO	ROLDANILLO
94	5A1910	EL FORTIN	VALDERRAMA VARELA	ROLDANILLO
95	2A0770	LA CAMPINA 2	REBOLLEDO LOPEZ CARLOS A,	ROLDANILLO
96	1A0010	PARCELA 4	VACCA ANA MARIA GOMEZ DE	ROLDANILLO
97	2A0780	LA REDONDA	ROJAS CARLOS ARTURO	ROLDANILLO
98	2A0700	ISUGU	VON BREMEN CARLOS E HIJOS	ROLDANILLO
99	1A0950	LA ISABEL	AYALA C LUIS ALFONSO	ROLDANILLO
100	2A0350	PARCELA 9	REYES RAMIREZ CLARA	ROLDANILLO

C. Anexo. Datos de 0 a 50 de los parámetros muestreados de 0 a 25 cm

NUMERO	Código	Orden Taxonómico de Suelos	CE (Ds/m)	pH	Potasio (Cmol.Kg ⁻¹)	Sodio (Cmol.Kg ⁻¹)	Calcio (Cmol.Kg ⁻¹)	Magnesio (Cmol.Kg ⁻¹)
1	5A4170	Molisol	0,36	6,85	0,40	0,29	18,97	6,16
2	3B2150	Vertisol	0,47	7,25	0,50	0,37	21,80	11,43
3	4B1590	Inceptisol	0,62	6,82	0,33	1,15	45,35	34,30
4	4B1870	Inceptisol	0,53	6,68	0,42	0,55	37,70	21,37
5	5A4150	Inceptisol	0,57	6,78	0,10	0,52	27,80	8,08
6	5A4270	Molisol	0,38	7,93	0,47	0,25	16,80	5,63
7	3B2050	Inceptisol	0,44	6,71	0,43	0,50	35,86	24,73
8	5A3990	Molisol	1,02	7,52	0,42	1,69	43,62	14,09
9	4B1570	Inceptisol	0,58	6,60	0,21	0,52	38,00	19,12
10	3B1520	Molisol	0,51	6,99	0,39	0,46	35,42	13,89
11	3B157	Molisol	0,34	6,78	0,55	0,01	17,66	8,79
12	3B1550	Molisol	2,53	7,40	0,17	0,19	15,30	10,38
13	2D9070	Inceptisol	0,90	6,91	0,34	0,14	24,37	12,68
14	3B1540	Inceptisol	1,32	5,21	0,26	0,46	31,33	30,13
15	4A1490	Inceptisol	0,55	7,44	0,57	0,61	32,46	26,61
16	3A0270	Inceptisol	0,42	6,04	0,70	0,97	24,95	27,85
17	3A0280	Inceptisol	0,40	5,50	0,70	0,80	26,28	27,84
18	3A0840	Inceptisol	0,54	5,59	0,50	0,30	29,70	22,91
19	3A1190	Inceptisol	0,31	6,37	0,38	0,53	24,67	21,40
20	4A0530	Inceptisol	0,23	6,83	0,36	0,42	27,03	26,55
21	3A0240	Inceptisol	0,21	5,99	0,57	0,69	42,16	38,21
22	3A0250	Inceptisol	0,60	6,53	0,33	0,56	29,85	27,68
23	3A0670	Inceptisol	0,83	7,31	0,17	0,22	26,08	6,01
24	3A0190	Inceptisol	2,17	6,15	0,52	0,65	104,28	32,93
25	3A0170	Inceptisol	0,51	7,20	0,43	0,61	49,58	41,44
26	5A3770	Molisol	0,62	7,07	0,87	0,04	22,41	12,15
27	3A0550	Inceptisol	0,44	7,28	0,51	0,58	42,62	37,06
28	3A0120	Inceptisol	0,16	7,39	0,59	0,33	52,23	40,30
29	3A0490	Inceptisol	0,36	6,75	0,56	0,51	27,07	21,05
30	5A360	Vertisol	5,02	7,39	0,32	0,35	45,36	30,33
31	4A0720	Inceptisol	1,15	7,35	0,97	1,36	36,78	37,05
32	4A0710	Inceptisol	0,40	7,30	0,68	0,65	29,57	24,98
33	4A0940	Inceptisol	0,51	7,73	0,50	0,35	25,56	14,44
34	3A0040	Vertisol	0,26	7,02	0,46	0,32	47,54	22,00
35	4A0580	Inceptisol	0,70	7,28	0,44	0,31	35,43	21,88
36	2D9110	Inceptisol	0,77	7,09	0,18	0,16	29,77	16,99
37	1D366A	Vertisol	0,39	7,67	0,91	0,03	25,29	22,17
38	1D3690	Inceptisol	0,38	7,10	0,45	0,63	25,50	33,10
39	2D8990	Inceptisol	1,05	7,28	0,40	0,49	40,13	44,74
40	1D378C	Inceptisol	1,33	7,62	0,69	0,12	43,31	29,21
41	1D3560	Inceptisol	0,33	7,42	0,38	0,12	41,49	39,94
42	2D8720	Inceptisol	1,39	7,53	1,44	0,29	43,14	25,00
43	1D3610	Vertisol	1,33	7,23	0,59	0,03	16,38	8,59
44	1D3850	Inceptisol	0,28	7,24	0,53	0,62	25,34	41,61
45	1C3390	Vertisol	1,37	8,22	1,12	0,59	31,04	28,91
46	1D3630	Inceptisol	0,40	8,13	0,45	0,70	32,57	34,14
47	1D4230	Inceptisol	0,81	7,79	0,27	1,89	49,45	57,98
48	1C3350	Vertisol	0,31	7,41	0,44	0,80	36,54	33,87
49	1C3420	Inceptisol	1,80	7,60	0,70	0,32	25,00	46,66
50	1C3410	Vertisol	0,21	7,90	0,79	0,42	21,85	12,13

