

**RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES EN EL  
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA MEDIANTE EL USO DE VINAZA  
CONCENTRADA**

**CARLOS ANDRÉS ROJAS CRUZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2005**

**RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES EN EL  
DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA MEDIANTE EL USO DE VINAZA  
CONCENTRADA**

**CARLOS ANDRÉS ROJAS CRUZ**

**Proyecto de grado para optar al título de  
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director  
ROBERTO BALDA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTA D.C.  
2005**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del director

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. 2005

NI LA UNIVERSIDAD, NI EL ASESOR, NI EL JURADO CALIFICADOR SON  
RESPONSABLES DE LAS IDEAS EXPUESTAS POR EL GRADUANDO.

(Artículo 95 del reglamento Estudiantil de la Universidad de La Salle)



## **DEDICATORIA:**

A mis padres, por brindarme la oportunidad de aprender...  
cualquier palabra que ocupe este espacio es demasiado pequeña para  
describir la inmensa felicidad que me han regalado.

A mi hermana, por apoyarme en los momentos difíciles.

A mi familia.

A las amigas y amigos de verdad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Sucromiles S.A. por el apoyo recibido para la realización de esta investigación y por brindarme la oportunidad de crecer como persona y profesional.

Al Ingeniero José Gonzalo Gnecco. Jefe, gracias por ser una guía admirable.

Al Doctor Álvaro García Ocampo, quien me dio los lineamientos para la ejecución de la investigación.

Al Ingeniero Roberto Rafael Balda, por sus invaluable aportes y dedicación para con sus estudiantes. Muchísimas gracias.

A la Universidad de La Salle y a la Facultad, por su entendimiento y colaboración.

A Félix, Miguel y Diana, personal del laboratorio de Investigación y Desarrollo de Sucromiles S.A.

Al doctor Gustavo Dávila, director del laboratorio de suelos de Corpoica Palmira, por su inmensa colaboración y ágil respuesta.

A Robinson, Aidelber y Edmilson, personal del laboratorio de suelos de Corpoica Palmira.

A los operarios de la Planta de Enmiendas, muchachos, gracias por colaborarme al máximo en las tareas propuestas.

A Ariel Gonzáles y Javier Corrales, por la ayuda recibida en la ejecución del experimento.

A Octavio, Andrea y Diego, excelentes compañeros de trabajo y colaboradores.

A Mario Ortiz por el apoyo incondicional de siempre y en especial el recibido durante la última semana. Gracias.

A usted, estimado(a) lector(a).

## **CONTENIDO**

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>31</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>34</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>35</b>
<b>1.1 SUELO</b>	<b>35</b>
<b>1.1.1 Fase sólida</b>	<b>35</b>
<b>1.1.1.1 Constituyentes minerales, inorgánicos o mecánicos</b>	<b>35</b>
<b>1.1.1.2 Constituyentes orgánicos</b>	<b>35</b>
<b>1.1.2 Fase líquida o solución del suelo</b>	<b>36</b>
<b>1.1.3 Fracción gaseosa</b>	<b>36</b>
<b>1.1.4 Fase biológica</b>	<b>36</b>
<b>1.2 DEGRADACION DEL SUELO</b>	<b>37</b>
<b>1.2.1 Suelos con problemas de sales</b>	<b>37</b>
<b>1.2.1.1 Suelos salinos</b>	<b>37</b>
<b>1.2.1.2 Suelos sódicos</b>	<b>37</b>
<b>1.2.1.3 Suelos magnésicos</b>	<b>37</b>

	<b>pág.</b>
<b>1.2.1.4 Suelos alcalinos</b>	<b>38</b>
<b>1.2.1.5 Suelos calcáreos</b>	<b>38</b>
<b>1.2.1.6 Combinaciones</b>	<b>38</b>
<b>1.3 ORIGEN DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES</b>	<b>39</b>
<b>1.3.1 Salinización primaria</b>	<b>39</b>
<b>1.3.2 Salinización secundaria</b>	<b>40</b>
<b>1.4 EFECTO DE LAS SALES Y IONES</b>	<b>40</b>
<b>1.4.1 Efectos sobre el suelo</b>	<b>40</b>
<b>1.4.1.1 Efecto de las sales</b>	<b>40</b>
<b>1.4.1.2 Efecto del sodio intercambiable</b>	<b>41</b>
<b>1.4.1.3 Efecto del magnesio intercambiable</b>	<b>42</b>
<b>1.4.2 Efectos en las plantas</b>	<b>42</b>
<b>1.4.2.1 Efecto Osmótico</b>	<b>42</b>
<b>1.4.2.2 Efecto de los Iones Específicos</b>	<b>43</b>
<b>1.5 RECUPERACIÓN CONVENCIONAL DE SUELOS SALINOS</b>	<b>44</b>
<b>1.5.1 Suelos salinos</b>	<b>45</b>
<b>1.5.2 Suelos sódicos</b>	<b>45</b>

