



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Comportamiento del potasio en un vertisol de la zona
plana del Valle del Cauca y su relación con el
rendimiento y la calidad de la vid**

Oswaldo Puerto Guerrero

**Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Posgrados
Universidad Nacional de Colombia
Sede Palmira**

2013

Comportamiento del potasio en un vertisol de la zona plana
del valle del cauca y su relación con el rendimiento
y la calidad de la vid

Oswaldo Puerto Guerrero

**Tesis de Grado como requisito para obtener el título de Magister en
Ciencias Agrarias línea de investigación en Suelos**

Director Juan Carlos Menjivar M. Sc., Ph.D.

Codirectora: María Sara Mejía de Tafur M. Sc.

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

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN SUELOS

En Palmira a los 14 días del mes de Noviembre de 2013, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por las profesoras Carmen Rosa Bonilla, y Ana Teresa Mosquera

Para calificar la Tesis de Grado de:

OSWALDO PUERTO GUERRERO

Titulada:

"COMPORTAMIENTO DEL POTASIO EN UN VERTISOL DE LA ZONA PLANA DEL VALLE DEL CAUCA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA VID." bajo la dirección de Juan Carlos Menjivar Flores, PhD y María Sara Mejía de Tafur, MSc.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por las investigadoras Carmen Rosa Bonilla y Ana Teresa Mosquera, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA


CARMEN ROSA BONILLA


ANA TERESA MOSQUERA

“La Facultad y los jurados de la tesis
no se harán responsables de las
ideas emitidas por el autor”

Artículo 24, Resolución 04 de 1974.

Dedicatoria

A Ana Milena, mi esposa por creer en mí, cuando yo no creía en mí y habérsela jugado por mí para siempre.

Agradecimientos

En cada tramo de este camino encontré personas que desinteresadamente y de corazón contribuyeron con su tiempo, sus sabios consejos, sus palabras de ánimo y sus exigencias a que este logro se hiciera realidad. A todos ellos muchas gracias.

A Dios por haber puesto en mi camino a todas estas personas y circunstancias que me permitieron culminar este trabajo.

A mi hija Pamela, mi madre Teresa, mi padre Fernando (q.e.d.p.) porque con su amor me brindaron una razón para seguir adelante y no permitirme desfallecer en los momentos difíciles.

Al Doctor Juan Carlos Menjivar Flores porque sin su empeño y exigencia no hubiera sido posible terminar con éxito este proceso, muchas gracias.

A la Doctora María Sara Mejía de Tafur por su comprensión y paciente dirección.

Al Doctor Oscar Varela por haberme dado la oportunidad de realizar la investigación en los predios de la Hacienda Yundecito

A las Doctoras Ana Teresa Mosquera y Carmen Rosa Bonilla por sus oportunas e importantes correcciones.

A los Doctores Alvaro García Ocampo y Julio Cesar Toro por sus enseñanzas y la confianza que han tenido en mis posibilidades.

A Marzory Andrade, Sandra Pulido, Tania Durán, Andrés Mauricio Martínez, Andrés Fajardo, Gregorio Salcedo, Karen por sus aportes en los momentos que más los necesitaba

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en la culminación de este trabajo.

Resumen

Para conocer el comportamiento del K^+ en un vertisol de la zona plana del Valle del Cauca plantado con vid que presenta limitaciones para su disponibilidad por baja conductividad hidráulica $0,65 \text{ cm.hora}^{-1}$, presencia de arcillas 2:1 y el aporte del agua de riego de Mg^{+2} en mayor proporción que el Ca^{+2} y K^+ , se procedió a evaluar su respuesta a diferentes dosis de sulfato de potasio (K_2SO_4), aplicadas al suelo, sobre el contenido de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+ y las relaciones Ca/K , Mg/K , $Ca+Mg/K$ y Ca/Mg solubles e intercambiables en el suelo y los presentes en el tejido foliar de la vid, también en el rendimiento y calidad de la uva Isabella (*Vitis labrusca*) durante un ciclo de producción.

El diseño utilizado fue BCA con 3 repeticiones y 4 tratamientos: 0, 100, 150 y 225 gr.planta^{-1} de K_2SO_4 , prueba de Duncan para comparar las medias, análisis gráfico y correlación entre las variables. Previamente se hicieron análisis de mineralogía de arcillas, fisicoquímicos del suelo y del agua de riego proveniente del río Bolo y durante el proceso se monitoreó el K^+ en floración y envero de la uva Isabella.

Se encontró que la adición de K_2SO_4 en dosis entre 100 y 225 gr/planta mejora la disponibilidad absoluta de K^+ y relativa respecto a Ca^{+2} y Mg^{+2} en el suelo, generando que en el tejido foliar también el K^+ aumente su presencia respecto a Ca^{+2} y Mg^{+2} y el rendimiento manifieste una marcada tendencia a incrementarse a pesar de prevalecer la deficiencia de K^+ en época de floración.

Palabras clave: Potasio, Vid, Vertisoles, Valle del Cauca, Producción de uva.

Abstract

To understand the behavior of K^+ in vertisol flat Cauca Valley area planted with vines which has limitations for its availability for low hydraulic conductivity $0.65 \text{ cm.hora}^{-1}$, the presence of 2:1 clays and water supply irrigation of Mg^{+2} in greater proportion than the Ca^{+2} and K^+ , we proceeded to assess their response to different doses of potassium sulphate (K_2SO_4), applied to the soil, the content of Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^+ and Ca/K , Mg/K , $Ca+Mg/K$ and Ca/Mg soluble and exchangeable soil and present in the leaf tissue of the vine, also on the yield and quality of the Isabella grape Mg ratios (*Vitis labrusca*) during a production cycle.

BCA design was used with 3 replications and 4 treatments: 0, 100, 150 and 225 gr.plant^{-1} K_2SO_4 , Duncan test to compare means, graphical analysis and correlation among variables. Earlier analysis of clay mineralogy, physicochemical soil and irrigation water from the river and Bolo. Were during the K^+ was monitored flowering and ripening of the grape Isabella

It was found that the addition of K_2SO_4 in doses between 100 and 225 gr/plant improves availability of K^+ absolute and relative regarding Mg^{+2} and Ca^{+2} into the soil, creating the leaf tissue in the K^+ also increase its presence respect Ca^{+2} and Mg^{+2} and performance revealed a marked tendency to increase in spite of prevailing K^+ deficiency in flowering time.

Keywords: Potassium, Vid, Vertisols, Valle del Cauca, Isabella grape.

Contenido

1. Introducción	1
2. Revisión de Literatura	5
2.1 . El potasio en los suelos	5
2.2. El potasio en la vid	6
2.3 Suelos de la zona plana del Valle del Cauca	10
2.4 La vid en suelos del Valle del Cauca:.....	11
2.5 Ciclo de producción de la Vid en el Valle del Cauca	12
3. 3. Materiales y Métodos.....	15
3.1 Localización	16
3.2 Caracterización del suelo	16
3.3 Diseño del experimento	17
3.4 Conducción del experimento	18
3.5 Variables de Respuesta y Técnicas de Laboratorio para su determinación.....	19
4. . Resultados y Discusión	21
4.1 Análisis previos: caracterización del suelo y el agua en relación con la disponibilidad del k^+	21
4.1.1 Mineralogía de las arcillas y su influencia en la disponibilidad de K.....	21
4.1.3 Caracterización del agua utilizada en el riego y su influencia en la disponibilidad de K^+	27
4.2 Resultados experimentales: efecto de dosis de sulfato de potasio (k_2so_4) aplicadas al suelo.	29
4.2.1 Respuesta del K soluble del suelo y su relación con Ca y Mg a la aplicación de K_2SO_4	30
4.2.2 Respuesta del K intercambiable del suelo y su relación con Ca y Mg a la aplicación de K_2SO_4	34
4.2.3 Respuesta del K presente en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca y Mg a la aplicación al suelo de K_2SO_4	37
4.2.4 . Monitoreo por épocas del K^+ , Ca y Mg en el tejido foliar de la vid.....	39
4.2.5 . Respuesta del rendimiento y calidad de la uva Isabella a las dosis de K_2SO_4	42
4.2.6 . Análisis de Correlaciones entre las variables estudiadas:	44
5. Conclusiones	45
Anexos	47

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Respuesta del K^+ soluble (1a.) y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (1b.), a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.	31
Figura 2. Respuesta del K^+ intercambiable (2a.) y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (2b.) a las dosis de K_2SO_4	35
Figura 3. Respuesta del K^+ (3a.) en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (3b.) a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.	38
Figura 4. Respuesta del Rendimiento de uva Isabella (4a.) y Número de racimos por planta (4b.), a diferentes dosis de K_2SO_4	42

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Categorías y rangos de K ⁺ intercambiable según textura del suelo Rango (Cmol/kg) (Sierra, 2001).	6
Tabla 2. Fertilización potásica incrementa el rendimiento (Palma 2003).....	7
Tabla 3. Contenido de K ⁺ en peciolos y efecto sobre el rendimiento (Palma 2003).	7
Tabla 4. Mecanismos de absorción de nutrientes por las plantas. (Malavolta 1997).	8
Tabla 5. Extracción de macronutrientes en vid. (Hirzel, 2008).	9
Tabla 6. Eficiencia de absorción de nutrientes según el tipo de riego. (Palma 2003).	9
Tabla 7. Descripción de tratamientos empleados en la investigación.	18
Tabla 8.. Mineralogía de arcillas finca Yundecito lote 7 (IGAC, 2009)	22
Tabla 9. Análisis de suelos comparativo de Ca, Mg y K y sus relaciones en la muestra previa al ensayo.....	26
Tabla 10. Resultado de análisis de aguas rio Bolo época seca. (Providencia 2009)	27
Tabla 11. Aporte de Ca, Mg y K del agua de riego al suelo del ensayo durante el ciclo de producción de la vid.....	28
Tabla 12. Comparación de las proporciones entre Ca:Mg:K en el agua y el suelo.	29
Tabla 13. Respuesta del K soluble y sus relaciones con Ca y Mg a las dosis de K ₂ SO ₄ aplicadas al suelo	32
Tabla 14. Comparación de relaciones entre Ca, Mg y K solubles vs parámetros establecidos.	32
Tabla 15. Análisis comparativo de Ca, Mg y K presentes en las fases soluble e intercambiable del suelo durante el ensayo.....	34
Tabla 16. Respuesta del K ⁺ intercambiable y sus relaciones con Ca ⁺² y Mg ⁺² a las dosis de K ₂ SO ₄ aplicadas al suelo.	36
Tabla 17. Comparación de las relaciones entre Ca, Mg y K intercambiables del suelo vs parámetros establecidos.....	37

Tabla 18. Respuesta del K presente en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca y Mg a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.	39
Tabla 19. Análisis comparativo de los contenidos de Ca, Mg y K y sus relaciones en el tejido foliar de la vid en Floración y envero vs la tabla de Hirzel (2008).	41
Tabla 20. Respuesta del Rendimiento y Calidad de uva Isabella, a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.....	43

Lista de Anexos

	Pag
Anexo A: Análisis de suelos lote 7 hacienda Yundecito	48
Anexo B: Concentraciones suficientes de macro y microelementos en tejidos en vid	49
Anexo C: Análisis foliar de <i>Vitis labrusca</i> en lote 7 hacienda Yundecito	50
Anexo D Norma técnica colombiana para Uva Isabella ntc 5321	51
Anexo E Característica químicas del suelo adecuadas para un huerto de uva mesa	52
Anexo F ANOVA – Variable Calcio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	54
Anexo G ANOVA - Variable Magnesio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	54
Anexo H ANOVA - Variable Potasio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	55
Anexo I ANOVA - Variable Ca+Mg/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	55
Anexo J ANOVA - Variable Ca/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	56
Anexo K ANOVA - Variable Mg/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	56
Anexo L ANOVA - Variable Ca/Mg intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	57
Anexo M ANOVA - Variable Magnesio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	57
Anexo N ANOVA - Variable Calcio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	58
Anexo Ñ ANOVA - Variable Potasio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	58
Anexo O ANOVA - Variable Ca+Mg/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	59

Anexo P	ANOVA - Variable Ca/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	59
Anexo Q	ANOVA – Variable Mg/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	60
Anexo R	ANOVA - Variable Ca/Mg soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4	60
Anexo S	ANOVA - Variable Magnesio en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	61
Anexo T	ANOVA - Variable Calcio en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	61
Anexo U	ANOVA - Variable Potasio en tejido foliar de vid con aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	62
Anexo V	ANOVA - Variable Ca+Mg/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	62
Anexo W	ANOVA - Variable Ca/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	63
Anexo X	ANOVA - Variable Mg/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	63
Anexo Y	ANOVA - Variable Ca/Mg en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4	64
Anexo Z	ANOVA -Variable Número de racimos de uva Isabella con la aplicación al suelo de K_2SO_4	64
Anexo AA	ANOVA - Variable Peso por racimo de uva Isabella con aplicación al suelo de K_2SO_4	65
Anexo AB	ANOVA - Variable Rendimiento de uva Isabella con la aplicación al suelo de K_2SO_4	65
Anexo AC	ANOVA - Variable Longitud de racimo de uva Isabella con la aplicación al suelo de K_2SO_4	66

Introducción

La producción de uvas en el mundo desde la década de los 90 se ha venido desplazando de las áreas consideradas óptimas en las zonas de estaciones, por encima del paralelo 30 norte o por debajo del paralelo 30 sur, hacia zonas más cercanas al trópico como el norte de Brasil en el Valle de Sanfrancisco o en Piura al norte de Perú a 9 grados de latitud sur. La tecnología ha ido avanzando y encontrando soluciones a los retos planteados por los factores climáticos y edafológicos que son adversos a la viticultura logrando producciones competitivas, (Salgado 2008).

Perú con 11.480 hectáreas ha tomado la delantera de los países tropicales en Latinoamérica y en la actualidad exporta uvas a Estados Unidos y recientemente a China, aprovechando la condición tropical que le permite obtener cosechas durante todo el año y por tanto llegar a los mercados del hemisferio norte en épocas de desabastecimiento que no pueden cubrir Chile y Sudafrica, (Fao, 2007).