D. Anexo. Datos de 50 a 100 de los parámetros muestreados de 0 a 25 cm.

NUMERO	Código	Orden Taxonómico de Suelos	CE (Ds/m)	pH	Potasio (Cmol.Kg ⁻¹)	Sodio (Cmol.Kg ⁻¹)	Calcio (Cmol.Kg ⁻¹)	Magnesio (Cmol.Kg ⁻¹)
51	1D4210	Inceptisol	0,71	7,49	0,52	0,87	29,03	30,78
52	1C2810	Inceptisol	1,19	7,67	0,59	0,15	48,90	60,49
53	1C2320	Molisol	0,44	7,82	0,65	0,10	25,25	43,63
54	1C2880	Inceptisol	0,63	7,92	0,47	0,82	31,16	40,05
55	1C2910	Inceptisol	0,91	7,81	0,45	0,57	25,25	54,79
56	2D7200	Inceptisol	1,18	7,13	0,42	0,07	38,72	22,88
57	1C2120	Molisol	0,78	7,80	0,70	3,09	34,00	49,43
58	2C6300	Molisol	1,66	7,63	5,60	0,27	28,08	21,25
59	1C2270	Molisol	0,30	7,19	0,52	0,24	67,67	33,91
60	2C5650	Molisol	0,69	7,75	0,26	0,35	42,89	25,04
61	2C4980	Inceptisol	0,63	7,54	0,26	0,22	25,79	16,87
62	1B1760	Inceptisol	1,48	7,56	0,54	0,23	38,98	22,06
63	2C5620	Inceptisol	0,39	7,44	0,39	0,41	34,00	40,39
64	1B1670	Molisol	0,85	7,80	0,50	0,08	66,53	37,47
65	1B190B	Inceptisol	0,62	7,75	0,33	0,37	38,32	36,38
66	1C3020	Molisol	0,69	7,26	1,82	0,02	39,05	12,77
67	2C5590	Inceptisol	0,46	7,39	0,33	1,06	55,14	34,87
68	2C5040	Inceptisol	0,59	7,70	0,17	0,09	23,89	10,95
69	1B1810	Inceptisol	0,30	7,87	0,51	0,05	54,91	22,53
70	1B1610	Inceptisol	1,62	5,98	0,51	0,01	42,38	4,44
71	2C5280	Inceptisol	0,24	7,52	0,71	0,17	40,09	35,51
72	1B189A	Inceptisol	3,22	8,03	1,36	0,46	38,68	15,84
73	1B1790	Inceptisol	0,98	8,22	0,33	0,86	24,58	32,13
74	1B1280	Inceptisol	0,36	7,81	0,34	0,00	35,38	13,41
75	2B4500	Inceptisol	0,68	7,57	0,28	0,68	49,45	31,42
76	1B110A	Vertisol	0,99	7,93	2,91	0,01	18,49	4,59
77	1B1770	Inceptisol	0,51	7,97	1,97	0,00	38,99	24,54
78	1B128A	Inceptisol	0,83	7,70	4,38	0,05	35,99	17,49
79	2B2070	Inceptisol	0,81	7,78	0,49	0,09	28,32	13,97
80	5A1050	Inceptisol	0,34	7,32	0,59	0,11	48,50	21,22
81	1B1080	Molisol	0,52	7,89	1,85	0,17	49,22	14,75
82	1B1070	Molisol	1,89	7,39	1,40	0,15	25,25	21,66
83	1B1250	Inceptisol	1,04	7,20	0,69	0,53	46,06	21,04
84	2A2450	Inceptisol	0,99	8,05	1,28	0,18	36,56	14,35
85	2A1350	Inceptisol	0,67	7,89	0,71	0,08	31,58	8,54
86	5A2410	Molisol	3,16	5,67	0,37	0,12	52,97	19,92
87	2A2050	Inceptisol	3,42	7,45	0,58	0,18	20,90	9,22
88	2A2390	Inceptisol	0,43	8,13	0,60	0,23	43,02	32,43
89	1A0770	Inceptisol	0,96	7,82	0,53	0,03	35,75	19,83
90	2A1000	Inceptisol	0,40	7,54	0,52	0,23	51,84	28,86
91	5A2040	Molisol	0,24	7,21	0,69	0,19	55,51	17,06
92	1A0650	Vertisol	0,21	7,48	0,58	0,15	33,25	36,71
93	2A0980	Inceptisol	0,43	7,24	0,28	0,21	49,43	23,70
94	5A1910	Molisol	0,72	7,68	2,76	0,44	31,02	9,09
95	2A0770	Vertisol	0,33	7,50	0,50	0,03	49,01	30,10
96	1A0010	Molisol	1,92	6,77	0,43	0,05	56,40	27,93
97	2A0780	Vertisol	1,29	8,47	0,34	0,61	45,27	24,63
98	2A0700	Vertisol	1,87	7,49	1,73	0,14	47,66	17,13
99	1A0950	Molisol	0,88	7,43	0,43	0,08	51,71	20,27
100	2A0350	Inceptisol	0,58	7,41	0,51	0,20	33,83	12,38