	pág.
<b>1.5.3 Suelos magnésicos</b>	<b>47</b>
<b>1.6 VINAZA</b>	<b>47</b>
<b>1.6.1 Obtención</b>	<b>47</b>
<b>1.6.1.1 Preparación y dilución de melaza</b>	<b>47</b>
<b>1.6.1.2 Reproducción de levadura</b>	<b>47</b>
<b>1.6.1.3 Fermentación de alcohol</b>	<b>47</b>
<b>1.6.1.4 Destilación de alcohol</b>	<b>49</b>
<b>1.6.1.5 Producción de Vinaza</b>	<b>49</b>
<b>1.6.2 Caracterización</b>	<b>49</b>
<b>1.6.2.1 Compuestos orgánicos</b>	<b>51</b>
<b>1.6.2.2 Características contaminantes</b>	<b>52</b>
<b>1.6.2.3 Clasificación CRETIP</b>	<b>52</b>
<b>1.6.3 Usos</b>	<b>53</b>
<b>1.6.4 Fundamento del uso de la vinaza como agente recuperador de suelos afectados por sales</b>	<b>55</b>
<b>1.6.4.1 Intercambio iónico en resinas</b>	<b>55</b>
<b>1.6.4.2 Composición de los intercambiadores del suelo</b>	<b>58</b>
<b>1.6.4.2.1 Arcillas</b>	<b>58</b>
<b>1.6.4.2.2 Materia orgánica</b>	<b>60</b>
<b>1.6.4.3 Desarrollo de carga eléctrica en suelos</b>	<b>60</b>

	pág.
1.6.4.3.1 Carga permanente	61
1.6.4.3.2 Carga dependiente del pH	61
1.6.4.4 Expansión o hinchamiento de arcillas	61
1.6.4.5 Doble capa difusa	62
1.6.4.6 Dispersión de arcillas	64
1.6.4.7 Teoría de <i>Letey &amp; Shainberg</i> acerca del nivel crítico de Floculación	65
1.6.4.8 Poder intercambiador de diferentes cationes y selectividad de intercambio	66
1.6.4.9 Efecto sobre las propiedades microbiológicas	67
<b>1.7 EXPERIENCIAS EN RECUPERACIÓN DE SUELOS CON MEJORADORES NO CONVENCIONALES</b>	<b>67</b>
1.7.1 Adición de aguas salinas	67
1.7.2 Uso de Vinaza <sup>10</sup>	69
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>70</b>
<b>2.2 MATERIALES</b>	<b>70</b>
2.2.1 Suelos	70
2.2.2 Agua	73

	pág.
2.2.3 Vinaza concentrada	74
2.3 MÉTODOS	74
2.3.1 Preparación de las columnas	75
2.3.2 Métodos analíticos	77
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	77
2.4.1 Factores, niveles y repeticiones	77
2.4.2 Definición de variables	79
2.4.2.1 Variable de control del proceso	79
2.4.2.2 Variables de operación en el proceso	81
2.4.2.3 Variables de respuesta	82
2.4.3 Hipótesis planteadas	82
2.4.4 Manejo estadístico	82
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
3.1 CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS SUELOS	83
3.1.1 Propiedades químicas	83
3.1.2 Propiedades físicas	85

	pág.
<b>3.2 CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LA VINAZA Y EL AGUA UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO</b>	<b>86</b>
<b>3.3 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS</b>	<b>87</b>
3.3.1 Efectos sobre el suelo	88
3.3.2 Efectos sobre las aguas percoladas	106
<b>4. APLICACIÓN EN CAMPO</b>	<b>114</b>
<b>4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO</b>	<b>114</b>
4.1.1 Caracterización química	115
4.1.2 Caracterización física	115
4.1.3 Estudios freaticométricos	115
4.1.4 Levantamiento topográfico	115
<b>4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE</b>	<b>116</b>
4.2.1 Drenaje	116
4.2.2 Materiales del drenaje interno.	117
<b>4.3 INSTALACIÓN DEL DRENAJE SUBTERRÁNEO ENTUBADO</b>	<b>118</b>
<b>4.4 NIVELACIÓN Y ADECUACIÓN DEL TERRENO</b>	<b>119</b>