En Colombia a 3 grados de latitud norte en el Valle del Cauca se practica la viticultura en la producción de uvas de mesa y de uva Isabella, desde hace más de 60 años, aprovechando que la condición de clima permite cosechar cualquier día del año y es posible lograr 2 cosechas por año. Se calcula que en el Valle del Cauca hay 3.855 familias de viticultores de los cuales el 92% vive en la finca y en promedio cada viticultor tiene 739 plantas, lo cual da una idea clara sobre la tenencia de la tierra y la distribución del ingreso en este subsector de la fruticultura. Cabe destacar que esta actividad genera 500 jornales por hectárea

al año, en contraste con 82 de la caña de azúcar lo que causa un impacto social alto en las áreas donde se cultiva, (Galindo et al., 1996).

Los suelos de la zona plana del valle geográfico del río Cauca presentan características que causan detrimento en la disponibilidad de potasio para los cultivos, entre ellas un marcado desbalance de nutrientes, especialmente en las bases intercambiables y presencia de arcillas expandibles tipo 2:1 altamente fijadoras de K^+ . Esta zona ocupa dentro de los departamentos del Valle y Cauca unas 440.000 ha que en una proporción alta son dedicadas al uso intensivo agrícola con especies que generalmente utilizan materiales mejorados de alto rendimiento que requieren adecuado manejo de la fertilización siendo el potasio uno de los nutrimentos de mayor consumo, (Bueno 1994).

Se destacan 28.192 ha sembradas en frutales en el Valle del Cauca, cultivos ávidos de nutrientes especialmente K^+ . El cultivo de la vid es uno de los frutales particularmente sensible a la deficiencia de este elemento, sin embargo, se encuentran 1.538 ha de vid (MADR *et al.*, 2006) en estos suelos de la zona plana con deficiencias en el K^+ aprovechable lo que se refleja en los bajos contenidos foliares, en la baja productividad y calidad de las cosechas. Es importante identificar el efecto que están teniendo las aplicaciones de K^+ en estos suelos, si son suficientes las dosis aplicadas, como influyen en la presencia de K^+ en el suelo, en el tejido foliar de la vid y si realmente contribuyen a mejorar tanto el rendimiento como la calidad de la uva.

El Objetivo General es Evaluar el comportamiento del potasio en un vertisol de la zona plana del valle del Cauca y su relación con el rendimiento y calidad de la vid. Como Objetivos Específicos se plantearon:

- 1- Determinar la influencia de tres dosis de K_2SO_4 en el K^+ y sus relaciones con Ca y Mg en las fases soluble e intercambiable del suelo.
- 2- Determinar la influencia de tres dosis de K_2SO_4 en el K^+ y las relaciones con Ca y Mg en el tejido foliar, de ***Vitis labrusca*** c.v. Isabella.
- 3- Analizar la influencia de tres dosis de K_2SO_4 en el Rendimiento y Calidad de la uva Isabella.
- 4- Monitorear en floración y envero el contenido de K^+ y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} en el tejido foliar de la vid,

Correlacionar los contenidos de K^+ , sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} en el suelo y en el tejido foliar con el rendimiento y calidad de la uva Isabella.

Revisión de Literatura

1.1 . El potasio en los suelos

El potasio es uno de los nutrimentos más importantes para las plantas y ha sido estudiado extensivamente pero a pesar de los esfuerzos, los fundamentos de los fenómenos químicos y físicos que gobiernan su fijación en los suelos aún no se han caracterizado completamente (Potash and phosphate institute, 1980). Los análisis de K^+ , por ejemplo, muchas veces fallan en estimar la verdadera demanda de K^+ en el campo, resultando recomendaciones ineficientes Según el estudio de Chirinos et al (2003) en suelos del estado de Portuguesa en Venezuela, la fijación de K^+ resulta mayor en los suelos con más arcilla y entre estas las responsables del fenómeno son probablemente las vermiculitas, illitas y los interestratificados micas – vermiculitas y vermiculitas – montmorillonitas.

En estudios realizados en el Valle del Cauca se concluye que el contenido, tipo de arcilla y en algún grado la M.O. y la alcalinidad en estos suelos, son los factores que influye en el contenido de K^+ intercambiable, de modo que a mayor cantidad de arcilla y M.O. mayor concentración de K^+ intercambiable. La alcalinidad puede estar actuando como moderador de la disponibilidad. En suelos con predominio del ión Mg^{+2} y Ca^{+2} la humedad del suelo determina la composición y la concentración de la solución del suelo haciéndola más concentrada cuando el suelo se seca alcanzando concentraciones más altas que su producto de solubilidad que ocasionan la precipitación de carbonatos y sulfatos que limitan la disponibilidad de K^+ para las plantas (Borrero, 2005).

En terrenos cálcicos el Ca^{+2} compete 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/ K y aumentando con ello fijación de K^+ y la neoformación de arcillas micaceas. En esto, la compactación de los suelos ayuda porque reduce la lixiviación de K^+ (Borrero, 2005). La textura del suelo tiene una influencia importante en la disponibilidad de K^+ como lo resume Sierra, en la tabla 1.

Tabla 1. Categorías y rangos de K^+ intercambiable según textura del suelo Rango (Cmol/kg) (Sierra, 2001).

Textura media	Textura arcillosa	Textura arenosa	Categoría
Menor a 0,15	Menor a 0,30	Menor a 0,1	Muy bajo
0,16 a 0,45	0,31 a 1,1	0,11 a 0,30	Bajo
0,46 a 0,90	1,2 a 1,5	0,31 a 0,50	Normal
0,91 a 1,55	1,6 a 2,5	0,51 a 0,8	Alto
Mayor a 1,56	Mayor a 2,6	Mayor a 0,8	Muy alto

2.2. El potasio en la vid

El K^+ favorece especialmente la acumulación de azúcares en las uvas, las cuales producen mayor cantidad de pulpa de consistencia firme y más gustosa, favorece la resistencia a la sequía, la síntesis de proteína y carbohidratos y controla la translocación de los mismos; le da resistencia a la planta contra algunas enfermedades y contrarresta los efectos tóxicos del Na^+ y los cloruros. La vid consume gran cantidad de K^+ y llega a absorber entre 2 y 3 Kg/ ha al día, dependiendo de la época del año. La planta absorbe al menos el 60% del potasio entre la brotación y la floración. Los requerimientos de potasio son muy elevados durante la formación y llenado de los frutos, por lo que estos se quedan pequeños como manifestación de su deficiencia (García,1996).

En las vides sus órganos perennes actúan como reservorios importantes de elementos minerales. Las hojas y en algún caso la madera de poda, pueden ser

reintegradas al suelo y suponen ambas alrededor de 90% del crecimiento anual. La proporción de elementos minerales en el racimo es muy baja por lo que la exportación de dichos elementos fuera del viñedo es muy pequeña (Martínez, 1991). En las parras de vid el análisis foliar puede ser realizado en dos momentos: en plena floración, para evaluar principalmente nutrición nitrogenada, en Ca^{+2} y de micro nutrientes; y en envero (comienzo de pinta) para evaluar principalmente la nutrición de Mg^{+2} y K^{+} , y la del resto de los nutrientes. Junto con estos datos y la magnitud de la cosecha se puede planificar la fertilización poscosecha para aumentar el contenido de reservas para la próxima temporada (Cadea, 2007)

Según ensayos hechos en Chile por Palma (2003) el contenido de K^{+} incrementa el rendimiento al aumentar su suministro a la planta (dosis mayores de fertilización), debido a un mayor contenido de este en las hojas, ya que existe una correlación directa entre su contenido de K^{+} en los peciolo de hojas y su rendimiento así se puede establecer en el siguiente ensayo (Tabla 2).

Tabla 2. Fertilización potásica incrementa el rendimiento (Palma 2003).

Dosis de K_2O unidades / ha	Producción de vid (Kg/planta)	Efecto relativo del K^{+} sobre el rendimiento
0	23,8	100
300	35,7	150
600	45,2	190

Pero además dice el mismo autor “hay una correlación entre el contenido de K^{+} en el peciolo (hojas) y el rendimiento de vid como lo demuestra la tabla 3.

Tabla 3. Contenido de K^{+} en peciolo y efecto sobre el rendimiento (Palma 2003).

Contenido de K en peciolo (%MS)	Rendimiento (ton/ha)	Efecto relativo del K^{+} sobre el rendimiento
1,53	4,48	100
1,93	7,39	165
2,53	12,32	275

Para lograr un adecuado nivel de nutrientes en la planta se requiere de un sistema radical adecuado que le permita absorber los elementos entre ellos el K^+ , es reconocida la importancia de una raíz bien desarrollada en la vid para lograr producciones competitivas como lo reconoce (Puerto et al., 2001) que indica que las características físicas del suelo determinan la aptitud de un terreno para vid, los suelos ideales deben ser francos, tener buen drenaje; esta condición óptima muy pocas veces se encuentra en los suelos de la zona plana del valle del Cauca y menos en los Vertisoles por lo que se deben usar todas las técnicas disponibles para mejorar la condición del suelo y conocer las limitaciones que su propia situación le plantea y así diseñar los planes de manejo del suelo y fertilización del viñedo.

Malavolta, (1997) determina los mecanismos de absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas (tabla 4) encontrando que para el K^+ que el 72% se realiza por difusión y el 25% por flujo masal.

Tabla 4. Mecanismos de absorción de nutrientes por las plantas. (Malavolta 1997).

Nutriente	Flujo masal	Difusión	Intercepción radicular
N	99	0	1
P	4	94	2
K	25	72	3
Ca	73	0	27
Mg	87	0	13
S	95	0	5

Se ha constatado que el sistema radical de las vides adultas se desarrolla en las capas más fértiles y asequibles del suelo (20 a 50 cm), la densidad radical expresada en número o peso de raíces por unidad de volumen de suelo, disminuye con la distancia en relación al eje de la cepa. La extensión lateral del sistema radical está limitada por la competencia de las plantas vecinas (Reinier, 2005). En trabajos realizados en Chile con INIA se reporta en la tabla 5 la extracción de nutrientes en vides.

Tabla 5. Extracción de macronutrientes en vid. (Hirzel, 2008).

Estado fenológico	Extracción de macronutrientes por estado fenológico (% del total)		
	K ₂ O	CaO	MgO
Brotación – Floración	27	25	21
Flor – Baya alverja	23	23	17
Baya alverja – Pinta	26	23	26
Pinta – Cosecha	9	7	13
Poscosecha	15	22	23
TOTAL	100	100	100

Si se dispone de un buen sistema radical y se le aporta humedad y nutrición óptimas, el sistema radical enviará señales compuestas de citoquininas (CK), lo que permitirá sustentar un alto nivel de carga con fruta de buen calibre, firmeza y adecuados aportes de solutos nutrientes y racimos con bayas muy firmes (Ruiz, 2007).

En cuanto a la evolución del sistema radical a lo largo de la vida del viñedo se puede fijar que, en general, hay un periodo inicial de extensión o colonización del volumen del suelo disponible entre 7 y 10 años, un segundo periodo de exploración del suelo colonizado entre 10 y 40 años (Martinez, 1991). El tipo de riego también condiciona la absorción de K⁺ por la vid, ensayos hechos en viñedos en Chile se encontraron los resultados de la tabla 6.

Tabla 6. Eficiencia de absorción de nutrientes según el tipo de riego. (Palma 2003).

Eficiencia de absorción de nutrientes según tipo de riego	Unidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Surco (Tradicional)	%	40 – 60	10 – 20	60 -75
Aspersión	%	60 -70	15 – 25	70 – 80
Goteo	%	75 – 85	25 – 35	80 – 90

Una vez realizadas las correcciones fisicoquímicas necesarias en el suelo en el que se ha establecido una plantación, se podrá considerar que se ha alcanzado una condición de crecimiento y desarrollo que no presente limitaciones

nutricionales al huerto frutal o viñedo (ausencia de respuesta a la fertilización). No obstante, para conservar y generar sustentabilidad en los recursos productivos, será necesario realizar anualmente la reposición de los nutrientes extraídos (Hirzel (2008), por tanto se debe conocer la extracción anual de nutrientes en cada especie frutal o vides y para ello se dispone de bastante información científica que permite orientar la magnitud de estas necesidades en función del rendimiento que alcance cada huerto o viñedo.

De acuerdo con Palma (2006) la extracción total de K^+ en uva de mesa es de 4,8 kg/ tonelada (2,5 kg en frutos + 1,2kg en brotes temporada + 1,1kg en hojas) y para una producción de 25 toneladas/ha será de 120 kg de K^+ que corresponden a 5,7 kg/ ton de K_2O y 143 kg/ha de K_2O . Este total suma el K^+

2.3 Suelos de la zona plana del Valle del Cauca

En general los materiales parentales sobre los que se han desarrollado los suelos de la zona cálida de los valles interandinos en Colombia corresponden a sedimentos profundos y no consolidados compuestos por mezclas heterogéneas de cascajos, gravillas, arenas, limos arcillas y cenizas volcánicas. En los climas secos de la zona cálida del Valle del Cauca la precipitación es baja, la evapotranspiración es alta, la incorporación de material orgánico en el suelo es poca y la meteorización leve hay más presencia de minerales de arcilla expandible 2:1 y mayor reserva de minerales (Guerrero, 1993).

Los valles de Magdalena y Cauca denominados por el IGAC la "Tercera Región" se caracterizan por tener los suelos más fértiles de Colombia, donde la fracción gruesa presenta feldespatos y cuarzo asociados a anfíboles y micas, muy parecida a la de los suelos de las planicies y colinas de la Caribia incluyendo la alta Guajira. En la fracción fina de los valles no pueden entonces faltar, como

parte esencial, las arcillas tipo 2:1 asociadas a vermiculita, a micas hidratadas y a caolinita (Madero, 2007)

En estas localidades, los procesos pedogenéticos corrientes de formación de suelos, incluyen poco oscurecimiento, calcificación, salinización y sodificación, con algún movimiento de arcilla de A hacia B, compactación en el subsuelo y texturas superficiales más gruesas sobre subsuelos arcillosos en perfiles de suelos poco consolidados (Guerrero, 1993).