E. Anexo. Datos de 0 a 50 de los parámetros muestreados de 25 a 50 cm.

NUMERO	Código	Orden Taxonómico de Suelos	CE (Ds/m)	pH	Potasio (Cmol.Kg ⁻¹)	Sodio (Cmol.Kg ⁻¹)	Calcio (Cmol.Kg ⁻¹)	Magnesio (Cmol.Kg ⁻¹)
1	5A4170	Molisol	0,46	7,13	0,34	0,45	27,02	8,66
2	3B2150	Vertisol	0,37	6,37	0,30	0,57	18,73	12,04
3	4B1590	Inceptisol	0,81	6,75	0,19	1,44	45,82	34,68
4	4B1870	Inceptisol	0,25	6,82	0,16	0,65	40,54	22,37
5	5A4150	Inceptisol	0,55	6,90	0,11	0,39	31,70	9,52
6	5A4270	Molisol	1,20	6,98	0,30	0,21	6,30	4,21
7	3B2050	Inceptisol	0,19	6,69	0,37	1,02	29,65	22,87
8	5A3990	Molisol	0,39	6,98	0,32	2,14	45,26	16,20
9	4B1570	Inceptisol	0,75	6,35	0,14	0,51	33,02	17,76
10	3B1520	Molisol	0,33	7,76	0,36	0,95	40,36	20,61
11	3B157	Molisol	1,58	7,28	0,27	0,01	17,22	7,87
12	3B1550	Molisol	0,38	6,74	0,24	0,27	19,49	15,54
13	2D9070	Inceptisol	1,20	7,45	0,31	0,68	40,83	30,51
14	3B1540	Inceptisol	1,78	6,07	0,12	0,63	24,64	19,81
15	4A1490	Inceptisol	0,30	7,33	0,41	0,76	35,72	27,35
16	3A0270	Inceptisol	0,64	6,62	0,41	1,46	23,96	29,55
17	3A0280	Inceptisol	1,30	5,54	0,33	1,15	23,34	26,53
18	3A0840	Inceptisol	1,71	5,32	0,16	0,62	27,64	21,72
19	3A1190	Inceptisol	0,37	5,79	0,20	1,04	25,15	24,70
20	4A0530	Inceptisol	0,27	6,71	0,21	0,35	4,38	12,70
21	3A0240	Inceptisol	0,31	6,20	0,42	0,68	33,97	33,48
22	3A0250	Inceptisol	0,53	6,00	0,32	0,62	25,34	27,26
23	3A0670	Inceptisol	0,95	6,86	0,16	0,31	31,59	8,03
24	3A0190	Inceptisol	1,21	5,45	0,42	0,77	55,18	51,35
25	3A0170	Inceptisol	0,48	7,23	0,37	1,18	44,62	39,47
26	5A3770	Molisol	0,35	7,27	0,71	0,04	24,03	13,22
27	3A0550	Inceptisol	1,18	6,84	0,32	0,61	24,97	24,23
28	3A0120	Inceptisol	0,28	7,41	0,44	0,81	38,48	50,86
29	3A0490	Inceptisol	0,35	6,75	0,28	0,82	26,37	21,71
30	5A360	Vertisol	5,95	7,69	0,28	0,35	26,10	31,46
31	4A0720	Inceptisol	0,80	6,96	0,60	1,24	38,44	36,05
32	4A0710	Inceptisol	0,34	7,08	0,46	0,89	36,75	27,98
33	4A0940	Inceptisol	0,32	7,38	0,34	0,59	22,66	18,61
34	3A0040	Vertisol	0,32	7,43	0,44	0,28	48,11	18,87
35	4A0580	Inceptisol	0,48	7,39	0,72	0,51	33,94	27,80
36	2D9110	Inceptisol	1,58	7,53	0,11	0,34	34,81	10,17
37	1D366A	Vertisol	0,96	7,68	0,92	0,25	26,00	34,13
38	1D3690	Inceptisol	0,44	6,89	0,42	0,88	25,25	35,61
39	2D8990	Inceptisol	0,44	7,76	0,30	0,64	46,01	45,26
40	1D378C	Inceptisol	2,45	7,60	0,60	0,12	43,96	29,40
41	1D3560	Inceptisol	0,25	7,40	0,30	0,26	34,63	44,76
42	2D8720	Inceptisol	1,48	7,12	0,31	0,19	27,15	16,23
43	1D3610	Vertisol	0,77	6,33	0,69	0,02	30,34	10,12
44	1D3850	Inceptisol	0,55	7,18	0,44	1,06	27,31	46,30
45	1C3390	Vertisol	0,39	7,83	1,04	0,83	33,17	37,91
46	1D3630	Inceptisol	0,44	7,77	0,41	1,33	38,16	47,02
47	1D4230	Inceptisol	0,92	6,76	0,38	0,37	43,41	48,48
48	1C3350	Vertisol	0,52	7,34	0,41	0,88	38,29	35,04
49	1C3420	Inceptisol	0,83	7,55	1,01	0,43	25,75	27,01
50	1C3410	Vertisol	0,38	8,23	1,05	0,65	33,74	21,52