	<b>pág.</b>
<b>4.5 APLICACIÓN DE LA VINAZA</b>	<b>119</b>
<b>4.6 LAVADOS</b>	<b>120</b>
<b>4.7 MONITOREOS DE LAS AGUAS PERCOLADAS</b>	<b>120</b>
<b>4.8 ANÁLISIS DE SUELOS</b>	<b>120</b>
<b>4.9 SIEMBRA</b>	<b>120</b>
<b>4.10 MONITOREO DE SUELOS</b>	<b>121</b>
<b>5. ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	<b>122</b>
<b>5.1 COSTOS COMUNES DEL TRATAMIENTO</b>	<b>122</b>
<b>5.2 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON VINAZA60</b>	<b>124</b>
<b>5.3 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON YESO AGRÍCOLA</b>	<b>126</b>
<b>5.4 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON AZUFRE AGRÍCOLA</b>	<b>127</b>
<b>5.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS TRES ENMIENDAS</b>	<b>127</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>

	<b>pág.</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>136</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>138</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>143</b>

## **LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1. Valor de floculación para dos tipos de arcillas al agregarles soluciones salinas</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 2. Valor de floculación para dos tipos de arcillas a diferentes valores de PSI en el suelo</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3. Resumen de mejoradores comunes usados para tratar suelos sódicos</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 4. Propiedades físico-químicas de la vinaza concentrada</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 5. Composición orgánica de la vinaza concentrada</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 6. Caracterización de la vinaza para tratamiento anaerobio</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 7. Clasificación CRETIP Vinaza60</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 8. Resumen de usos dados a la Vinaza60</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 9. Relación entre radios deshidratados y agua de hidratación para varios cationes</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 10. Resumen investigación en adición de aguas electrolíticas en la recuperación de suelos salino-sódicos</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 11. Resumen experiencia en el manejo de suelos afectados por salinidad: el caso Guadualito</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 12. Resumen métodos analíticos usados en el experimento</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 13. Cabeza hidráulica de las dosis de Vinaza60 a aplicar en el experimento</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 14. Agua Adicionada a Vinaza60 para aportar la cabeza hidráulica necesaria a las columnas de suelo</b>	<b>80</b>

<b>Tabla 15. Concentración final de la vinaza usada en el experimento</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 16. Características químicas iniciales de los suelos usados en el experimento</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 17. Textura y densidad real de tres suelos del Valle del Río Cauca usados en el experimento</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 18. Propiedades de la vinaza concentrada usada en el experimento</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 19. Propiedades del agua usada en el experimento</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 20. Composición de la fase intercambiable de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca tratados con varias dosis de vinaza</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 21. Composición de la soluble de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca tratados con varias dosis de vinaza</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 22. Conductividad hidráulica de los suelos tratados</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 23. Volumen promedio de agua adicionada a las columnas y de lixiviados obtenidos en los tres suelos</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 24. Costos estimados por hectárea del sistema de drenaje agrícola</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 25. Costos estimados por hectárea de terreno salino-sódico tratado con Vinaza<sup>60</sup></b>	<b>125</b>
<b>Tabla 26. Costos por hectárea del tratamiento con Yeso Agrícola</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 27. Costos por hectárea del tratamiento con Azufre Agrícola</b>	<b>127</b>
<b>Tabla 28. Resumen de producciones de caña de azúcar cultivada en terrenos salino-sódicos tratados y recuperados con Vinaza<sup>10</sup></b>	<b>129</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Composición del suelo.	36
Figura 2. Representación del deterioro del suelo en función de la productividad.	37
Figura 3. Agregación de las partículas del suelo	41
Figura 4. Representación del Efecto Osmótico	43
Figura 5. Diagrama de bloques producción de etanol llevada a cabo en Sucromiles S.A.	48
Figura 6. Esquematización del proceso de ablandamiento de agua usando resinas sintéticas.	57
Figura 7. Representación de las unidades de coordinación de la arcilla	58
Figura 8. Estructura cristalina de una arcilla tipo 1:1	59
Figura 9. Estructura cristalina de una arcilla tipo 2:1	59
Figura 10. Estructura del ácido húmico	60
Figura 11. Representación de láminas de montmorillonita sin expansión	62
Figura 12. Capa doble difusa en arcillas presentes en los suelos	63
Figura 13. Espesor de la capa doble difusa en las arcillas del suelo	64
Figura 14. Laminillas de arcilla dispersas	64
Figura 15. Dispersión del suelo por contenido de $\text{Na}^+$ Vs. Suelo normal no disperso	65
Figura 16. Suelo 1 ( <i>Typic Pellustert</i> ), Hacienda La Rosaura. Palmira, Valle del Cauca.	71