Muchos procesos en el suelo originados por condiciones físicas como la existencia de capas impermeables en el perfil o capas endurecidas, o simplemente contenido excesivo de arcilla, hacen inútiles las aplicaciones de fertilizante. También procesos químicos como los originados en condiciones de saturación alta de agua, uso de aguas duras o descomposición anaeróbica de materia orgánica o los excesos de algunos elementos como calcio, sulfatos, carbonatos y sales en general pueden reducir la eficiencia de la fertilización (García, 1996)

2.4 La vid en suelos del Valle del Cauca:

En la zona centro la vid se encuentra sobre suelos de la serie Galpón, Sonso, Herradura y Esneda (Vertisoles); Palmira, Palmerita, Nima y Manuelita (Mollisoles), Argelia y Pichichí (Alfisoles) y Palmeras (Inceptisoles). En general la textura varía de media a pesada predominando los suelos de tipo franco en el pie de monte de la cordillera Central y se hacen más pesados en la medida que los suelos se acercan al río Cauca (García, 1996)

En un viñedo de 10 años de edad, localizado en Ginebra Valle y sembrado en un suelo franco arcilloso, de reacción neutra contenido medio de materia orgánica y B, muy alto de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cu, Zn y P, la aplicación de $150 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K^{+2} como sulfato dio como resultado el mayor rendimiento. Los resultados también indican que hay diferencias entre las distintas fuentes, la mejor en el primer ciclo

fue el sulfato de potasio y en el segundo el KCl. En términos de calidad de fruta no se encontró diferencia entre fuentes pudiéndose recomendar cualquiera de ellas indistintamente. (García, 2001).

En el Valle del Cauca se cultivan 1.538 ha de vid que tiene una producción de 35.376 toneladas por año para un rendimiento anual de 23 ton/ha constituye el 5.46% del total de los frutales del departamento y es el 79.5% del área cultivada en vid a nivel nacional. Existe una brecha muy marcada en cuanto a la tecnología de producción ya que el promedio de producción del Valle del Cauca es de 16 t/ha al año, el promedio de los mejores viticultores es 23 t/ha al año y el promedio de parcelas experimentales es de 52 t/año (MADR *et al* 2006).

Refiriéndose a los suelos donde se cultiva la vid en el centro del valle del Cauca Garcia (1996) argumenta que la reacción del suelo va desde moderadamente ácida hasta ligeramente alcalina con predominio de los valores casi neutros. La concentración de fósforo es muy variable y va desde muy baja a muy alta, mientras que la de K^+ va de media a alta. El Ca^{+2} es muy alto en muchos de los suelos, mientras que el Mg^{+2} fluctúa entre bajo y excesivo Ni las sales ni el Na^+ presentan problemas para el desarrollo agrícola de la región.

Los métodos de determinación para establecer el abonado de la vid son El análisis de suelos, el diagnóstico foliar y la experimentación; esta última consiste en aportar a la vid determinadas cantidades de elementos fertilizantes y observar los resultados comparándolos con parcelas tomadas como testigos. La experimentación en pleno campo es necesaria para el técnico que tiene la responsabilidad de aconsejar a los viticultores sobre el abonado (Reynier, 2005).

2.5 Ciclo de producción de la Vid en el Valle del Cauca

La vid es un frutal perenne que en las condiciones tropicales de la zona plana del Valle del Cauca se puede obtener una cosecha cada 6 meses; en la actualidad se produce uva todos los días del año, su cosecha se programa a voluntad por el

viticultor dependiendo del día de la poda y 4 meses después de ésta se recolecta la cosecha, luego se dejan 2 meses de descanso para volver a podar. A partir de la poda de producción pasa por las siguientes etapas (Puerto et al., 2003):

Brotación: Se inicia a los 10 a 12 días después de la poda y se caracteriza por que las yemas se abren dando origen a las ramas (pámpanos) y a las hojas.

Prefloración: Va desde la brotación hasta la floración que se presenta 30 días después de la poda, se caracteriza por un rápido crecimiento vegetativo y la salida de los cojines florales.

Floración y cuajado: Desde los 30 y hasta los 45 días después de la poda se abren las flores y son fecundadas dando origen a los frutos.

Llenado de la baya: Una vez cuajado el fruto comienza una etapa de crecimiento de las bayas y los racimos hasta que alcanzan su tamaño final conservando durante este periodo el color verde característico del fruto inmaduro, Esta etapa termina a los 90 días después de la poda.

Maduración: El envero o pinta marca el inicio de la madurez las bayas van cambiando lentamente el color verde al morado característico de la madurez pasando por diferentes tonalidades rojizas. Aproximadamente a los 110 a 120 días después de la poda los racimos adquieren su madurez comercial.

Descanso: Se inicia al momento de la cosecha en que la planta queda libre de los racimos y se prolonga de acuerdo a la voluntad del viticultor pero es importante que se deje al menos 60 días para volver a podar, es una de las etapas más importantes del ciclo porque se acumulan los nutrientes (Galindo *et al.*, 2003).

3. Materiales y Métodos

Para contribuir en el reconocimiento y solución de la problemática enunciada se desarrolló una metodología encaminada a evaluar el comportamiento del potasio en el suelo, para ello se llevó a cabo un experimento con tres dosis de sulfato de potasio (K_2SO_4) y un testigo sin aplicación; se evaluó la respuesta del suelo en los cambios sucedidos en el K^+ soluble, el K^+ intercambiable y su relación con el contenido de K^+ en el tejido foliar de la vid así como en el rendimiento y calidad de la uva Isabella. Finalmente se evaluó el contenido del K^+ foliar en la floración y el envero (pinta) que son épocas para las que se tienen parámetros de comparación.

Como el comportamiento del ión K^+ está ligado a la presencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} se analizaron las relaciones Ca/K , Mg/K y $Ca+Mg/K$ en todas las épocas y con las dosis aplicadas. En forma paralela se estudiaron las características físicas y químicas de este suelo y del agua con que se riega, que pueden influir en la disponibilidad del K^+ .

Se usó sulfato de potasio (K_2SO_4) para evitar el uso de cloruros en un suelo con contenido salino en el umbral a pesar de que tiene una solubilidad de 111 gr.L^{-1} a 20°C que es baja si se compara con los otros fertilizantes que contienen potasio como el KNO_3 y el KCl que tienen una solubilidad de 209 g.L^{-1} y 255 g.L^{-1} respectivamente.

1.2 Localización

La investigación se realizó en el Municipio de Palmira Valle del Cauca, corregimiento de Guanabanal. Región plana al centro sur del departamento, finca Yundecito lote 7 en un cultivo de uva Isabella de 3.5 años de edad. Está localizado a 850 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 24 °C humedad relativa del 60 al 70%, precipitación de 800 a 1000 mm año y un balance hídrico con déficit de 200 mm al año (Carbonell *et al* 2001)

El lote elegido es homogéneo, está plantado con Agrad *Vitis sp.* como patrón y *Vitis labrusca c.v.* Isabella injertada sobre él, tiene una densidad de 1.481 plantas por hectárea (2.7m x 2.5m).

1.3 Caracterización del suelo

El perfil representativo de este suelo presenta en la parte superior un horizonte Ap de 20 cm que está endurecido por efecto de compactación por excesivo uso de maquinaria, seguido de un horizonte A franco limoso de 30 cm de espesor y luego una capa de 30 cm de material duro sin poros. Debajo de ella hay un horizonte B con presencia cascajo, grava y desarrollo de raíces y el suelo es más suelto. Se observó que las raíces pueden penetrar hasta 80 cm; pero la mayor concentración de raíces absorbentes se encuentra entre los 20 cm y 40 cm. Su clasificación taxonómica corresponde a *Udic calciusterts*.

El análisis foliar previo al ensayo de las plantas de Isabella en este lote mostró niveles adecuados de N y P, Mg, S, Zn, B; pero niveles bajos de K (0,66%), Ca (1,06%) y muy bajos de Mn (245 ppm), en contraste con niveles muy altos de Fe (248 ppm). (ver anexo B) esto comprobó que la situación restrictiva en la disponibilidad de Ca y K en el suelo se traslada también al follaje.

Se revisaron los factores con alta probabilidad de influir en el comportamiento del K^+ disponible para ello se realizaron los siguientes análisis:

Mineralogía de arcillas: Se tomaron muestras del suelo y se llevaron al laboratorio del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se procedió a la eliminación del carbonato con acetato de sodio; eliminación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno, eliminación del hierro con bicarbonato de sodio luego se pasó a la desagregación y fraccionamiento en partículas, se hizo la separación de arcillas (dispersión) y se procedió a hacer la determinación a través de la Difracción de rayos X.

Pruebas físico químicas al suelo dentro de las cuales se realizó la determinación de la densidad aparente, densidad real y pruebas de infiltración en campo y en laboratorio finalmente se determinó la porosidad. **Análisis químico** completo del suelo: se realizó un análisis completo de suelos de 0 cm a 40 cm de profundidad que es donde se ubica el mayor número de raíces absorbentes, se incluyó el análisis de solubles.

Análisis del agua de riego (Rio Bolo en época seca): Se determinó el pH, Conductividad eléctrica, aniones solubles y cationes solubles.

Este análisis conjunto de los factores involucrados en el suelo del ensayo influyen en la disponibilidad de K^+ permitió interpretar la respuesta de los tratamientos en las variables evaluadas y fue fundamental para llegar a las conclusiones y recomendaciones.

1.4 Diseño del experimento

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento. La parcela experimental fue de 20 plantas de las cuales solo se tomaron datos en las 6 plantas centrales para evitar el efecto de bordes. Se realizó análisis de varianza y análisis gráfico de los resultados y se

usó la prueba de Duncan para comparar los promedios. Los tratamientos de presentan en la tabla No 7.

Tabla 7. Descripción de tratamientos empleados en la investigación.

Tratamiento	Dosis K_2SO_4 .planta ⁻¹ .ciclo ⁻¹ gr	K_2O . ha ⁻¹ .ciclo ⁻¹ Unidades
T:1	0	0
T:2	100	74
T:3	150	111
T:4	225	167

1.5 Conducción del experimento

Se dividieron las parcelas y las dosis elegidas en los tratamientos se fraccionaron en 3 partes iguales para ser aplicadas en tres etapas fenológicas diferentes del ciclo de producción de la uva Isabella: La primera en descanso 20 días antes de poda, La segunda en prefloración 20 días después de poda y la tercera en llenado 60 días después de poda, como es la recomendación técnica realizada por García (2006) y como normalmente lo hace el viticultor de la región. La técnica utilizada para la fertilización del huerto experimental fue la tradicional de la región, consistente en poner el fertilizante incorporado en 2 rayas “corona” alrededor de cada planta y cubriendo el fertilizante con suelo para evitar pérdidas por lavado o evaporación.

El lote experimental recibió además los mismos tratamientos de todo el lote comercial con excepción de la fertilización potásica que se varió en los tratamientos y bloques utilizados.

Las dosis de sulfato de potasio utilizadas se basen en los trabajos de García (2006) en CENIUVA y representan las reportadas en la zona de producción de uva Isabella en el centro del Valle del Cauca que aunque maneja una tecnología muy dispersa coincide en aplicar valores cercanos entre 100 y 200 gr/planta de Sulfato o Cloruro de potasio, se usó Sulfato por ser técnicamente la más adecuada en estas condiciones. Se usó como base 100 gr/planta, el segundo tratamiento un 50% más 150 g/planta y el tercero un 50% más que el segundo 225 g/planta.

Toma de muestras: Los muestreos de suelos y foliares se hicieron en 3 momentos en plena floración 44 ddp (días después de poda), llenado 60 ddp, envero 90 ddp. Los muestreos de rendimiento y calidad se hicieron en 2 pases de cosecha sin tomar en cuenta la uva de rechazo.

Se hicieron los respectivos análisis de laboratorio en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira para las variables en el suelo Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} intercambiables, Ca^{+2} . M^{+2} y K^{+} solubles y en las hojas de vid %Ca, %Mg y%K.

Se relacionaron las variables estimadas entre sí para establecer la influencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} en la disponibilidad del K^{+} .

1.6 Variables de Respuesta y Técnicas de Laboratorio para su determinación

Bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}) del suelo en Cmol.Kg^{-1} : En cada parcela se tomaron muestras de suelo en la zona de raíces absorbentes de la vid a una profundidad de 0 a 40 cm y se realizó la extracción por el método del Acetato de amonio (NH_4OAc , 1N, pH 7), la cuantificación se hizo por el espectrofotómetro de absorción atómica.

Bases solubles (Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+}) del suelo en meq.L^{-1} : Se tomaron muestras de suelo en la zona de raíces de la vid en cada parcela en cada etapa del ciclo y se cuantificaron las bases solubles. El método de análisis en laboratorio consistió en agregar agua al suelo hasta que se saturó, se dejaron 48 horas hasta llegar a capacidad de campo (simulada), se hizo la extracción; luego se procedió a la cuantificación por el método de absorción atómica.

Elementos en el tejido foliar (Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+}) en porcentaje: Se tomaron los análisis foliares en cada parcela de cada ensayo tomando hojas opuestas al racimo en diferentes partes de la planta al azar y en diferentes plantas, para llevar al laboratorio, estas hojas se empacaron en una bolsa de papel y en el laboratorio el tejido vegetal seco una vez molido y tamizado, se sometió a digestión con ácido sulfúrico al 5% en etanol, luego 3 horas a 500°C y disolución en caliente con HCl 1 N, y en la solución se determinó el Mg, Ca y K mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Rendimiento: Se cosechó cada uno de las parcelas aparte y se determinó el peso de la cosecha por tratamiento del total de la uva de Extra, 1^a y 2^a según la norma técnica colombiana NTC 5321 (Icontec, 2004).

Calidad Con base en la Norma Técnica Colombiana de la uva Isabella NTC 5321 (Icontec, 2004) se determinaran las variables de grados brix, peso de racimo, longitud de racimo, número de bayas por racimo.

Se deben incluir tantos capítulos como se requieran; sin embargo, se recomienda que la tesis o trabajo de investigación tenga un mínimo 3 capítulos y máximo de 6 capítulos (incluyendo las conclusiones).

. Resultados y Discusión

1.7 Análisis previos: caracterización del suelo y el agua en relación con la disponibilidad del K^+

El reconocimiento de los factores del suelo y el agua de riego que influyen en la respuesta del sulfato de potasio (K_2SO_4) aplicado a este suelo, sirvió para abordar el análisis de resultados a continuación se detallan los resultados de la caracterización.