F. Anexo. Datos de 50 a 100 de los parámetros muestreados de 25 a 50 cm

NUMERO	Código	Orden Taxonómico de Suelos	CE (Ds/m)	pH	Potasio (Cmol.Kg ⁻¹)	Sodio (Cmol.Kg ⁻¹)	Calcio (Cmol.Kg ⁻¹)	Magnesio (Cmol.Kg ⁻¹)
51	1D4210	Inceptisol	1,24	7,65	0,45	1,26	29,25	30,99
52	1C2810	Inceptisol	0,39	7,64	0,35	0,23	47,22	59,13
53	1C2320	Molisol	0,65	7,74	0,63	0,08	34,43	50,13
54	1C2880	Inceptisol	0,64	7,65	0,28	1,95	25,25	35,77
55	1C2910	Inceptisol	1,09	7,85	0,36	1,34	25,50	59,24
56	2D7200	Inceptisol	1,20	7,00	0,24	0,33	35,36	25,68
57	1C2120	Molisol	3,34	7,85	0,54	3,67	47,75	47,04
58	2C6300	Molisol	0,84	7,49	3,54	0,53	39,01	30,05
59	1C2270	Molisol	0,11	7,02	0,45	0,36	68,80	39,54
60	2C5650	Molisol	0,53	7,69	0,15	0,43	31,82	16,79
61	2C4980	Inceptisol	6,53	7,66	0,15	0,15	21,37	13,10
62	1B1760	Inceptisol	0,63	7,79	0,60	0,46	42,44	25,83
63	2C5620	Inceptisol	0,58	7,97	0,33	0,37	30,35	37,00
64	1B1670	Molisol	1,20	8,10	0,28	0,41	49,61	30,23
65	1B190B	Inceptisol	2,22	7,98	0,24	0,31	23,32	31,03
66	1C3020	Molisol	0,38	7,12	0,66	0,15	45,10	14,86
67	2C5590	Inceptisol	0,93	7,24	0,29	1,21	46,74	30,31
68	2C5040	Inceptisol	2,68	7,48	0,23	0,03	25,84	10,27
69	1B1810	Inceptisol	0,85	7,61	0,28	0,03	40,04	20,96
70	1B1610	Inceptisol	0,35	6,65	0,33	0,21	56,86	32,35
71	2C5280	Inceptisol	0,25	7,89	0,51	0,37	43,82	41,07
72	1B189A	Inceptisol	2,09	8,00	1,64	0,34	12,25	13,37
73	1B1790	Inceptisol	2,18	8,26	0,15	0,08	11,66	30,76
74	1B1280	Inceptisol	0,25	8,12	0,39	0,21	52,03	25,83
75	2B4500	Inceptisol	4,64	7,46	0,11	0,53	28,03	10,75
76	1B110A	Vertisol	1,52	7,74	0,70	0,03	10,75	2,35
77	1B1770	Inceptisol	0,69	7,87	1,99	0,04	13,00	25,27
78	1B128A	Inceptisol	1,22	7,72	5,62	0,01	33,25	17,34
79	2B2070	Inceptisol	1,30	7,98	0,36	0,13	38,95	18,89
80	5A1050	Inceptisol	0,57	7,89	0,61	0,12	48,10	22,13
81	1B1080	Molisol	0,26	7,82	0,67	0,07	41,00	19,05
82	1B1070	Molisol	0,53	7,57	1,76	0,18	29,25	22,88
83	1B1250	Inceptisol	0,57	7,92	0,60	1,72	40,95	22,99
84	2A2450	Inceptisol	1,22	7,91	0,27	0,32	42,66	16,28
85	2A1350	Inceptisol	0,47	7,49	0,40	0,09	30,44	7,31
86	5A2410	Molisol	1,38	6,73	0,29	0,12	43,62	16,43
87	2A2050	Inceptisol	1,48	7,36	0,54	0,20	23,84	8,42
88	2A2390	Inceptisol	0,45	8,14	0,40	0,30	38,40	31,69
89	1A0770	Inceptisol	0,78	7,85	0,27	0,03	25,08	13,88
90	2A1000	Inceptisol	0,31	7,37	0,29	0,38	36,99	24,10
91	5A2040	Molisol	0,13	7,52	0,64	0,15	31,76	10,35
92	1A0650	Vertisol	0,27	7,20	0,48	0,19	36,25	43,66
93	2A0980	Inceptisol	0,78	7,05	0,43	0,18	28,05	13,38
94	5A1910	Molisol	0,48	7,48	1,91	0,24	39,98	12,98
95	2A0770	Vertisol	0,32	7,40	0,24	0,09	33,63	23,81
96	1A0010	Molisol	2,06	7,00	0,43	0,00	38,90	14,77
97	2A0780	Vertisol	1,04	8,22	0,18	0,44	34,29	23,24
98	2A0700	Vertisol	0,68	7,88	0,51	0,24	55,98	19,95
99	1A0950	Molisol	0,31	7,39	0,44	0,11	55,84	22,99
100	2A0350	Inceptisol	0,38	6,75	0,32	0,23	27,93	10,91