	pág.
<b>Figura 17. Suelo 2 (<i>Udic Pellustert</i>), Hacienda La Cabaña. Palmira, Valle del Cauca.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 18. Suelo 3 (<i>Udic Pellustert</i>), Hacienda La Cabaña. Palmira, Valle del Cauca</b>	<b>73</b>
<b>Figura 19. Recipientes de almacenamiento del agua de pozo usada</b>	<b>73</b>
<b>Figura 20. Comportamiento mecánico de la vinaza concentrada vs. diluida</b>	<b>74</b>
<b>Figura 21. Esquema de las columnas usadas en el experimento</b>	<b>75</b>
<b>Figura 22. Montaje Columnas para el experimento</b>	<b>77</b>
<b>Figura 23. Comportamiento probable de la recuperación del suelo vs. dosis de Vinaza60 aplicada</b>	<b>79</b>
<b>Figura 24. Cabeza Hidráulica Requerida para permitir el paso de la vinaza a través del perfil del suelo</b>	<b>81</b>
<b>Figura 25. Condiciones de mal drenaje en suelo 3 (<i>Udic Pellustert</i>), Hacienda la Cabaña</b>	<b>85</b>
<b>Figura 26. Porcentaje de sodio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca luego de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.</b>	<b>91</b>
<b>Figura 27. Sodio intercambiable luego en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>91</b>
<b>Figura 28. Sodio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>92</b>
<b>Figura 29. Relación de adsorción de sodio en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>93</b>
<b>Figura 30. Conductividad eléctrica en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>94</b>

	pág.
<b>Figura 31. Reacción de tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>95</b>
<b>Figura 32. Porcentaje de magnesio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>96</b>
<b>Figura 33. Efecto de la aplicación de vinaza concentrada sobre el Magnesio intercambiable de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca</b>	<b>96</b>
<b>Figura 34. Magnesio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca Después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>97</b>
<b>Figura 35. Calcio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>98</b>
<b>Figura 36. Calcio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>98</b>
<b>Figura 37. Potasio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>99</b>
<b>Figura 38. Potasio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>100</b>
<b>Figura 39. Conductividad hidráulica en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada</b>	<b>102</b>
<b>Figura 40. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 1 (salino-sódico) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento</b>	<b>102</b>
<b>Figura 41. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 2 (salino-magnésico) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento</b>	<b>103</b>
<b>Figura 42. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 3 (salino-alcalino) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento</b>	<b>103</b>

	pág.
<b>Figura 43. Colores de reacciones de reducción en suelo 1, aplicación de 100 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada</b>	<b>104</b>
<b>Figura 44. Colores de reacciones de reducción en suelo 1, aplicación de 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada</b>	<b>105</b>
<b>Figura 45. Colores de reacciones de reducción en suelo 2, aplicación de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada</b>	<b>105</b>
<b>Figura 46. Colores de reacciones de reducción en suelo 3, aplicación de 300 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada.</b>	<b>106</b>
<b>Figura 47. Comportamiento del Na<sup>+</sup> en los lixiviados del suelo 1</b>	<b>108</b>
<b>Figura 48. Comportamiento de la CE en los lixiviados del suelo 1</b>	<b>108</b>
<b>Figura 49. Comportamiento del Mg<sup>+2</sup> en los lixiviados del suelo 3</b>	<b>109</b>
<b>Figura 50. Coloración típica de los lixiviados obtenidos en los tratamientos con vinaza</b>	<b>110</b>
<b>Figura 51. Coloración típica de los lixiviados obtenidos de las columnas testigo a las que se le aplicó agua de pozo</b>	<b>111</b>
<b>Figura 52. Comparación de las coloraciones finales típicas obtenidas entre tratamiento con vinaza Vs. testigo</b>	<b>111</b>
<b>Figura 53. Secuencia del modelo de aplicación de vinaza en campo</b>	<b>114</b>
<b>Figura 54. Mantos freáticos colgados</b>	<b>115</b>
<b>Figura 55. Esquemas de sistemas de drenaje agrícola</b>	<b>117</b>
<b>Figura 56. Zanjadora-entubadora para instalación de tubería de drenaje</b>	<b>118</b>
<b>Figura 57. Esquema aplicación de vinaza en campo</b>	<b>119</b>
<b>Figura 58. Esquema de lavado en campo</b>	<b>120</b>
<b>Figura 59. Costo de recuperación de suelos salino-sódicos usando tres diferentes enmiendas</b>	<b>128</b>