4.1.1 Mineralogía de las arcillas y su influencia en la disponibilidad de K^+

De acuerdo con los resultados del análisis de suelos del lote 7 (anexo A) este contiene un 31,6% de arcillas y su clasificación textural es Franco arcillo limoso, considerando la totalidad de las arcillas como el 100% el 42% de estas son Caolinitas (tabla 8) que no influyen en la fijación del K^+ y también hay arcillas tipo 2:1 como Montmorillonita (6%) , Gibsita (17%) y Vermiculita (16%), que influyen directamente en la disponibilidad del K^+ .

A pesar de tener un alto porcentaje de Caolinitas las propiedades de este suelo están influenciadas por las Montmorillonitas y las Vermiculitas que son las que mayor superficie específica y actividad poseen ya que tienen $800 \text{ m}^2/\text{g}$ y $750 \text{ m}^2/\text{g}$ respectivamente comparado con las Caolinitas que tiene solo $30 \text{ m}^2/\text{g}$ según Fassbender (1985).

Esta influencia de las arcillas 2:1 le otorgan al suelo unas propiedades específicas respecto al K^+ como lo reporta Silva et al (1986) quien afirma que la capacidad

de adsorción de K^+ en el suelo depende de la cantidad y tipo de arcillas presentes así, para un suelo arcilloso habrá una gran cantidad de K^+ de intercambio, a diferencia de un suelo arenoso donde el contenido de este elemento será menor, por esta razón un suelo arcilloso tiene un gran poder de entrega de K^+ pero también tendrá un nivel crítico más alto para poder compensar la carga eléctrica de las micelas de la arcilla.

Conforme a lo anterior en este suelo por su contenido de arcillas de alta superficie específica se puede esperar un comportamiento mas cercano a un suelo arcilloso que a uno arenoso y por tanto en la práctica de fertilización inicialmente deberá saturar la carga eléctrica de las micelas para posteriormente poder aprovechar su gran poder de entrega de K^+ lo que podrá brindar una ventaja respecto a la mayor parte de las zonas de producción de uvas en el mundo que son en su mayoría suelos arenosos que no retienen K^+ .

Tabla 8.. Mineralogía de arcillas finca Yundecito lote 7 (IGAC, 2009) .

Material	% de arcillas	Tipo de arcilla
Esmeclita (Montmorillonita)	6 %	2:1
Vermiculita	16%	2:1
Gipsita	17%	2:1
Micas (Muscovita)	7%	2:1
Caolinita	42%	1:1
Feldespatos	10%	

Esta condición del suelo 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 de 100 a 120 ppm (0,25 a 0,30

$\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{Kg}^{-1}$) se debería realizar la corrección del nivel de K^+ con dosis altas, debido a que gran parte del K^+ quedará retenido, en suelos arenosos sucede lo contrario, al poseer una menor reserva de K^+ y un agotamiento más rápido, se deberían realizar fertilizaciones menores pero más frecuentes. En el suelo del presente experimento por ser mas de condición moderadamente pesado se requeriría optar por dosis altas iniciales y después mantener un nivel adecuado.

El valor crítico para K^+ va a depender entonces también del contenido de arcillas y del cultivo a que se refiera (Silva, *et al.*, 1986) para un suelo arcilloso con más del 50% de arcilla un contenido de K^+ adecuado sería de 600 ppm ($1,53 \text{ cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$) mientras que un suelo arenoso bastaría con 300 ppm ($0,77 \text{ Cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$). Sin embargo hay una interpretación mas cercana para este tipo de suelos como el de Yundecito lote 7 en el libro de Hirzel, (2008) presente en el anexo E, en el cual el valor para potasio intercambiable para suelos de textura franco limosa a franco arcillosa plantados específicamente con huertos frutales o uva de mesa debe estar entre 0.4 y $0.6 \text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$

Ambos valores son superiores a los encontrados en el documento guía en Colombia sobre fertilización que es la quinta aproximación (Lora, 1992) que considera unos valores medios para potasio de $0,2$ a $0,4 \text{ meq}/100 \text{ g}$ de suelo y altos de más de $0,4 \text{ meq}/100 \text{ g}$ de suelo; lo que indica que este suelo es alto en K^+ pero en la interpretación de Hirzel (2008) en investigaciones hechas para vid en Chile sería un suelo con contenidos medios de K^+ : , pero Castro (2010) argumenta que las investigaciones sobre niveles críticos para cultivos en Colombia fueron elaborados por el ICA pero no se actualizan desde 1994.y no incluye el cultivo de la vid, por lo que se tomará como parámetro la tabla de Hirzel (2008) por ser más actualizada y estar referida específicamente al cultivo de la vid

4.1.2 Propiedades físicoquímicas en este suelo que influyen la disponibilidad de K⁺

La textura es franco arcillo limosa, se clasifica según Valenzuela (2010) como “Moderadamente pesados”; presenta una conductividad hidráulica entre lenta y muy lenta con valores promedio de 0,65 cm/hora cuando está a capacidad de campo, pero cuando se satura y las arcillas se expanden la penetración de agua se hace nula y así permanece por varios días. La densidad real es de 2,45 g.cm⁻³ y su densidad aparente a capacidad de campo es de 1,70 g.cm⁻³ aunque esta última es variable en la medida que el contenido de humedad varía debido a la presencia de arcillas expandibles, la porosidad promedio es del 30% que se considera reducida.

Estas características del suelo dificultan la movilidad del agua en la zona de raíces en especial cuando es la época de lluvias por que las arcillas 2:1 presentes se expanden y su recuperación es muy lenta, en época seca este suelo tiende a agrietarse en forma considerable en anchura y profundidad, por lo que puede llegar a romper las raíces si el suelo se deja secar drásticamente, por eso es necesario tener la precaución de mantenerlo a capacidad de campo.

Además la raíz en este tipo de suelos tiende a no profundizar lo suficiente lo que afecta la toma de agua y nutrientes por parte de la planta como lo reporta Valenzuela (2010) cuando dice que en cualquier tipo de suelo, cuanto mayor es la profundidad de enraizamiento, también mayor será la cantidad de agua disponible para el cultivo.

Las condiciones físicas del suelo afectan el mecanismo de absorción del potasio por las plantas que 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 que es el paso a través de gradientes de concentración en la solución del suelo causada por una zona de empobrecimiento inducida por la absorción de nutrientes cerca de la superficie radicular (Malavolta, 1997) y otra parte por

flujo masal que implica que los nutrientes se mueven con el agua hacia las raíces de la planta.

Estos mecanismos se ven afectados por las características físicas del suelo que con exceso de agua se satura y se expande afectando la difusión y el flujo en masa del agua con los nutrientes y además la respiración radical y por tanto la absorción de nutrientes.

En cuanto a sus características químicas este suelo es de reacción casi neutra (7,2), (anexo A) con un contenido medio de materia orgánica de 1,64 %, presenta un contenido de sales de 1,52 dS.m⁻¹ que es limite donde pueden comenzar problemas para la vid por ser un cultivo clasificado como (MS) muy susceptible a las sales y su Conductividad eléctrica: CEe umbral es de 1,5 dS.m⁻¹; La CIC (36,4 Cmol.kg⁻¹) es alta e indica que es un suelo de alta fertilidad con una gran posibilidad de intercambio, que es una condición deseable para las plantas, ésta es generada por los contenidos de Vermiculita (CIC 150 Cmol.kg⁻¹) y Montmorillonita (CIC 100 Cmol.kg⁻¹) además de la materia orgánica presente en el suelo.

Presenta en la fase intercambiable, niveles altos de Ca⁺² y Mg⁺² (Tabla 9) y medios de K⁺ con 0,53 Cmol.kg⁻¹ pero los contenidos en la fase soluble son bajos (anexo A) el Ca soluble 0,33 meq.L⁻¹ Mg soluble 0,52 meq.L⁻¹. El K⁺ soluble 0,04 me.L⁻¹; la relación Ca+Mg/K es amplia (73,3) lo que indica la posibilidad de funcionamiento inadecuado del K⁺ en los procesos de absorción y nutrición. El Na⁺ y Mg⁺² no presentan limitaciones para el adecuado desarrollo y producción del cultivo. Tiene bajos contenidos de Fe, Zn, Mn y B y altos de Cu. La disponibilidad de los elementos menores depende grandemente de la reacción del suelo que en este caso le es adversa. Fassbender (1985) señala que la relación óptima para la relación Ca+Mg/K es 40, valores mas altos indican deficiencia de K⁺ y valores más bajos indican la falta de Ca y Mg.

La saturación de Ca y el El PMgl (porcentaje de magnesio intercambiable) (tabla 9),son altos de acuerdo a Lora (1992) en la quinta aproximación pero la

saturación de K^+ es baja indicando que se hace necesario aplicar potasio para mejorar la disponibilidad de este elemento.

Tabla 9. Análisis de suelos comparativo de Ca, Mg y K y sus relaciones en la muestra previa al ensayo.

Elemento	Lote 7		Fuente	Interpretación
	Yundecito	Parámetro		
Cmol(+)kg⁻¹				
Ca int	28,9	8 a 12	Hirzel	Alta
Mg int	9,97	1,2 a 2,0	Hirzel	Alta
K int	0,53	0,4 a 0,6	Hirzel	media
Relaciones				
Ca/Mg	2,90	> 5	Sierra	Baja
Ca/K	54,53	15 a 30	Calculado de Hirzel	Alta
Mg/K	18,81	2 a 5	Calculado de Hirzel	Alta
Ca+Mg/K	73,34	40	Fassbender	Alta
Saturación de Ca	72,94	30 a 50	Lora	Alta
PMgl	27,44	10 a 15	Hirzel	Alta
Saturación de K	1,34	2 a 3	Lora	Baja
Solubles me.L⁻¹				
Ca sol	0,33			
Mg sol	0,52			
K sol	0,08			

En general es un suelo con buena fertilidad pero presenta condiciones químicas que van en detrimento de la disponibilidad de potasio, hay que tener en cuenta lo que argumenta Castro et al. (2010) 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.

El K^+ se debe adicionar para que esté disponible en las épocas críticas que corresponden a la prefloración, el llenado de la baya y la maduración, siendo especialmente importante entre brotación y floración que es donde la planta consume el 60% del potasio que necesita.

4.1.3 Caracterización del agua utilizada en el riego y su influencia en la disponibilidad de K⁺

En los huertos de producción de uva de Yundecito se usa el riego por gravedad durante las temporadas secas que se realiza cada 8 a 10 días después de la última lluvia, se pretende mojar toda el área y alcanzar la zona de raíces.

El análisis físico-químico del agua de riego que se usa en este lote (tabla 10) perteneciente al río Bolo, demostró que hay un aporte de Ca⁺², Mg⁺², K⁺ y Na⁺ al suelo que se vuelve importante dado que se usan altos volúmenes de agua aplicados por gravedad durante la época seca.

Tabla 10. Resultado de análisis de aguas río Bolo época seca. (Providencia 2009)

ANÁLISIS DE AGUA RIO BOLO	
Ph	7,5
C.E dS/m	0,52
Cationes (meq/L)	solubles
Ca ⁺²	3,11
Mg ⁺²	2,77
K ⁺	0,13
Na ⁺	0,87
Suma de cationes	6,88
RAS	0,51
Dureza cálcica	155,50
Dureza magnésica	138,50
Dureza total	249,00
Aniones (meq/L)	Solubles
Sulfatos	0,31
Carbonatos	Trazas
Bicarbonatos	3,45
Cloruros	0,22
Suma aniones	3,98

Cada riego utilizó $86,4 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ y se realizaron 8 riegos durante el ciclo de producción en este ensayo, distribuidos de la siguiente manera: un riego en septiembre, un riego en noviembre, tres riegos en diciembre y tres riegos en enero, en total se aplicaron $691 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ por ciclo; el 75% se aplicaron en los 2 últimos meses. Se puede observar que el agua del Rio Bolo aportó en los diferentes riegos $3,1 \text{ meq.L}^{-1}$ de Ca^{+2} ; $2,8 \text{ meq.L}^{-1}$ de Mg^{+2} ; $0,13 \text{ meq.L}^{-1}$ de K^{+} y $0,87 \text{ meq.L}^{-1}$ de Na^{+} y que en el volumen de riego aplicado constituye un aporte importante de estos elementos que equivalen a la aplicación de 81 Kg de cal agrícola, 145 kilos de Sulfato de magnesio y 6,7 kilos de sulfato de potasio, (tabla 11) cantidades que no son despreciables en cuanto al aporte al suelo por cada hectárea.

Tabla 11. Aporte de Ca, Mg y K del agua de riego al suelo del ensayo durante el ciclo de producción de la vid.

	Meq.L⁻¹	gr.m⁻³	Kg.ha⁻¹.ciclo⁻¹	Equivalencia /ha
Ca^{+2}	3,11	62,2	43,0	81 Kg Cal agrícola del 53%
Mg^{+2}	2,77	33,7	23,3	145 Kg MgSO_4 del 18%
K^{+}	0,13	5,1	3,5	6,7 Kg K_2SO_4 del 52%

El agua de riego adicionada tiene una proporción Ca^{+2} : Mg^{+2} : K^{+} de 1:1:0,05 (tabla 12) que al ser aplicada al suelo se encuentra con que la proporción presente en la fase soluble del suelo de Yundecito, es 0,6:1:0,15 enriqueciendo el soluble con mayor cantidad de Ca una cantidad similar a la del suelo de Mg pero haciendo un aporte bajo de K^{+} factor que tiende a disminuir, con el paso del tiempo, la disponibilidad del K^{+} en la solución del suelo por el incremento progresivo de la relación Ca +Mg/K.