G. Anexo. Propiedades químicas de 0 a 25 cm estudio de suelos RUT 2004.

PERFIL	pH_2 5 1:1	pH_2 5 2:1	M.O % _25	Textura_ 25	Ca (Cmol.K g-1)	Mg (Cmol.K g-1)	Na (Cmol.K g-1)	K (Cmol.K g-1)	C.I.C (Cmol.K g-1)	C.I.C* (Cmol.K g-1)	CEs (dS/m)_2 5	PSI (NH4)	PSI (Na)
VS-35	6,42	6,68	2,48	Ar	20,55	22,4	6,69	1,03	65,9	56,76	0,65	10,10 5	11,7 8
VS-36	6,32	6,65	2,85	Ar	18,23	19,67	3,54	1	49,79	52,87	0,76	7,1	6,69
VS-37	7,98	8,19	1,82	F-Ar	18,75	15,37	1,96	0,6	35,01	36,73	0,88	5,59	5,33
VS-38	4,77	4,83	4,68	Ar	16,23	14,38	0,4	0,99	54,47	49,97	1,64	0,73	0,8
VS-39	6,24	6,54	0,46	Ar	22,95	22,38	2,33	0,71	57,77	58,95	0,4	4,03	3,95
VS-40	8,15	8,48	0,57	F-Ar	15,61	12,52	5,6	0,19	29,84	31,54	0,44	8,71	8,29
VS-41	6,36	6,71	2,16	Ar	20,41	15,5	1,34	0,41	47,43	43,53	0,25	2,82	3,07
VS-42	7,18	7,63	2,34	Ar	17,25	13,15	8,12	0,29	38,9	48,57	0,38	2,08	1,67
VS-43	6,26	6,53	2,55	Ar	24,28	7,42	0,48	0,98	63,57	74,76	0,46	0,75	0,64
VS-44	5,91	6,36	3,44	Ar	19,91	15,21	0,44	1,87	48,13	48,95	0,48	0,91	0,89
VS-45	6,59	6,87	3,91	Ar	24,25	28	0,65	0,95	51,11	62,25	0,58	1,27	1,04
VS-47	6,86	7,1	2,65	Ar	18,82	15,63	0,3	0,49	40,86	48,62	0,58	0,73	0,61
VS-48	6,35	6,58	2,36	Ar	24,28	23,85	2,89	1,13	60,03	65,9	0,31	4,81	4,38
VS-49	7,49	7,88	2,55	Ar	20,09	14,23	1,44	1,62	40,93	46,21	0,51	3,51	3,11
VS-50	7,45	7,75	2,06	Ar	20,97	21,94	0,7	0,35	9,51	47,83	0,5	1,41	1,46
VS-51	7,02	7,27	2,01	Ar	15,86	17,07	0,75	0,26	43,17	41,46	0,82	1,73	1,8
VS-52	6,68	6,99	2,33	Ar	15,57	11,42	0,37	0,39	34,59	44,33	0,44	1,06	0,83

H. Anexo. Propiedades químicas de 25 a 50 cm estudio de suelos RUT 2004.

PERFIL	pH_2 5 1:1	pH_2 5 2:1	M.O% _25	Textura_ 25	Ca Cmol.K g-1	Mg Cmol.K g-1	Na Cmol.K g-1	K Cmol.K g-1	C.I.C Cmol.K g-1	C.I.C* Cmol.K g-1	CEs (dS/m)_2 5	PSI (NH4)	PSI (Na)
VS-35	6,96	7,03	1,64	Ar	22,94	20,83	2,35	0,79	60,82	65,93	1,5	3,86	3,56
VS-36	6,52	6,51	1,24	Ar	20,97	32,25	2,01	0,5	50,79	52,53	8,52	5,72	5,53
VS-37	8,65	8,81	1,08	F-A	8,88	11,61	1,41	0,11	22,46	23,54	0,57	6,27	5,98
VS-38	4,84	4,89	2,8	F	22,11	10,79	1,43	0,3	43,45	47,57	3,2	3,29	3
VS-39	6,86	7,13	1,13	Ar	23,5	22,25	2,71	0,36	57,55	54,74	0,52	4,7	4,95
VS-40	7,55	7,88	2,12	Ar	18,38	15,63	0,55	0,55	41,7	53,71	0,48	1,31	1,02
VS-41	6,69	6,96	1,65	Ar	18,79	17,16	0,48	0,31	53,78	48,67	0,24	0,89	0,98
VS-42	8,12	8,42	0,79	F Ar	12,43	11,63	1,25	0,11	28,65	30,72	0,5	4,36	4,06
VS-43	6,97	7,04	1,95	Ar	28,93	27,11	1,51	0,48	60,25	74,3	1,57	2,5	2,03
VS-44	6,84	7,1	2,01	Ar	24,01	18,12	0,7	0,36	52,08	48,18	0,57	1,34	1,45
VS-45	7,67	7,87	1,04	Ar	23,21	17,28	2,54	0,16	52,32	48,4	2,93	4,85	5,24
VS-47	7,44	7,54	0,69	Ar	16,57	15,93	1,8	0,15	49,91	44,27	4,21	3,6	4,06
VS-48	7,44	7,52	1,94	Ar	25,35	29	2,08	0,56	68,04	56,62	0,42	3,05	3,67
VS-49	8,27	8,65	1,33	Ar	20,3	16,29	18,36	1,05	52,51	55,14	0,84	34,9 6	33,2 9
VS-50	8,21	8,38	0,44	F-Ar	15,21	11,74	0,69	0,07	26,57	29,29	0,56	2,59	2,35
VS-51	6,65	6,92	3,06	F-Ar	12,94	12,4	0,16	0,35	33,94	33,08	0,25	0,47	0,48
VS-52	6,96	7,24	0,97	F-Ar-L	13,77	11,78	0,36	0,11	30,5	40,27	0,27	1,18	0,89