	pág.
<b>Figura 60. Flujo de caja para costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación con Vinaza60</b>	<b>130</b>
<b>Figura 61. Flujo de caja para costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación con Yeso y/o Azufre Agrícola</b>	<b>130</b>
<b>Figura 62. Valor presente de costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación para tres enmiendas diferentes</b>	<b>131</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A. Área cultivable del Valle del Río Cauca**

**Anexo B. Creciente generación de Vinaza en el Valle del Cauca**

**Anexo C. Ejemplos de la ecuación del efecto osmótico**

**Anexo D. Resistencia de cultivos al  $\text{Na}^+$  intercambiable**

**Anexo E. Clasificación taxonómica de suelos**

**Anexo F. Esquema de la distribución de las columnas experimentales**

**Anexo G. Resultados análisis de laboratorio características químicas  
finales de los suelos**

**Anexo H. Análisis estadístico de los resultados de las características  
químicas finales de los suelos**

**Anexo I. Gráficos de resultados analíticos efectuados sobre los  
lixiviados obtenidos en el experimento**

**Anexo J. Ejemplo cálculo sistema de drenaje**

**Anexo K. Plano sistema de drenaje en la Hacienda Guadualito**

**Anexo L. Cotizaciones construcción sistema de drenaje agrícola**

## GLOSARIO

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO:** la CIC es una propiedad importante de suelos, especialmente de las arcillas, se define como la sumatoria de las posiciones de intercambio que tiene un suelo y es equivalente al número de cargas negativas que posee. Su determinación se hace estableciendo la cantidad de cationes fácilmente desplazables que se encuentran neutralizando las cargas negativas en el suelo. Su valor depende de la cantidad y tipo de arcillas, ya que son las que retienen los cationes, y de la cantidad de materia orgánica que el suelo contenga, porque esta ayuda a contrarrestar la lixiviación de los cationes. Sus unidades son meq/100gr de suelo, actualmente se propone la unidad de centimole por kilogramo de suelo.

**CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE SUELOS:** Agrupación sistemática de los suelos dentro de un grupo o una categoría teniendo como base sus características. La denominación de los suelos de un área se basa en un sistema internacional propuesto por el servicio de conservación de recursos naturales de la secretaría de agricultura de los Estados Unidos, llamado “keys To Soil Taxonomy”

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:** propiedad de un cuerpo, sustancia o elemento para conducir a través de él la corriente eléctrica. En el caso del suelo esta propiedad depende de los iones disueltos que contenga su fase líquida, por lo que su medida es un indicador de la salinidad de un suelo. Sus unidades son dS/m (decisiemens por metro)

**CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA:** es la medida de la permeabilidad de un suelo y de acuerdo a la Ley de Darcy, es la relación existente entre la velocidad de un flujo en el suelo y su gradiente hidráulico, se denota por la letra “K”. Se expresa generalmente en cm/día o m/día.

**DENSIDAD APARENTE:** es la relación entre la masa de un suelo seco y no perturbado y el volumen total, que incluye el volumen de sólidos y poros. Su valor depende del volumen de los poros por lo que la densidad aparente de un suelo suelto y poroso es baja mientras que para suelos compactos este valor es mayor. Sus unidades son  $\text{gr/cm}^3$ .

**DENSIDAD REAL:** se designa de esta forma a la densidad de la fase sólida, es decir, sin tener en cuenta el volumen que ocupan los poros del suelo. Esta característica guarda relación con la composición mineralógica y el contenido de materia orgánica del suelo. Sus unidades son  $\text{gr/cm}^3$ .

**ENMIENDA:** compuesto generalmente inorgánico para corregir el pH de un suelo o para mejorar suelos salinos.

**ESTRUCTURA DEL SUELO:** morfológicamente se define en función de la manera como se agrupan las partículas primarias de arena, limo y arcillas para formar agregados individuales de forma y tamaño similares, de tal manera que se tienen estructuras laminar, prismática, columnar, granular, de bloques cúbicos y subangulares, entre otras. La estructura tiene un efecto directo sobre algunas propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, la tasa de infiltración, la densidad aparente y la porosidad.