Como no se encontró un parámetro de relaciones entres solubles se tuvo en cuenta los datos de Lora (1996) en la quinta aproximación que establece una relación normal de 3:1:0.25 para los intercambiables y según cálculos hechos de la tabla de Hirzel (2008) (Ver anexo E) la relación debería ser 6:1:0.30 para

suelos cultivados con vid, lo que indicaría que tanto en la solución del suelo como en el agua de riego el potasio y el calcio están en desventaja frente al Mg y en cada riego se acentúa esta situación por lo que se hace necesario aportar estos dos elementos en la fertilización. Si analizamos además la fase intercambiable de este suelo en el análisis previo al ensayo la relación era 3:1:0.04; lo que confirmaría el desbalance que afecta en mayor forma al K^+ (Hierzel 2008) también al Ca frente al Mg lo que explicaría el resultado del análisis foliar previo al ensayo que reporta deficiencias de Ca y K.

Tabla 12. Comparación de las proporciones entre Ca:Mg:K en el agua y el suelo.

Análisis	Ca:	Mg:	K
Agua de riego rio Bolo	1	1	0,05
Solubles del suelo lote 7	0,6	1	0,15
Intercambiables del suelo lote 7	3	1	0,04
Intercambiables normales según Lora	3	1	0,25
Intercambiables normales según Hirzel	6	1	0,3

1.8 Resultados experimentales: efecto de dosis de sulfato de potasio (K_2SO_4) aplicadas al suelo.

De acuerdo con los resultados de la caracterización del suelo es evidente que se parte de un suelo fértil pero con dificultades manifiestas en la disponibilidad de K^+ tanto a nivel físico por su baja conductividad hidráulica como químico por la presencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} en abundancia en el intercambiable y el Mg aportados por el agua de riego a la fase soluble en mayor proporción que K y Ca.

Sin embargo, este suelo una vez saturado con K^+ se puede convertir en una despensa de este elemento para la vid en todo el ciclo de producción; este es el escenario que encuentran las diferentes dosis de K_2SO_4 usadas en el experimento lo que puede influir en la respuesta del suelo y de la planta.

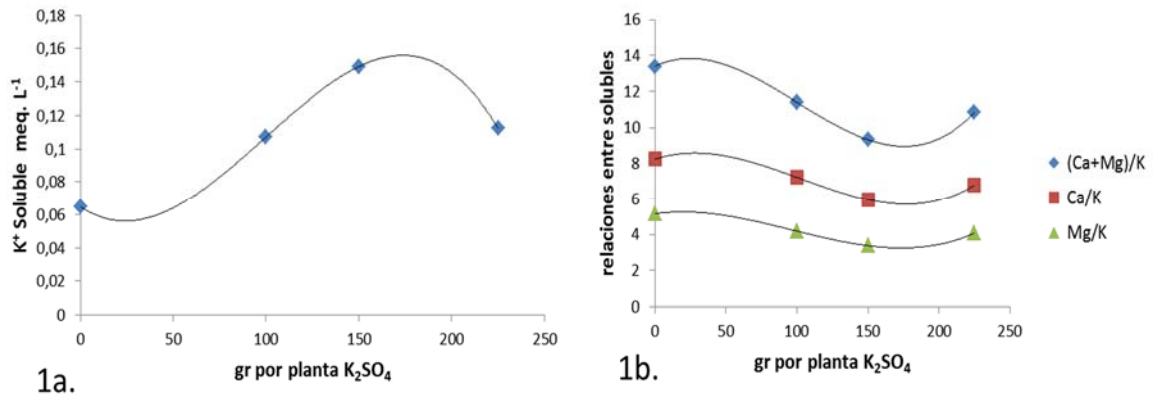
1.8.1 Respuesta del K soluble del suelo y su relación con Ca y Mg a la aplicación de K_2SO_4

La aplicación de los tratamientos generó en la fase soluble del suelo una marcada tendencia (0.09 significancia) a que el contenido de K^+ se incremente con las aplicaciones de sulfato de potasio respecto al testigo (tabla 13), lo que indica que la aplicación de sulfato de potasio (K_2SO_4) tiende a mejorar la disponibilidad de este elemento en el suelo. Entre los tratamientos se destacó el de 150 gr por planta (figura 1). El análisis gráfico indica que el rango comprendido entre 150 y 200 gr por planta tiende a ser el que mayor cantidad de K^+ soluble presenta. (figura 1a.) por lo que se puede inferir que dentro del rango de dosis utilizadas las aplicaciones mayores a 200 gr/planta pueden resultar un sobre costo innecesario para aumentar el K^+ soluble.

La relación entre el potasio soluble y la disponibilidad del elemento para las plantas ya es reconocida, la disponibilidad de potasio está relacionada a la facilidad que las plantas puedan obtenerlo y eso significa que debe estar disuelto como ion potasio (K^+) en la solución del suelo, esa es la única forma en que es absorbido por la planta (Conti, 2000).

La aplicación de los tratamientos no tuvo influencia significativa sobre los contenidos de Ca o Mg en el suelo en la fase soluble del suelo (tabla 13); pero al analizar las relaciones $Ca+Mg/K$, Ca/K y Mg/K , (figura 1b) se observa que los promedios del testigo tienden a ser superiores a los de los tratamientos con K_2SO_4 , esto indica que también la disponibilidad relativa de potasio tiende a ser mayor con la aplicación del sulfato de potasio (tabla 13).

Figura 1. Respuesta del K^+ soluble (1a.) y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (1b.), a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.



En la relación Mg/K el testigo tiene 5,2 que es alta respecto al parámetro (2 a 5) y las aplicaciones de sulfato de potasio tienden a disminuirla hasta 3,8 que es un valor adecuado (Tabla 14), esto indica que el sulfato de potasio tiende a mejorar la disponibilidad relativa del K respecto al Mg en la solución del suelo. En cuanto a la relación Ca/K los valores presentes en el soluble son bajos ya que se encuentran entre 6,8 y 8,2 lo que indica que esta relación desfavorece al calcio.

Para la relación Ca+Mg/K los valores encontrados entre 9,3 y 13,4 están por debajo del valor normal influido por la baja proporción del Ca en el soluble, el Ca presenta una deficiencia relativa y muy probablemente tiene problemas para ser absorbido en cantidad suficiente por las plantas; por lo que es necesario incluirlo en los planes de fertilización del viñedo ya que en la actualidad no es común hacerlo en la región y esto podría estar influenciando los muy prevalentes problemas de calidad (bayas blandas) y el continuo ataque de enfermedades.

Cuando se incrementen las aplicaciones de K deben incrementarse proporcionalmente las de Ca para mejorar la disponibilidad de este último, de lo contrario se agrava el problema por la disminución de la relación Ca/K.

Tabla 13. Respuesta del K soluble y sus relaciones con Ca y Mg a las dosis de K₂SO₄ aplicadas al suelo

TRATAMIENTOS K ₂ SO ₄ gr. Planta ⁻¹	SOLUBLES (meq.L ⁻¹)					
	Ca	Mg	K	(Ca+Mg/K)	Ca/K	Mg/K
0	0,40	0,24	0,065b	13,40	8,24	5,16
100	0,56	0,31	0,107ab	11,41	7,22	4,19
150	0,64	0,35	0,149.a	9,33	5,96	3,38
225	0,52	0,31	0,113ab	10,85	6,78	4,07
C.V	30,2	25,8	Tr 2,9	31,1	29,6	33,4
Significancia	n.s	n.s	0,09	n.s	n.s	n.s

La situación del Ca⁺² se revela más crítica al observar que la relación Ca/Mg solubles se encuentra entre 1,7 y 1,8 (Tabla 14) que si se compara con los dos datos de Sierra (2001) debería ser superior a 5 para suelos cultivados con vid, esto indica que a nivel de solubles el Ca⁺² es poco disponible en términos relativos también respecto al Mg⁺².

Tabla 14. Comparación de relaciones entre Ca, Mg y K solubles vs parámetros establecidos.

Relación	Ensayo Lote 7	Parámetro	Fuente	Interpretación
Mg/K sol.	3,8 a 5,2	2 a 5	Basado en Hirzel	alto testigo, normales los tratamientos
Ca/K sol.	6,8 a 8,2	15 a 30	Basado en Hirzel	bajo
Ca+Mg/K sol	9,3 a 13,4	40	Fassbender	bajo
Ca/Mg sol.	1,7 a 1,8	5 a 6	Sierra	bajo

El contenido general de todos los tratamientos de Ca, Mg y K solubles son bajos respecto al intercambiable lo que indica una disponibilidad inmediata baja y depende en alto grado de la capacidad de los contenidos intercambiables para reponer estos elementos.

En la fase soluble (tabla 15) el contenido de Ca^{+2} estuvo entre 0,4 y 0,7 meq.L^{-1} El Mg^{+2} soluble estuvo entre 0,2 y 0,4 meq.L^{-1} el K^{+} soluble estuvo en 0,1 a 0,2 meq.L^{-1} valores bajos respecto a la fase intercambiable, esta diferencia se mantiene durante todo el ciclo de producción en el suelo. Este resultado está explicado con lo encontrado por Conti, (2000) quien establece que el potasio de la solución del suelo está inmediatamente disponible por las plantas pero las cantidades presentes allí son muy pequeñas, apenas una mínima porción del potasio total del suelo se encuentra en esta forma. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de potasio en la solución del suelo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), específicamente el K^{+} intercambiable es el que regula y mantiene la concentración de K^{+} en la solución.

Los resultados pueden apoyarse también con la conclusión de los ensayos anteriores de Borrero (2005) La presencia de arcillas expandibles 2:1 en niveles medios a altos de montmorillonita, vermiculita e illita, produce una fuerte adsorción de potasio lo que ocasiona un intercambio lento entre la solución del suelo y las interláminas de estos minerales, por lo cual hay poco potasio soluble. Además que en suelos con alto contenido de arcilla y predominio de arcillas fijadoras de K^{+} es necesario adicionar dosis extras del elemento para mantener un suministro adecuado para los cultivos.

Sin embargo el potasio es el que mayor proporción presenta del soluble respecto al intercambiable seguido el magnesio y la proporción mas pequeña es el Ca (tabla 15) esto coincide con lo expresado en la serie litotrópica de Hofmeister que

indica que la adsorción de iones en el complejo de cambio se prioriza y que los cationes divalentes se adsorben mejor que los monovalentes y dentro de cada grupo los de mayor radio iónico se adsorben más; en este caso Ca^{+2} y Mg^{+2} se adsorben más que K^{+} y entre Ca^{+2} (1,97 radio iónico) y Mg^{+2} (1,6 radio iónico) se adsorbe más el Ca^{+2} .

Tabla 15. Análisis comparativo de Ca, Mg y K presentes en las fases soluble e intercambiable del suelo durante el ensayo.

Elemento	Soluble meq .L ⁻¹	Intercambiable cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹
Ca	0,4 -0,7	20 a 30
Mg	0,2 a 0,4	5,8 a 6,3
K	0,1 a 0,2	0,6 a 1,0

1.8.2 Respuesta del K intercambiable del suelo y su relación con Ca y Mg a la aplicación de K_2SO_4

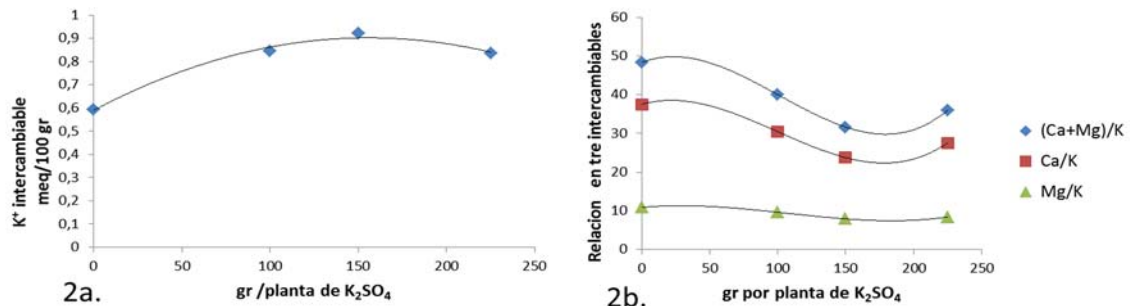
El contenido de K^{+} en la fase intercambiable del suelo presentó una tendencia similar a la fase soluble ya que los tratamientos con sulfato de potasio (K_2SO_4) presentan valores nominales mayores al testigo destacándose la dosis de 150 gr/planta de K_2SO_4 . (ver figura 2a), sin que esa diferencia pueda considerarse significativa (ver tabla 16) este potasio intercambiable se convierte en la reserva inmediata de K^{+} en el suelo como lo reporta Conti, (2000) que las plantas en crecimiento rápidamente extraen el potasio de la solución del suelo, pero a medida que es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por la cesión de formas menos accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo que corresponden al potasio intercambiable.

El sulfato de potasio tendió a aumentar también el K^+ adsorbido por el complejo de cambio pasando de $0,59 \text{ cmol(+)}.kg^{-1}$ en el testigo hasta 0.93 en los tratamientos lo que indica que el sulfato de potasio permite ir aumentando la reserva inmediata de este elemento que restituirá el que se vaya consumiendo de la solución del suelo por la planta.

Las relación Mg/K intercambiable presenta diferencias significativas entre tratamientos siendo mayor para el testigo, lo que indica que la adición de K_2SO_4 mejora la disponibilidad de K^+ en relación con el Mg^{+2} mostrando que la adsorción del K^+ es mayor en la medida que hay más disponibilidad del elemento y supera a la del magnesio aportado por el riego, esta relación estuvo en el testigo en $10,9$ y bajó hasta $7,9$ en el tratamiento de 150 gr/planta de K_2SO_4 (ver tabla 17).

Sin embargo ambos son valores altos respecto al normal 2 a 5 según Hirzel (2008) (anexo E); lo que implica que el suelo sin tratar presenta deficiencia inducida de K^+ y a pesar de que las aplicaciones de sulfato de potasio bajan la relación no se suficiente para superar la deficiencia relativa de K^+ respecto a Mg^{+2} , La dosis mayor de 225 gr/planta no superaron en valor nominal a la dosis de 150 gr/planta .

Figura 2. Respuesta del K^+ intercambiable (2a.) y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (2b.) a las dosis de K_2SO_4



Las relaciones Ca/K y Ca+Mg/K no presentaron diferencias entre tratamientos (tabla 16), la relación Ca/K en el intercambiable está en 37,5 en el testigo que es alto lo que implica una baja disponibilidad de potasio. según Hirzel (tabla 17) y disminuye con la aplicación de sulfato de potasio hasta llegar a valores normales alcanzando un valor 23,7. La relación Ca+Mg/K se encuentra en 48 para el testigo que es alta según fassbender (1985) y disminuye con los tratamientos hasta 31,6 que es un valor normal mejorando así la disponibilidad relativa de K+ con las aplicaciones de K₂SO₄ (tabla 17).