I. Anexo. Datos de Calidad de Agua para tres zonas de estudio RUT.

Date	Zone	pH	EC _w dS m ⁻¹	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
				mg l ⁻¹						
sep-13	I	7.2	0.15	10.3	6.0	7.6	2.2	57.2	7.6	16.0
	II	7.2	0.40	27.2	17.7	22.8	5.3	198.1	22.9	23.8
	III	7.3	0.50	22.3	34.5	30.0	5.2	201.7	16.6	39.2
Jan 2014	I	6.5	0.09	15.1	3.4	6.8	1.6	31.7	3.8	12.3
	II	7.0	0.20	21.0	4.3	17.2	3.4	55.1	10.2	14.2
	III	7.1	0.34	39.0	6.4	27.1	2.8	111.5	13.1	27.7
jul-14	I	6.5	0.14	9.2	5.6	9.8	0.2	38.8	9.4	17.4
	II	6.4	0.20	12.9	6.9	15.0	2.0	55.9	11.3	21.6
	III	7.0	0.35	17.3	15.9	21.5	0.6	120.5	13.2	30.8

Bibliografía

- Acevedo, C., Álvarez, E., Hernández, Maldonado, R., Pérez, M y Castro, R. (2008). Variabilidad espacial de las propiedades químicas de los suelos y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana* Vol 26 p 317-324
- Anda, M., Suryani, E. & Subardja, D. (2015). Strategy to reduce fertilizer application in volcanic paddy soils: Nutrient reserves approach from parent materials. *Soil and Tillage Research*, 150, 10-20.
- Ángel, D y Menjivar J. (2010). Cambios en fracciones de fósforo en Inceptisoles y Mollisoles por aplicaciones de vinaza y/o cloruro de potasio. *Acta Agronómica*. Vol 59 (3) 2010, p 356-362.
- Araujo, M (2011), Variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la provincia de Quebec, Canadá. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2011, 28: 223-241
- Arias, E., Sadeghian, S., Mejía, B. y Morales, C.S. (2009). Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafé* 60 (3): 239-252.
- Aristizabal, A. (2009). Efecto del Ion Mg^{2+} y Ca^{2+} en las propiedades físicas de un suelo del Valle de Cauca. (Tesis Maestría). Universidad Nacional. Palmira. Colombia.
- Ayala, R. (2003). Evaluación del estado de la salinidad en el Distrito de Riego RUT año 2002. CVC. 80p.
- Ayer, R.S & Westcot, D.W (1985). Water quality for agriculture, FAO irrigation and drainage paper 29, FAO, Roma 156 p
- Benavides, A (2011). Absorción de iones por la raíz. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Recuperado: www.datateca.unad.edu.co/contenidos/.../absorcion_de_iones_en_la_raiz_mch508.pdf

- Borrero, J. S. (2005). Dinámica, disponibilidad y fijación de potasio en tres suelos alcalinos del valle del río Cauca dedicados a la producción de caña de azúcar. Tesis MSc. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 155 p.
- Bravo C., Cabrera, J., Carvallo, M., Cánchica, H., Ramírez, E., y González, I et al. (2007). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.) en una parcela experimental de los llanos centrales Venezolanos.
- Cabrera, R., Ponce de León, D., M.Sc. Cervantes, R., Vargas, H y Domínguez, D. (2015). Distribución espacial de la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para el riego. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, E-ISSN: 2071-0054, RNPS-2177, Vol. 24, No. 3.
- Cadena, M (2004). Relación del magnesio con el potasio y el calcio en la interface: suelo derivado de ceniza volcánica – raíces de plantas de café. Tesis (Doctorado). Universidad nacional de Palmira-Valle. Colombia.
- Castilla, L (2006). Biofertilización: alternativa variable para la nutrición vegetal, Capítulo 1. La biofertilización en el manejo integrado de nutrientes para la nutrición vegetal. Sociedad Colombiana del Suelo. Capítulo Tolima ecoorganicas 2009. Disponible en <http://www.ecoorganicas.com>.
- Castro, H. y Gomez, M. (2013). Rangos de niveles edáficos que correlacionan con las exigencias físico-nutricionales de diferentes cultivos comerciales. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 256-257
- Castro, H. y Gomez, M. (2010). Fertilidad de suelos y Fertilizantes. En el libro CIENCIA DEL SUELO Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 1 – 72
- Castro, H y Gomez, M. (2009), Gestión de la fertilidad de suelos: diagnóstico, interpretación y recomendación de nutrientes en la fertilización de cultivos. Diplomado en fertilidad de suelos y fertilizantes. Ingeplant. Bogotá. 61 p.
- Cavaza, I., Petruno, A., y Cirillo, E. (2002). Soil traits and structure stability in artificially sodicated soils. Ital. J. Agron., 6, 1, pp: 15-25.