**EXTRACTO DE SATURACIÓN:** se obtiene al adicionarle agua a una muestra de suelo seco hasta que llega al punto de saturación (pasta saturada), luego se extrae una solución aplicándole vacío a la pasta saturada. La determinación de la Conductividad Eléctrica y la Concentración de diversos iones presentes en la fase líquida del suelo se hace a través del extracto de saturación.

**GRADIENTE HIDRÁULICO:** es la relación entre la diferencia de energía hidráulica medida entre dos puntos y la distancia que los separa.

**HORIZONTE:** Capa del suelo paralela a la superficie de la tierra que tiene características distintivas producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo.

**INFILTRACIÓN:** conocida comúnmente como tasa de infiltración, cuantifica la velocidad de descenso del agua en las primeras capas del suelo bajo la acción de la gravedad. También puede tomarse como la cantidad de tiempo que una lámina de agua debe permanecer sobre la superficie del suelo para permitir un humedecimiento adecuado hasta una profundidad determinada. Depende del grado de humedad del suelo. Sus unidades son generalmente expresadas en cm/hr.

**IÓN INTERCAMBIABLE:** los componentes sólidos, inorgánicos y orgánicos del suelo poseen cargas electrostáticas en su superficie, de igual manera sucede con los elementos disueltos en la fase líquida del suelo, así que muchos de estos pueden ser atraídos por las cargas opuestas de la fase sólida y quedar adheridos a la partícula del suelo. Dependiendo de la valencia de los iones disueltos y de su tamaño, la partícula de suelo puede tener mayor o menor poder cambiador sobre un ion dado y de esta manera puede cambiar un ion de menor fuerza de retención por uno de mayor.

**MATERIAL PARENTAL:** material orgánico o mineral, no consolidado y más o menos meteorizado, desde el cual se ha desarrollado el suelo por procesos como hidrolización, oxidación, etc.

**METEORIZACIÓN:** es el conjunto de cambios físicos y químicos producidos en las rocas y en los relieves de la superficie terrestre por acción de los agentes atmosféricos.

**PERFIL DE SUELO:** Corte vertical de un suelo de una porción superficial de la corteza terrestre que exhibe todos los horizontes que lo integran. Su composición difiere ampliamente de región a región. En general, los suelos tienen de tres a cinco horizontes y se clasifican en horizontes orgánicos (designados con la letra O) y horizontes minerales (con las letras A, B, C).

**PERMEABILIDAD:** característica del suelo que permite que el agua penetre en él a través de sus poros y se dirija hacia las capas inferiores o subsuelo.

**PORCENTAJE DE MAGNESIO INTERCAMBIABLE:** el PMgl se define como la relación entre la concentración del magnesio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico de un suelo dado.

**PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE:** el PSI se define como la relación entre la concentración del sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico de un suelo dado.

**POROSIDAD DEL SUELO:** la porosidad del suelo esta representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. Depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo, lo más corriente es que los suelos con elementos gruesos presenten poros también gruesos y los suelos limosos y arcillosos, huecos muy numerosos pero de pequeño tamaño. De acuerdo al tamaño de los poros se habla de macro y microporosidad.

**TEXTURA DEL SUELO:** es una medida de la proporción de las partículas de arena, limo y arcilla en la tierra fina del suelo, es decir en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 2mm. Esta propiedad califica a los suelos como arenosos, arcillosos, francos, franco-limosos, etc.

## RESUMEN

En Sucromiles S.A, empresa localizada en Palmira, Valle del Cauca, se llevó a cabo un estudio para observar el comportamiento de la vinaza concentrada (55-60% de sólidos totales, obtenida a partir de la fermentación de melaza) sobre las condiciones de suelos afectados por problemas de sales.

Se usaron tres tipos de suelos: salino-sódico (Typic Pellustert)), salino-magnésico (Udic Pellustert), y ligeramente salino-alcálico (Udic Pellustert), los cuales fueron seleccionados de acuerdo a sus propiedades químicas. Los suelos provienen de Palmaseca y Roza, Valle del Cauca. Estas zonas se caracterizan por ser las más típicas en suelos afectados por problemas de suelos en Colombia.