El K⁺ aplicado no influyó en los contenidos de Ca⁺² y Mg⁺² en el intercambiable como se hubiera esperado según los estudios hechos por (Sosa, 2009) respecto a la interrelación entre las bases del suelo que anota que el potasio (K⁺) el Calcio (Ca⁺²) y el magnesio (Mg⁺²) compiten en los sitios de intercambio catiónico como en el Valle de San Joaquin California USA, en uvas regadas por goteo al aplicar agua con Ca (Yeso) para mejorar la infiltración se redujo el K⁺ y el Mg⁺² en los análisis foliares de las vides. En el mismo sentido como efecto secundario del uso del potasio, señala que altas aplicaciones de K⁺ han producido deficiencias de Mg⁺² en análisis foliares”.

Tabla 16. Respuesta del K⁺ intercambiable y sus relaciones con Ca⁺² y Mg⁺² a las dosis de K₂SO₄ aplicadas al suelo.

TRATAMIENTOS K ₂ SO ₄ gr por planta	INTERCAMBIABLES (Cmol.Kg ⁻¹)					
	Ca	Mg	K	Ca+Mg.K ⁻¹	Ca.K ⁻¹	Mg.K ⁻¹
0	20,25	6,15	0,59	48,35	37,50	10,85 ^a
100	22,70	6,62	0,84	40,03	30,43	9,6ab
150	18,74	5,66	0,92	31,63	23,73	7,9b
225	19,74	5,72	0,93	35,94	27,55	8,39ab
C.V	23,2	12,3	20,1	21,7	25,4	10,9
Significancia	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*

Se evidenció la necesidad de aplicar K^+ al suelo para mejorar la disponibilidad de este elemento en la fase intercambiable y el sulfato de potasio resultó una fuente efectiva para este fin.

Al analizar la relación Ca/Mg está en 3 que es un valor bajo respecto a Hirzel que lo pone en 5 a 6 como normal (tabla 17) lo que indica una deficiencia inducida de Ca^{+2} respecto al magnesio también en la fase intercambiable como se había evidenciado en la fase soluble por lo que se reafirma la necesidad de aplicar Ca^{+2} en la fertilización a pesar de tener contenidos tan altos en el intercambiable.

Tabla 17. Comparación de las relaciones entre Ca, Mg y K intercambiables del suelo vs parámetros establecidos

Relación	Ensayo lote 7	Parámetro	Fuente	Interpretación
Mg/K int.	8 a 11	2 a 5	Basado en Hirzel	alto
Ca/K int.	24 a 38	15 a 30	Basado en Hirzel	Alto solo el testigo
Ca+Mg/K int.	32 a 48	40	Fassbender	Alto solo el testigo
Ca/Mg int.	3	5 a 6	Sierra	bajo

1.8.3 Respuesta del K presente en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca y Mg a la aplicación al suelo de K_2SO_4

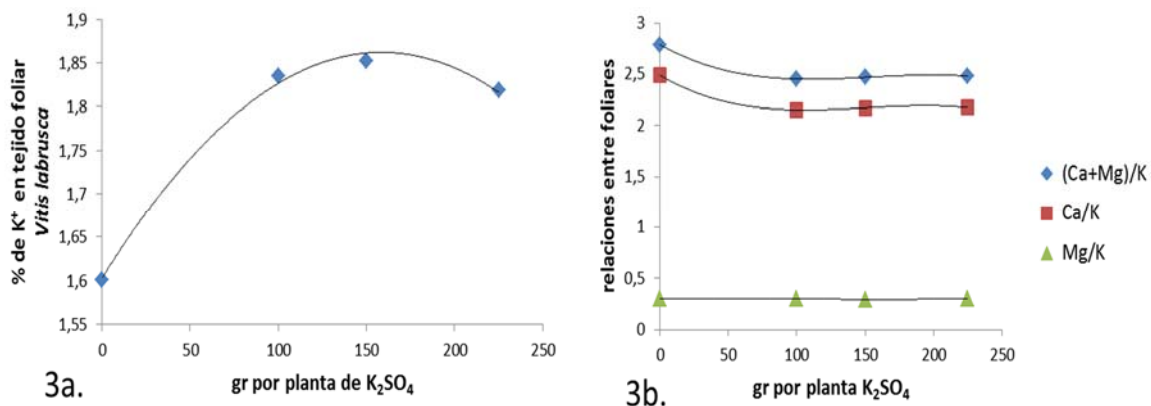
Después de los tratamientos con sulfato de potasio aplicados al suelo el K^+ tendió a aumentar en el tejido foliar de *V. labrusca* c.v. Isabella respecto al testigo sin aplicación (Figura 3a.), especialmente con 150 gr/planta (ver tabla 18), lo que coincide con la tendencia en la fase soluble e intercambiable del suelo en la que ésta dosis tiene mejores valores nominales aun sobre la dosis mayor de 225 gr/planta. Sin embargo no presentaron diferencias significativas en el contenido de Ca^{+2} , Mg^{+2} o K^+

Las relaciones $Ca+Mg/K$ y Ca/K (figura 3b) en el tejido foliar presentaron diferencias significantes del testigo respecto a los tratamientos siendo mayores para el testigo y menores en los tratamientos (tabla 18), lo que indica que la

concentración relativa de K^+ en el tejido fue mayor cuando se aplicó el sulfato de potasio, pero no hubo diferencias entre los tratamientos indicando que las dosis entre 100 gr/planta y 225 gr/planta causan el mismo efecto en estas variables. La relación Mg/K no presentó diferencias entre el testigo y los tratamientos.

Lo anterior indica que es factible mejorar la presencia relativa de K^+ en el interior de las plantas de vid cuando se aplica sulfato de potasio al suelo y esto es de importancia para mejorar la nutrición en la planta ya que los desbalances entre Ca, Mg y K presentes en el suelo pueden trasladarse al interior de la planta, así lo reporta Mejía de Tafur (2010) que cuando se observa un exceso de Ca y Mg en el suelo es frecuente que la planta los absorba en exceso, ello ocasiona una interferencia en la absorción y disponibilidad fisiológica del K^+ , igualmente, un exceso de potasio afecta la absorción de los primeros.

Figura 3. Respuesta del K^+ (3a.) en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca^{+2} y Mg^{+2} (3b.) a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.



El incremento en la presencia de K^+ en el tejido foliar en cantidad y disponibilidad, inducido por la aplicación de sulfato de potasio, es importante para mejorar el rendimiento de la vid ya que es el elemento que en mayor cantidad requiere esta planta como lo reafirman los estudios realizados en Chile por Palma (2003) (tabla 3), quien encontró que cuando el peciolo de la hoja de vid contenía en la materia seca (MS) 1,53% de K^+ su rendimiento era de 4,48 ton/ha, al aumentarlo a 7,39%

el rendimiento aumentó a 7,39 ton/ha pero cuando el K⁺ pasó a 2,53% de la MS el rendimiento alcanzó hasta 12,3 ton/ha.

Tabla 18. Respuesta del K presente en el tejido foliar de la vid y sus relaciones con Ca y Mg a las dosis de K₂SO₄ aplicadas al suelo.

TRATAMIENTOS K ₂ SO ₄ gr por planta	FOLIARES (%)					
	Ca	Mg	K	(Ca+Mg/K)	Ca/K	Mg/K
0	3,88	0,47	1,60	2,79.a	2,49.a	0,30
100	3,50	0,53	1,83	2,45b	2,15b	0,30
150	3,60	0,53	1,85	2,47b	2,17b	0,30
225	3,58	0,54	1,82	2,48b	2,17b	0,31
C.V	5,5	5,1	9,1	3,4	3,7	8,3
Significancia	n.s	n.s	n.s	**	*	n.s

1.8.4 . Monitoreo por épocas del K⁺, Ca y Mg en el tejido foliar de la vid

La comparación por épocas de los valores de todos los tratamientos con los parámetros establecidos a nivel foliar en la época de floración y envero permitió conocer la situación nutricional de las vides en los dos momentos críticos del ciclo de producción.

El K⁺ foliar en la época de floración comparado con las tablas de Hirzel (2008) (ver tabla 19) estaba por debajo de lo normal con 1,3% lo que denota una deficiencia del elemento, la cual se hace más crítica por que el Ca, en esta misma etapa, se encontraba por encima de lo normal y esta situación hizo que la relación Ca/K y a su vez la relación Ca+Mg/K estuviera más alta de lo normal generando una deficiencia inducida de K. Es posible que le K⁺ absorbido por la planta haya emigrado hacia otros órganos en la época de floración como lo advierte Becerra (2007) que una vez absorbido el potasio es muy móvil dentro de la planta, el ión K⁺ se redistribuye con facilidad de los órganos maduros a los

juveniles por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas de mayor edad.

Estos resultados de alto Ca^{+2} foliar en la época de floración no coincide con lo encontrado en el suelo, donde se presentaba detrimento en la disponibilidad de este elemento por efecto del Mg^{+2} (ver capítulo solubles e intercambiables) sin embargo, a este respecto existen algunas ideas como lo encontrado por Mejía de Tafur (2010) quien afirma que no existe una relación directa entre la concentración de los nutrientes minerales en la solución del suelo y su contenido en la materia seca de la planta debido a que la mayoría de los iones minerales ingresan a ella mediante transporte activo, con excepción de Ca^{+2} y Mg^{+2} , que son absorbidos por flujo de masa.

En esta situación se debería reforzar la aplicación de K^{+} antes de floración para lograr un nivel adecuado, esto coincide con los estudios de García (2001) quien había encontrado en investigaciones desarrolladas en CENIUVA (Centro de investigación vitivinícola tropical) que al momento de la poda la planta debe haber realizado el trabajo fundamental de acumular todas sus reservas y que el fraccionamiento de los fertilizantes en 3 aplicaciones da como resultado una mayor producción

También que es crucial una excelente disponibilidad de nutrimentos en el momento en que los brotes y hojas nuevas comienzan la exportación de carbohidratos (cuando alcanzan un tercio a la mitad de su tamaño normal), por lo anterior García planteó en el caso del K^{+} fraccionar la aplicación 20 días antes de poda, 20 días después de poda y aplicar un refuerzo al inicio de llenado de frutos, que es como se realizaron las aplicaciones en el presente trabajo.

Según Mejía de Tafur (2010) cada especie vegetal tiene sus propios requerimientos nutritivos según la edad y el estado de desarrollo y para alcanzar rendimientos altos es importante que la planta disponga de todos y cada uno de ellos en las cantidades adecuadas. En este caso, en la época de floración, el K^{+} se encontraba deficiente tanto en el valor absoluto como en la relación con Ca;

esta deficiencia inducida de K⁺ en las hojas puede afectar los procesos de maduración y por tanto la calidad medida en grados brix, diámetro de baya y peso de racimo;

Hidalgo (2002) manifiesta que las necesidades de potasio en vid son muy importantes, notablemente en la floración y hasta el envero de las uvas. Es preciso un alto nivel de potasio en las hojas, debiéndose producir una intensa emigración de las hojas a los frutos, para que sea posible una maduración normal.

El análisis de estos resultados indican que es muy importante mantener una reserva adecuada de potasio en el suelo antes de la floración lo que es posible en los vertisoles del estudio dada su alta capacidad de intercambio catiónico, esta reserva puede constituirse desde antes de la poda como se hizo con 20 días de

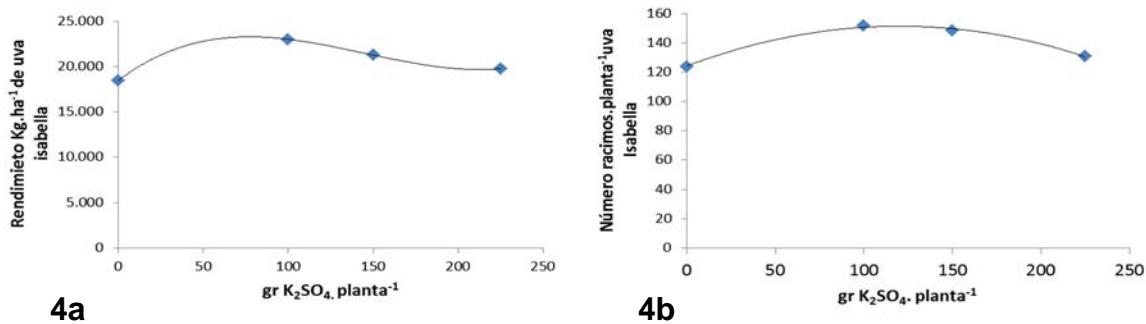
Tabla 19. Análisis comparativo de los contenidos de Ca, Mg y K y sus relaciones en el tejido foliar de la vid en Floración y envero vs la tabla de Hirzel (2008).

Elemento	Lote 7 Yundecito % MS	Hirzel %MS	Interpretación
Floración			
K	1,3	1,5 a 2,5	bajo K bajo
Ca	3,11	0,9 a 2,2	alto
Mg	0,45	0,3 a 0,8	normal
Mg/K	0,27	0,1 a 0,5	normal
Ca/K	2,43	0,6 a 1,7	alto K bajo
Ca+Mg/K	2,79	0,9 a 2,2	alto K bajo
Ca/Mg	6,91	0,3 a 7,3	normal
Envero			
K	1,5	1,1 a 1,6	normal
Ca	3,54	2 a 4	normal
Mg	0,43	0,2 a 0,5	normal
Mg/K	0,29	0,3 a 1,3	normal
Ca/K	2,37	1,3 a 2,5	normal
Ca+Mg/K	2,66	1,6 a 4,1	normal
Ca/Mg	8,23	4 a 20	normal

1.8.5 . Respuesta del rendimiento y calidad de la uva Isabella a las dosis de K_2SO_4

Las dosis de sulfato de potasio aplicadas mostraron una marcada tendencia a aumentar el rendimiento por hectárea y el número de racimos por planta respecto al testigo, destacándose el tratamiento de $100 \text{ gr.planta}^{-1}$ de sulfato de potasio, como lo muestra la (figura 5), es el número de racimos el que condiciona el mayor rendimiento, estos racimos corresponden a la calidad extra y primera (calidad comercial) (ver Anexo D).