- CVC. (2004). Evaluación del estado de salinidad en el distrito de riego R.U.T. Santiago de Cali-Colombia. p.80.
- Cuero, R (2011). Hacia un sistema complementario de producción mas limpia en suelos degradados por salinidad. *Ambiente y Sostenibilidad* 2012 (2): 59-68.
- Diaz. M. C. (2006). Efecto del encalamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo. Tesis: Ingeniera Agrónoma. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Dorronsoro, C. (2009). Edafología, Génesis de suelos. Univ. Granada - España. *Ecuatoriales*. 28:104-112. <http://edafologia.ugr.es/carbonat/index.htm>
- Echeverri, A., Perez, C., Angulo, P y Urrutia, N (2016). A methodological approach for assessing soil salinity hazard in irrigated áreas case study: the R.U.T Irrigation district, Colombia. *Revista Ingenierías universidad de Medellín*.
- Emamgolizadeh, S., Bateni, S.M., Shahsavani, D., Ashrafi, T. & Ghorbani, H. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *J. Hydrol.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.025>.
- Estrada, E. (2001). Disponibilidad de calcio, magnesio y azufre, su análisis en suelos y plantas y su interpretación. Bogotá. In: Silva M., F. Ed. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. p 85–104.
- FAO. (2013). *FAO Statistical Yearbook: World Food and Agriculture*. [en línea]. En:<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>. Citado el 13 de septiembre de 2013.
- FAO. (1985). *Water quality for agricultura. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER NO 29*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Recurso electrónico: <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>. Accesado en Enero de 2009.
- García, A (2013). Causa de la degradación de recursos naturales .Desertificación. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*. Santafé de Bogotá. P.319-320

- García, A (2012). Criterios modernos para la clasificación de aguas de riego. Recuperado http://C:/Users/Saya/Desktop/TESIS_CJL_FINAL/Articulo/Revision%20literatura%20sales/Calidad%20de%20aguas%20segun%20Garcia%202012.pdf
- García, A. (2002). Estudios básicos sobre los suelos afectados por una alta concentración de de Magnesio intercambiable en el valle del rio Cauca. Tomos I, II y III. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.
- García, A (2002). Manejo de suelos con acumulación de sales. VIII congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. 21 pag.
- García, G., Carvajal, Y & JIMÉNEZ, H. (2011). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático”, Revista Ingeniería y Competitividad, ISSN-0123-3033, 9(1): 19–29,
- Garzón, A., Cortés, A y Camacho, H (2010). Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de un entisol. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 13 (1): 87-95
- Gasca, C., Menjivar, j., y Torrente, T. (2011). Cambio en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), y la adsorción de sodio (RAS), de un suelo y su influencia en la biomasa microbiana. Acta Agronómica. Vol (60), 27-38.
- Hernandez,R., Gonzalez, M y Adel, E (2010). Influencia de enmiendas químicas en la recuperación de suelos salinos y sódicos del bosque seco tropical colombiano. Acta Agronomica. Vol 45, Mun 1 (1995), 61-70 2323-0118 0120-2812.
- Hirzel, C. J. (2008). Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. 296 P. Colección libros INIA # 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigacion Quilamapu. Chillan, Chile
- Hussain, Z., Khattak, RA., Irshad, M y Eneji, AE (2013). Efecto de mejora de sulfato de potasio en el crecimiento y la composición química de trigo (*Triticum aestivum* L.) en suelos afectados por salinidad. J. Soil Sci. Planta Nutr. [En línea]. 2013, vol.13, n.2, pp. 401-415. Epub 22-Mayo-2013. ISSN 0718 hasta 9516.
- IGAC (2006). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. República de Colombia. Santa fé de Bogotá D.E. 499p.
- IGAC- CVC. (2004). Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Valle del Cauca. Bogotá D.C. Colombia. 775 p.

- IGAC, IDEAM, MAVDT. (2010). Protocolo para la Identificación y Evaluación de los Procesos de Degradación de Suelos y Tierras por Salinización. Bogotá D.C. 323 p.
- Jalali, M. and Ranjbar, F. (2009). Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153: 194-204.
- Lamz, A y González C (2013). La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 4, p. 31-42
- Lince, A., Rodríguez, N y Sadeghian S. (2015). Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental – Volumen 6 Número 1*
- Lora, R (2013). propiedades químicas del suelo. Fertilidad de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. P.127.
- Lora, R (2013). propiedades químicas del suelo. Fertilidad de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. P.97.
- Madero, E., Malagón, D., y García, A. (2004). Una Mirada al origen y las propiedades de los suelos magnésicos en el Valle del Cauca-Colombia. *Rev. Acta Agronómica*. (53) 3-4.pp1-22.
- Madero, E., Ramírez, J., Alzate, Á., Escobar, B., García, L y Peña M. (2011). Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca. Parte I. *Acta Agronomica*. 60 (3) 2011, p 245-252
- Mahmoud, E., and Ibrahim, M. (2012). Effect of vermicompost and its mixtures with water treatment residual on soil chemical properties and barley growth. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 12:431-440.
- Malavolata, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. 638 p.
- Melo, V.D.F. & Alleoni, L.R.F. (2009). Química e mineralogia do solo. Parte I, Viçosa-MG, 529.
- Mendoza, A. (2013). Riego por goteo. http://www.academia.edu/7433003/Riego_por_goteo
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ª edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.