Se empacaron veinte columnas por cada suelo (densidad de suelo seco 1,50 gr/c.c) a una altura de 40 cm en tubos de PVC de 1,00 m de altura y 10,70 cm de diámetro. El diseño de experimentos fue completamente aleatorizado con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron las diferentes dosis de aplicación de vinaza: 0, 100, 200, 300 y 400 m<sup>3</sup>/ha. El volumen de aplicación de la vinaza fue el equivalente a dos veces el volumen de poros del suelo empacado, para lo cual fue necesario diluir la vinaza en agua hasta que se alcanzó dicho volumen. Una vez la vinaza pasó a través de la columna de suelo empacado, se aplicó el agua de lavado simulando las condiciones de lavado en campo de los suelos. Los volúmenes de líquidos percolados fueron recolectados, medidos y analizados periódicamente. El experimento fue parado cuando la concentración de Sodio, y/o Magnesio así como la conductividad eléctrica en los efluentes se estabilizó o cuando fue muy baja. En ese momento, se realizaron análisis químicos a los suelos empacados. La conductividad hidráulica también fue determinada.

La adición de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada en el suelo salino-sódico redujo la concentración de sodio intercambiable y el PSI (porcentaje de sodio intercambiable) hasta valores más bajos que los valores críticos para suelos sódicos. La conductividad eléctrica también se redujo desde 10,28 dS/m a 3,12 dS/m.

La aplicación de vinaza concentrada a suelos salino-magnésicos y ligeramente salinos y alcalinos no presentó cambios estadísticamente significativos sobre las condiciones de los suelos. Sin embargo, a medida que la dosis de vinaza concentrada aumentó se redujeron ligeramente los valores para el sodio intercambiable, el PSI y el PMgl (porcentaje de magnesio intercambiable) en el caso del suelo ligeramente salino y alcalino.

En los tres suelos la conductividad hidráulica promedio fue muy baja, sin embargo se obtuvo una buena conductividad en los primeros veinte días del experimento. Por esta razón y luego de analizar los resultados obtenidos se recomienda hacer la aplicación de la dosis vinaza en forma fraccionada en varias dosis menores, Adicionalmente, se recomienda no aplicar el agua de lavado bajo condiciones de una cabeza hidráulica permanente.

La viabilidad económica de la recuperación de suelos salinos sódicos usando vinaza concentrada fue probada luego de realizar una comparación económica entre el tratamiento con vinaza concentrada y los tratamientos de recuperación tradicionales usando Yeso y Azufre agrícola.

## ABSTRACT

At Sucromiles S.A., located in Palmira, Valle del Cauca, a study was carried out to observe the concentrate vinasse (55-60% total solids, obtained from molasses fermentation) behaviour on the saline conditions of soils.

Three types of soils were used: saline-sodic (Typic Pellustert), saline-magnesian (Udic Pellustert) and low saline-alkaline (Udic Pellustert), which were selected according to their chemistry properties. These soils come from Palmaseca and Roza, Valle del Cauca which zones have the most typical saline soils in Colombia.

Twenty columns of each soil were packed (bulk density 1,50 gr/cc) up to 40 cm in PVC tubes 1,00 m height and 10,70 cm in diameter. The experimental design was randomised with five treatments and four repetitions. The treatments were variations in the vinasse amount per hectare: 0, 100, 200, 300 and 400 m<sup>3</sup>/ha. The volume of the applied vinasse was equivalent to twice the volume of soil pores, for which it was necessary to dilute the vinasse in water until that volume was reached. Once the vinasse was depleted, washing water was applied to simulate the natural leaching of soils. The percolation liquid volume was collected, measured, and analysed periodically. The column wash out was stopped when the sodium, magnesium concentration and electric conductivity in the effluent were stable or very low. Then, lab tests were conducted on the soil columns. Also the hydraulic conductivity was established.

The addition of 200 m<sup>3</sup>/ha of concentrate vinasse in the saline-sodic soil reduced the exchangeable sodium concentration and the ESP (exchangeable sodium percent) to lower levels than the reference sodic soils. The electric conductivity was also reduced from 10, 28 up to 3,12 dS/m.

The concentrate vinasse application to saline-magnesian and low saline-alkaline soils did not show significant changes on the soil conditions. Nevertheless, when the vinasse amount per hectare was increased the exchangeable sodium concentration, the ESP and the EMgP (exchangeable magnesium percent) slightly decreased in the saline-alkaline soil.