Figura 4. Respuesta del Rendimiento de uva Isabella (4a.) y Número de racimos por planta (4b.), a diferentes dosis de K_2SO_4 , .



En el manual de viticultura (Hidalgo 2002) se advierte que el potasio se encuentra en la vid favorece el desarrollo general de las cepas; provoca el aumento del tamaño de las hojas; incrementa el diámetro y peso de los sarmientos por unidad de longitud, asegurando un mejor agostamiento; aumenta el número de racimos, acreciendo la riqueza azucarada del mosto para una cosecha comparable, favorece una correcta distribución de las reservas en las diferentes partes de la planta, dándole una mayor longevidad..

El Anova no muestra diferencias en las variables de calidad: Número de bayas por racimo (tabla 15) que se mantuvo en promedio en 29, Grados brix que en promedio fueron 12, ni longitud de racimo o peso del racimo lo que demuestra

que estas variables de calidad del racimo no se vieron influenciadas por las dosis de potasio aplicado.

Tabla 20. Respuesta del Rendimiento y Calidad de uva Isabella, a las dosis de K_2SO_4 aplicadas al suelo.

TRATAMIENTOS		RENDIMIENTO Y CALIDAD				
K_2SO_4	Racimos por planta	Peso por racimo	Rendimiento	longitud de racimo	$^{\circ}$ Brix	Bayas por racimo
gr.planta ⁻¹	#	Gr	Kg.Ha ⁻¹	Cm	%	#
0	124b	100,4	18.452b	9,37	12,2	28,6
100	152.a	102,4	22.997.a	9,44	12,2	29,0
150	148ab	98,4	21.626ab	9,46	12	28,8
225	131ab	101,7	19.745ab	9,43	11,9	29,3
C.V	9,4	2,2	9,7	2,7		
Significancia	0,1	n.s	0,11	n.s	n.s	n.s

El número promedio de racimos por planta estuvo entre 124 y 152 (183 mil a 225 mil racimos /Ha) que es un número bastante alto para una planta de vid, regularmente en otros países del mundo es de estricta realización la eliminación de racimos denominada “aclareo”; en los cultivos de *Vitis labrusca* en el Valle del Cauca se tiene la costumbre de dejar todos los racimos que produce la planta y esto puede atentar contra la calidad de los mismos porque se puede diluir la acción de elementos como el K^+ evitando mejoras considerables en la calidad de la cosecha.

Otra posibilidad es que las dosis utilizadas en el ensayo no hayan sido suficientes para mejorar la calidad de los racimos y sea necesario probar dosis más altas así como formas de aplicación más eficientes que las usadas actualmente en los viñedos en Colombia.

(Bueno, 1994) puntualiza que los fertilizantes empleados para suministrar potasio a los cultivos no siempre producen en estos las respuestas esperadas, debido

probablemente al proceso de fijación que puede ocurrir en algunas arcillas presentes en suelos cultivados, además de la influencia que puedan tener otros factores relacionados con características fisicoquímicas del suelo que condicionan la disponibilidad y aprovechabilidad del K^+ para las plantas. Es posible que los resultados inconsistentes de respuesta de los cultivos a la fertilización potásica en suelos del valle geográfico del río Cauca tengan alguna relación con estos factores.

La aplicación de K^+ en las dosis usadas mejoró el rendimiento de la uva Isabella pero no la calidad de la misma debido probablemente a la gran cantidad de racimos producidos.

1.8.6 . Análisis de Correlaciones entre las variables estudiadas:

Al realizar un análisis de las correlaciones entre variables se encontró que el K^+ intercambiable correlacionó positivamente con el K^+ soluble, lo que indica que el intercambiable se convierte en una reserva en el suelo que alimenta al soluble. El K^+ intercambiable y el soluble correlacionaron positivamente con el rendimiento y el número de racimos por planta, evidenciando que las aplicaciones de sulfato de potasio influyen directamente en la mejora de la productividad.

Conclusiones y Recomendaciones

- Se mejoró la disponibilidad del K^+ en un vertisol de la zona plana del valle del Cauca mediante la aplicación de Sulfato de potasio, a pesar de las limitaciones por el marcado desbalance nutricional existente causado por la presencia de arcillas 2:1, el lento movimiento de agua en el suelo, el alto contenido de Mg^{+2} soluble (incrementado por el riego) que es desfavorable para la disponibilidad del K^+ y el Ca^{+2} en el suelo.
- La aplicación de Sulfato de potasio mejoró 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 aplicación de sulfato de potasio tendió marcadamente a incrementar el rendimiento de la uva Isabella como respuesta al incremento en el número de racimos de calidad comercial, pero no influyó en la calidad de la misma en las dosis y condiciones usadas en el presente ensayo.
- Se evidenció deficiencia de K^+ el tejido foliar de *V. labrusca* en la época de floración que es un momento crítico para la absorción de este elemento fundamental en la producción de uvas.
- Se presentó correlación positiva del K^+ soluble y el K^+ foliar y ambos correlacionaron positivamente con el rendimiento y el número de racimos por planta de la uva Isabella.

RECOMENDACIONES

- Evaluar dosis mayores de K_2SO_4 antes de floración para llevar el cultivo a un nivel óptimo en el suelo y en el follaje en esta etapa
-
- Profundizar en las relaciones entre Ca, Mg y K en suelos con presencia de arcillas 2:1 para establecer un balance adecuado para el cultivo de la vid.
-
- Determinar las curvas de Ca, Mg, K y Na en el agua del rio Bolo durante todo el año para que se establezca un modelo adecuado de predicción de su efecto en la solución del suelo.
-
- Mejorar el sistema de producción de la uva Isabella en el Valle del Cauca mediante la incorporación de sistemas de fertirrigación localizada que permita dosificar en forma mas racional el agua y los elementos nutritivos entre ellos el K^{+2}
-
- Establecer parámetros para la interpretación de los análisis de suelos tanto en la fase soluble como en la fase intercambiable en suelos de la zona plana del Valle del Cauca plantados con vid.
-
- Crear una línea de investigación permanente en el aprovechamiento de suelos con arcillas 2:1 que son muy comunes en la zona plana del Valle del Cauca pero que no han sido estudiados suficientemente.

Anexos

Anexo A. Análisis de suelos lote 7 hacienda Yundecito

CORPOICA

HACIENDA: YUNDECITO
 MUNICIPIO: PALMIRA VALLE CORREGIMIENTO: GUANABANAL
 LOTE: 7 - UVA

Ph V:V 1 a 1	CEa dS/m	MO W.B. %	P Bray II ppm	Ca	Cationes intercambiables			CIC	Ca/Mg	PSI	PMgl
					Mg	K	Na				
7,2	1,52	1,64	66,38	28,87	9,97	0,53	0,21	36,34	2,90	0,58	27,44

Saturación de bases %			micronutrientes ppm				Textura % Boyoucos			Clasific
Ca	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Arena	Limos	Arcillas	textural
72,94	1,34	0,3	5,06	18,23	4,41	1,08	16,40	52,00	31,60	FARL

Cationes solubles me/L				
Ca	Mg	K	Na	RAS
0,33	0,52	0,08	0,17	0,26

Anexo B: Concentraciones suficientes de macro y microelementos en tejidos en vid

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES INIA CHILE			Adaptado de Clarke et al (1986; 1997) 2008		
Juan Hirzel Campos Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.					
Niveles de referencia para el análisis foliar en vid vinífera.			Niveles de referencia para el análisis foliar en vid vinífera.		
Muestreo de peciolo al estado fenológico de floración.			Muestreo de láminas al estado fenológico de pinta.		
Nutriente	Unidad de medida	Nivel adecuado	Nutriente	Unidad de medida	Nivel adecuado
N	%	0,8 - 1,0	N	%	1,5 - 1,8
N-NO ₃	mg kg ⁻¹	570 - 1750	P	%	0,16 - 0,25
P	%	0,2 - 0,5	K	%	1,1 - 1,6
K	%	1,5 - 2,5	Ca	%	2,0 - 4,0
Ca	%	1,4 - 2,5	Mg	%	0,2 - 0,5
Mg	%	0,3 - 0,8	S	%	0,2 - 0,4
S	%	0,2 - 0,5	Na	%	0,05 - 0,12
Na	%	0,02 - 0,5	Cl	%	0,15 - 0,3
Cl	%	0,5 - 1,5	Fe	mg kg ⁻¹	40 - 100
Fe	mg kg ⁻¹	40 - 100	Mn	mg kg ⁻¹	40 - 100
Mn	mg kg ⁻¹	25 - 200	Zn	mg kg ⁻¹	25 - 40
Zn	mg kg ⁻¹	25 - 50	Cu	mg kg ⁻¹	18 - 34
Cu	mg kg ⁻¹	5,0 - 20,0	B	mg kg ⁻¹	30 - 50
B	mg kg ⁻¹	30 - 50			

Anexo C. Análisis foliar de *Vitis labrusca* en lote 7 hacienda Yundecito

INGENIO PROVIDENCIA
Laboratorio Químico de campo
Análisis de Tejido Foliar

HACIENDA: YUNDECITO
MUNICIPIO: PALMIRA VALLE CORREGIMIENTO: GUANABANAL
LOTE: 7 – UVA

DETERMINACION %							Micronutrientos ppm				
N	P	K	Ca	Mg	Na	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
2,01	0,37	0,66	1,06	0,31	0,02	0,15	28,04	19,84	248,01	244,71	42,99

METODOLOGIA DE ANALISIS

Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn: Digestión nitroperclórica

S: Turbiedad

P: Digestión nitroperclórica

N: Kjeldahl

B: Galmes Mitchel, 1979 (colorimetría)

Javier Jaramillo B

Jefe Laboratorio Químico de Campo

Anexo D. Norma técnica colombiana para uva Isabella ntc 5321

Fratas Frescas

Uva Isabella Especificaciones

INCONTEC, 2004

CLASIFICACIÓN

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5321



Figura 11. Categoría extra



Figura 12. Categoría I



Figura 13. Categoría II

Anexo E. Características químicas del suelo adecuadas para un huerto frutal o de uva de mesa, para diferentes texturas de suelo. (Hirzel C. J. 2008)

Elemento o variable Analizada	Unidad de medida	Nivel adecuado según textura	
		Franco arenosa a franco limo arenosa	Franco limosa a franco arcillosa
Materia orgánica	%	Mayor a 1,5	Mayor a 1,5
pH (agua 1:2,5)		6,2 – 7,0	5,8 – 6,8
Conductividad eléctrica	dSm ⁻¹	Menor a 1,5	Menor a 1,5
CIC	cmol(+)kg ⁻¹	8 - 15	15 - 30
Nitrógeno orgánico	mg kg ⁻¹	15 - 30	20 – 40
Fósforo Olsen	mg kg ⁻¹	Mayor a 15	Mayor a 20
Potasio intercambiable	cmol(+)kg ⁻¹	0,3 – 0,5	0,4 – 0,6
Calcio intercambiable	cmol(+)kg ⁻¹	7 - 10	8 - 12
Magnesio intercambiable	cmol(+)kg ⁻¹	1,0 – 1,5	1,2 – 2,0
Sodio intercambiable	cmol(+)kg ⁻¹	0,03 – 0,3	0,05 – 0,6
Suma de bases	cmol(+)kg ⁻¹	Mayor a 8	Mayor a 10
Relación de calcio sobre la CIC	%	60 - 65	55 – 65
Relación de magnesio sobre CIC	%	12 - 15	10 – 15
Relación de potasio sobre la CIC	%	2 - 3	3 – 4
Azufre	mg kg ⁻¹	Mayor a 8	Mayor a 10
Hierro	mg kg ⁻¹	2 - 4	2 – 10
Manganeso	mg kg ⁻¹	1 - 2	2 – 5
Zinc	mg kg ⁻¹	0,8 – 1,5	1 – 2
Cobre	mg kg ⁻¹	0,5 - 1	0,5 – 1
Boro	mg kg ⁻¹	0,8 – 1,5	1 – 2

Métodos: aquellos descritos por la CNA (Sadzawka et al., 2006)

Anexo F. ANOVA – Variable Calcio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: CaInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	52.5575000	10.5115000	0.45	0.7989
Error	6	139.3316667	23.2219444		
Total corregido	11	191.8891667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaInt Media
0.273895	23.17715	4.818915	20.79167

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	25.59583333	8.53194444	0.37	0.7796
bloque	2	26.96166667	13.48083333	0.58	0.5882

Anexo G. ANOVA - Variable Magnesio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: MgInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	3.42250000	0.68450000	1.25	0.3905
Error	6	3.28000000	0.54666667		
Total corregido	11	6.70250000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MgInt Media
0.510630	12.27169	0.739369	6.025000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	1.92250000	0.64083333	1.17	0.3955
bloque	2	1.50000000	0.75000000	1.37	0.3231

Anexo H. ANOVA - Variable Potasio intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: Kint

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.49714167	0.09942833	3.87	0.0650
Error	6	0.15415000	0.02569167		
Total corregido	11	0.65129167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Kint Media
0.763316	20.05667	0.160286	0.799167

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tto	3	0.18362500	0.06120833	2.38	0.1683
bloque	2	0.31351667	0.15675833	6.10	0.0358

Anexo I. ANOVA - Variable Ca+Mg/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgKInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1168.547625	233.709525	3.13	0.0985
Error	6	447.614867	74.602478		
Total corregido	11	1616.162492			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgKInt Media
0.723038	21.74768	8.637273	39.71583

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	422.1265583	140.7088528	1.89	0.2329
bloque	2	746.4210667	373.2105333	5.00	0.0527

Anexo J. ANOVA - Variable Ca/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaKInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	781.072292	156.214458	2.59	0.1390
Error	6	361.798733	60.299789		
Total corregido	11	1142.871025			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaKInt Media
0.683430	25.43288	7.765294	30.53250

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	284.6440917	94.8813639	1.57	0.2909
bloque	2	496.4282000	248.2141000	4.12	0.0749