- Microfertifza S.A. (2012). Manual técnico de fertilización de cultivos. Digiprint Editores E.U. Bogotá. Colombia. 36p
- Mogollón, J. (2014). Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón. Trabajo de Grado para optar al título de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad Yacambú. Barquisimeto, Lara. 146 Pp.
- Mogollón, J. Torres, D. y Martínez, A. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22:217-222.
- Muños, D., Ferreira, M., Escalante, I., López, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra*. 31:201-210.
- Narváez, M., Sánchez de prager, M y Menjivar, J. (2010). Cambios en las Propiedades Químicas y en la Actividad de las Fosfatasas en Suelos Cultivados con Maíz Dulce (*Zea mays* L.) Fertilizados con Vinaza. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín* Vol 63(2):5533-5541.
- Novo, N.P y Garrido, C.A (2011). Agua, agricultura y desarrollo: avances y retos para la reducción de la pobreza”, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, ISSN-1575-1198, 3(230): 11–38,
- Oliver M A, Webster R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena* Vol 133: 56-69. Disponible en: www.Elsevier.com/locate/catena
- Olivera, E. L y Parra, S. (2003). Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio ne capacidade de troca de cátions de latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:859–866.
- Puerto, O., Mejia de Tafur, S., Menjibar, J. (2014). Influencia del potasio en el cultivo de la Vis (*Vitis labrusca*) cV. Isabella. *Informador Técnico (Colombia)* 78 (2): 148-154.
- Ramírez, J. (2011). Evaluación General de la salinidad y modelación de los riegos de salinización en los suelos del Valle del Cauca.(Tesis Maestría). Universidad Nacional. Palmira Valle del Cauca. Colombia.

- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendís, H. y Zamora, F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado falcón. *Rev. Fac. Argon. Luz* 26(3):340-361.
- Sánchez, L (2016). Distribución espacial de las propiedades hidrodinámicas de los suelos del Distrito de Riego RUT. Tesis (Maestría).Universidad Nacional. Palmira. Colombia.
- Sánchez (2013). Manejo de agua Bicarbonatada sódica para caña de azúcar en suelos mal drenados. Valle del cauca. Tesis (Maestría). Universidad nacional sede Palmira. Colombia.
- Sadeghian, S. (2014). Manejo integrado de nutrientes para una caficultura sostenible. *Suelos Ecuatoriales* 44(2): 74-89.
- Sadeghian, S .(2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Tesis(Doctorado).Universidad Nacional. Medellín Antioquia Colombia.
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. SCCS. (2013). Estándares generales para interpretar análisis de suelos con fines agrícolas. F. Silva M. Editor, Santafé de Bogota, D. E. 257 p.
- Sueiras, J.C & Paz, J.M. (2011). "Productividad, disposición al pago y eficiencia técnica en el uso del agua: la horticultura intensiva de la Región de Murcia", *Economía Agraria y Recursos Naturales (Agricultural and Resource Economics)*, ISSN-2174-7350, 7(14): 109–125.
- Torrente, A., García, A., Escobar Ch., Amézquita, C., Sampayo, J. (2003). Condiciones hidrofísicas de suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* Vol. 52 (1-4) 2003, PÁG. 29-37
- Torres, D., Mogollón, J., Lázaro, Y., González, M., López, M., y Yendís, H. (2015). Uso de acondicionadores orgánicos y biopolímeros para bioremediación de suelos salinos-sódicos de la llanura de Coro, Venezuela. *Rev. Unell. Cienc. Tec.* 33: 36-45. 2015

- Torres, Chinchilla, (2006). Manual de interpretación de análisis de suelos y foliares para la nutrición de limón, aguacate, cocotero y marañón. Programa nacional de frutas del Salvador MAG-FRUTALES-ES. 1º ed 71 p.
- Torres, P., J. Aular., M. Rengel., J. Montaña., y Y. Rodríguez. (2009). Correlación entre la calidad de la fruta del naranjo y los micronutrientes considerando el balance de los nutrientes a través de relaciones binarias. Revista UDO Agrícola. 9(1): 29-34.
- Urrutia, N. (2011). Impacto ola invernal 2010-2011. Distrito de Riego RUT. Evento internacional AGUA 2011: Ecosistemas y sociedad. Cali, Colombia. 32 p.
- Vásquez, J (2009). Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en los suelos de la granja experimental de la universidad del Magdalena. Tesis (austria). Unal Palmira. Colombia.
- Vásquez, R., Baena, D y Menjivar, J (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). Acta Agronomica. 59 (4) 2010, p 449-456
- Zhang, X. C.; Norton, L. D. (2002). Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. Journal of Hydrology 260: 194-205p.
- Zúñiga, O.; Osorio, J.C.; Cuero, R.; Peña, J.A. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos Degradados por Salinidad. Rev.Fac.Nal.Agr.Vol (64) 5769-5779.