Anexo K. ANOVA - Variable Mg/K intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: MgKInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	40.98518333	8.19703667	8.20	0.0118
Error	6	6.00008333	1.00001389		
Total corregido	11	46.98526667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MgKInt Media
0.872299	10.88937	1.000007	9.183333

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	15.62646667	5.20882222	5.21	0.0415
bloque	2	25.35871667	12.67935833	12.68	0.0070

Anexo L. ANOVA - Variable Ca/Mg intercambiable en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgInt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.68431667	0.13686333	0.39	0.8416
Error	6	2.12105000	0.35350833		

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Total corregido	11	2.80536667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgInt Media
0.243931	17.37649	0.594566	3.421667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.54910000	0.18303333	0.52	0.6853
bloque	2	0.13521667	0.06760833	0.19	0.8308

Anexo M. ANOVA - Variable Magnesio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: Mgsolu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.13578333	0.02715667	1.07	0.4608
Error	6	0.15278333	0.02546389		
Total corregido	11	0.28856667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mgsolu Media
0.470544	30.20330	0.159574	0.528333

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.08656667	0.02885556	1.13	0.4081
bloque	2	0.04921667	0.02460833	0.97	0.4327

Anexo N. ANOVA - Variable Calcio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: Casolu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.02930833	0.00586167	0.97	0.5021
Error	6	0.03618333	0.00603056		
Total corregido	11	0.06549167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Casolu Media
0.447512	25.81385	0.077657	0.300833

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.02149167	0.00716389	1.19	0.3906
bloque	2	0.00781667	0.00390833	0.65	0.5561

Anexo Ñ. ANOVA - Variable Potasio soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: Ksolu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.02353333	0.00470667	3.47	0.0808
Error	6	0.00813333	0.00135556		
Total corregido	11	0.03166667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ksolu Media
0.743158	34.51675	0.036818	0.106667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.00966667	0.00322222	2.38	0.1688
bloque	2	0.01386667	0.00693333	5.11	0.0505

Anexo O. ANOVA - Variable Ca+Mg/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgKsolu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	92.8509417	18.5701883	1.52	0.3098
Error	6	73.2108833	12.2018139		
Total corregido	11	166.0618250			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgKsolu Media
0.559135	31.05676	3.493109	11.24750

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	25.32089167	8.44029722	0.69	0.5897
bloque	2	67.53005000	33.76502500	2.77	0.1408

Anexo P. ANOVA - Variable Ca/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaKsol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	31.96764167	6.39352833	1.46	0.3256
Error	6	26.22265000	4.37044167		
Total corregido	11	58.19029167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaKsol Media
0.549364	29.64983	2.090560	7.050833

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	8.11262500	2.70420833	0.62	0.6280
bloque	2	23.85501667	11.92750833	2.73	0.1436

Anexo Q. ANOVA – Variable Mg/K soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: MgKsol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	16.07754167	3.21550833	1.63	0.2827
Error	6	11.81675000	1.96945833		
Total corregido	11	27.89429167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MgKsol Media
0.576374	33.42030	1.403374	4.199167

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	4.82542500	1.60847500	0.82	0.5300

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
bloque	2	11.25211667	5.62605833	2.86	0.1344

Anexo R. ANOVA - Variable Ca/Mg soluble en el suelo con la aplicación de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgsol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.12448333	0.02489667	3.67	0.0723
Error	6	0.04068333	0.00678056		
Total corregido	11	0.16516667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgsol Media
0.753683	4.782815	0.082344	1.721667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.03896667	0.01298889	1.92	0.2283
bloque	2	0.08551667	0.04275833	6.31	0.0335

Anexo S. ANOVA - Variable Magnesio en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: MgFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.46038333	0.09207667	2.29	0.1713
Error	6	0.24148333	0.04024722		
Total corregido	11	0.70186667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MgFol Media
0.655941	5.516511	0.200617	3.636667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.25326667	0.08442222	2.10	0.2020
bloque	2	0.20711667	0.10355833	2.57	0.1560

Anexo T. ANOVA - Variable Calcio en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: CaFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.01017500	0.00203500	2.87	0.1156
Error	6	0.00425000	0.00070833		
Total corregido	11	0.01442500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaFol Media
0.705373	5.142905	0.026615	0.517500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.00922500	0.00307500	4.34	0.0599
bloque	2	0.00095000	0.00047500	0.67	0.5460

Anexo U. ANOVA - Variable Potasio en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: Kfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.15380833	0.03076167	1.17	0.4198
Error	6	0.15768333	0.02628056		
Total corregido	11	0.31149167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Kfol Media
0.493780	9.128829	0.162113	1.775833

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.12569167	0.04189722	1.59	0.2865
bloque	2	0.02811667	0.01405833	0.53	0.6113

Anexo V. ANOVA - Variable Ca+Mg/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgKFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.23944167	0.04788833	6.39	0.0215
Error	6	0.04498333	0.00749722		
Total corregido	11	0.28442500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgKFol Media
0.841845	3.398881	0.086587	2.547500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.23609167	0.07869722	10.50	0.0084
bloque	2	0.00335000	0.00167500	0.22	0.8061

Anexo W. ANOVA - Variable Ca/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaKFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.24582500	0.04916500	6.92	0.0177
Error	6	0.04260000	0.00710000		
Total corregido	11	0.28842500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaKFol Media
0.852301	3.749121	0.084261	2.247500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.23602500	0.07867500	11.08	0.0074
bloque	2	0.00980000	0.00490000	0.69	0.5373

Anexo X. ANOVA - Variable Mg/K en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: MgKFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.00211667	0.00042333	0.69	0.6498
Error	6	0.00368333	0.00061389		
Total corregido	11	0.00580000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MgKFol Media
0.364943	8.258927	0.024777	0.300000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.00026667	0.00008889	0.14	0.9293
bloque	2	0.00185000	0.00092500	1.51	0.2950

Anexo Y. ANOVA - Variable Ca/Mg en tejido foliar de vid con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: CaMgFol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	7.00597500	1.40119500	6.39	0.0215
Error	6	1.31545000	0.21924167		
Total corregido	11	8.32142500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CaMgFol Media
0.841920	6.071086	0.468232	7.712500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	4.95182500	1.65060833	7.53	0.0186
bloque	2	2.05415000	1.02707500	4.68	0.0595

Anexo Z. ANOVA -Variable Número de racimos de uva Isabella con la aplicación al suelo de 4 dosis de K₂SO₄

Variable dependiente: Nracim

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1783.416667	356.683333	2.08	0.1995
Error	6	1029.500000	171.583333		
Total corregido	11	2812.916667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Nracim Media
0.634010	9.429381	13.09898	138.9167

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	1654.250000	551.416667	3.21	0.1041
bloque	2	129.166667	64.583333	0.38	0.7015

Anexo AA. ANOVA - Variable Peso por racimo de uva Isabella con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: PesoRac

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	53.61750000	10.72350000	2.10	0.1971
Error	6	30.71166667	5.11861111		
Total corregido	11	84.32916667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PesoRac Media
0.635812	2.245779	2.262435	100.7417

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	27.93583333	9.31194444	1.82	0.2440
bloque	2	25.68166667	12.84083333	2.51	0.1615

Anexo AB. ANOVA - Variable Rendimiento de uva Isabella con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: Rdto

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	42.45413175	8.49082635	2.11	0.1947
Error	6	24.12843650	4.02140608		
Total corregido	11	66.58256825			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Rdto Media

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Rdto Media
0.637616	9.685198	2.005344	20.70525

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	36.29926225	12.09975408	3.01	0.1164
bloque	2	6.15486950	3.07743475	0.77	0.5058

Anexo AC. ANOVA - Variable Longitud de racimo de uva Isabella con la aplicación al suelo de 4 dosis de K_2SO_4

Variable dependiente: LongRacim

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	0.17948333	0.03589667	0.57	0.7214
Error	6	0.37618333	0.06269722		
Total corregido	11	0.55566667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	LongRacim Media
0.323005	2.656232	0.250394	9.426667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tto	3	0.01366667	0.00455556	0.07	0.9725
bloque	2	0.16581667	0.08290833	1.32	0.3343

Bibliografía

BECERRA L., NAVIA S., ÑUSTES L. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar Criolla Guaneña en el departamento de Nariño. Revista Latinoamericana de la papa 14(1): 51 - 60

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.

BUENO, D. 1994. Dinámica química del potasio en algunos suelos de la zona plana del valle geográfico del río Cauca. Tesis MSc. Univ. Nac. Colombia en Palmira. 150p.

CADEA, 2007. ANALISIS FOLIAR: herramienta para el diagnóstico nutricional en vid. www.cadea.com.ar/analisis.htm.

CARBONELL, J.; AMAYA, A., ORTIZ, B. V.; QUINTERO, R.; ISAACS, C. H. 2001. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. Cali, Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia.

CASTRO, H. y GOMEZ M. 2010. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. En el libro CIENCIA DE L SUELO Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 1 – 72

CHIRINOS A. y GONZALEZ R. 2003 Caracterización del estado del Potasio de varias series de suelos del Valle medio del rio Yaracuy. CENIAP, Programa de suelos. Revista Agronomía Tropical 26(4): 281 – 302. Maracay, Venezuela.

CONTI, M. 2000. Dinámica de la liberación y fijación del potasio en el suelo. Archivo agronómico #4, Informaciones Agronómicas del cono sur #8. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

FAO, 2007 FAOStat Estadísticas database, agricultura, <http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>

FASSBENDER H.W. BOMEMISZA E. 1985 Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina, 2ª Edición, San José de Costa Rica, Costa Rica.

GALINDO, J.L.; TORO J.M.; GARCIA, A.O.; 2006 Manejo Técnico del Cultivo de la Vid en el Valle del Cauca. Centro de Investigación Vitivinícola Tropical de Ginebra CENIUVA – COLCIENCIAS. 54 p.

GARCIA, A. 2001. Fertilización y Nutrición de la uva Isabella. p 181 – 190 In SCCS Comité Regional del Valle del Cauca (ed). Manejo Productivo de suelos para cultivos de Alto Rendimiento. Palmira

GARCIA, A, 1996. Capítulo 6 del boletín técnico No. 1 “Manejo Técnico del Cultivo de la Vid en el Valle del Cauca”. Centro de Investigación Vitivinícola Tropical de Ginebra CENIUVA – COLCIENCIAS. Paginas 17 - 30.

GUERRERO, R.M., 1993. Fertilización en cultivos de clima cálido. Monómeros Colombo Venezolanos. Barranquilla. Páginas 13 - 33

HIDALGO, L. 1993. Tratado de Viticultura General. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. p 627 a 692.

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 Investigación Quilamapu. Chillan, Chile.

ICONTEC. 2004. Norma Técnica Colombiana Frutas frescas uva Isabella NTC 5321. Bogotá D. C. 20 p.

LORA, R., ROJAS, A., 1992. Fertilización en diversos cultivos, Quinta Aproximación. Manual de asistencia técnica # 25 Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Centro de Investigaciones Tibaitatá, Mosquera. Colombia 64 p.

LORA, R. 2010. Propiedades Químicas del Suelo. Capitulo II del libro CIENCIA DEL SUELO Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 73 – 138.

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1997 Evaluación del Estado Nutricional de las plantas, Principios y aplicaciones 2ª ed. Piraceaba; POTAFOS. 319 p.

MARTINEZ DE T. F., 1991. Biología de la vid. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. p 189 a 196.

MADERO E. M. 2007. Disponibilidad de K⁺ y elementos menores en el suelo. Trabajo presentado en el seminario sobre Vinazas en agricultura de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Corpoica 2007. 15 p.

MADERO E. M. 2010. Principios Elementales de Génesis y Clasificación de Suelos. En el libro CIENCIA DEL SUELO Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 1 – 72

MADR - MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, FONDO DE FOMENTO HORTOFRUTICOLA, ASOHOFrucOL, SAG. 2006. Plan Frutícola Nacional Valle del Cauca Tierra de frutas. Santiago de Cali. Colombia 85 p.

MEJIA de T. M.S. 2010. Conceptos sobre fisiología de absorción y funciones de los minerales en la nutrición de las plantas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. 120 p.

PALMA, J. 2003. Detección, seguimiento y control de soluciones nutritivas en tres variedades de uva de mesa de exportación. Segundo Seminario Internacional de Fertirriego organizado por SQMC, Santiago, Chile.

PALMA, J. 2006. Guía nutricional de Uva de Mesa. SQM. Santiago de Chile. Chile

PUERTO, O., GALINDO, J., GUTIERREZ I. 2003. Módulo de capacitación **Prácticas Culturales en el cultivo de la vid**. Proyecto Agronegocios de la Uva Isabella. Consorcio de la Uva Isabella – Banco Interamericano de Desarrollo BID. Valle del Cauca. Santiago de Cali., Colombia. 53p.

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE. 1980. Potassium for Agriculture - A Situation Analysis. Potash and Phosphate Institute, Atlanta. 216 p.

PUERTO, O., GALINDO, J., GUTIERREZ, I., MUÑOZ L.A. 2003. Módulo de capacitación **Instalación de un cultivo de Uva Isabella**. Proyecto Agronegocios de la Uva Isabella. Consorcio de la Uva Isabella – Banco Interamericano de Desarrollo BID. Valle del Cauca. Santiago de Cali., Colombia. 49p.

REYNIER, A. 2005 Manual de Viticultura. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. p 295 a 302.

RUIZ R. 2007. Efecto del estado del sistema radicular en la nutrición, sustentabilidad productiva y desórdenes fisiológicos de la uva de mesa. Trabajo presentado en el seminario Manejo de raíces en uva de mesa una necesidad para lograr Calidad, Condición y Productividad. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía.

SALGADO, O. 2008. La oferta de uvas de mesa de los países del Hemisferio Sur. Presentación en el IX Simposium Internacional de la Uva de Mesa “La nueva estrella de la renaciente agricultura peruana”. SIUVA, 2008, Ica Perú.

SIERRA, C. 2001. Fertilización en vides de mesa. Instituto de investigaciones agropecuarias, Centro de investigación Intihuasi, La Serena Chile. Boletín INIA # 74. 56 p.

VALDENZUELA I., TORRENTE. A. 2010. Física de Suelos. En el libro CIENCIA DEL SUELO Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Bogotá, Colombia. p 1 – 72