In the three soils mentioned above, the hydraulic conductivity average was very low, however a good conductivity was only obtained during the first twenty (20) days of experimentation. Hence, after analysing the experimental results it was advised to divide the vinasse application into several doses. Additionally, the leach water does not have to be applied under a permanent hydraulic head.



The economic viability of the saline-sodic soil recovery by concentrate vinasse application was proved after an economic comparison between the treatment with concentrate vinasse and conventional treatments with gypsum and/or sulphur.

## INTRODUCCIÓN

Una de las formas de contaminación dentro del ámbito de los suelos tiene que ver con procesos de empobrecimiento como son la desertización, la erosión y la salinización; este último consiste en la acumulación de sales en la capa arable del suelo, las cuales causan efectos negativos sobre las propiedades físicas y químicas del mismo, así como sobre las plantas.

El mapa de suelos publicado por la FAO y UNESCO en 1964, registraba 130 millones de hectáreas con problemas de salinización en Suramérica<sup>1</sup>. A nivel mundial, para el año 2000, estaban afectadas aproximadamente 950 millones de hectáreas, un tercio de la tierra cultivable<sup>2</sup>.

A nivel nacional, en las zonas más bajas y en zonas arcillosas del Valle del Río Cauca, se presentan fenómenos de suelos salinos, sódicos, salino-sódicos y salino-magnésicos. Según González,<sup>3</sup> desde el punto de vista geomorfológico, estos suelos, particularmente en sus terrazas bajas (que son suelos arcillosos de baja o poca permeabilidad), tienden a la magnesificación y sodificación.

En adición a lo anterior, González 1981 y Gómez 1993, citados por Torrente<sup>4</sup>, encontraron que el orden de dilución de los cationes del material parental, formador de los suelos de la parte plana (diabasas y cenizas volcánicas procedentes de las cordilleras del Valle del Cauca) era  $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+} > K^{+}$ ; también indicaron que las arcillas illita, montmorillonita, caolinita y vermiculita de las terrazas baja y media, tienden a acumular  $Mg^{+2}$  y  $Na^{+}$ . Estas zonas presentan suelos arcillosos, pobre drenaje, pH alcalino, procesos de acumulación de  $Mg^{+2}$  intercambiable y, posiblemente, de neoformación de arcillas vermiculíticas.

Además de esto, en esta región el régimen de evaporación es más alto que el de precipitación. En el período comprendido entre febrero de 2004 y agosto de 2005, la precipitación diaria promedio fue de 2.63 mm mientras que la evaporación diaria promedio fue de 4.21 mm<sup>5</sup>. La evapo-transpiración alcanza un promedio histórico de 5.5 mm/día. Esto ocasiona un bajo nivel de lavado natural del suelo que sumado al hecho de que en muchos casos el agua de riego para los cultivos

---

<sup>1</sup> [http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/0/LCG2110/lcg2110e\\_V.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/0/LCG2110/lcg2110e_V.pdf)

<sup>2</sup> Enciclopedia Temática MEGA 2000, sección medio ambiente. Colombia: Norma, 2000.

<sup>3</sup> GONZALEZ, A. Aproximación al origen de los suelos afectados por sales y/o sodio en el Valle del Cauca. En: Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1979. p.16-38.

<sup>4</sup> TORRENTE T, Armando. Características físicas e hidrodinámicas en suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Río Cauca. Colombia: 2003. Tesis Ph.D. 202 p.

<sup>5</sup> [http://www.cenicana.org/clima/datos\\_diarios.php](http://www.cenicana.org/clima/datos_diarios.php) (Datos para la estación del CIAT, Palmira)

proviene de acuíferos superficiales y sub-subperforiales, caracterizados por tener aguas con concentraciones electrolíticas apreciables, lo cual brinda las condiciones para que las sales contenidas en las aguas se concentren en el perfil del suelo causando su salinización, sodificación y/o magnesificación.

Se ha estimado que de las 311.704<sup>6</sup> hectáreas cultivables con las que cuenta el departamento del Valle del Cauca ...Ver anexo A..., alrededor del 49% (150.000 ha) se encuentran afectadas actualmente por problemas de salinidad en sus diferentes manifestaciones.

En otras zonas del país el fenómeno se presenta en menor proporción, como en el caso del Valle del Magdalena (distritos de riego totalmente salinizados en Saldaña y Coello), en Cundinamarca, especialmente en Fusa, Mosquera y Facatativa; y últimamente en los Llanos Orientales. Desde el sur de la Guajira hasta las vertientes de los Montes de María, en el valle del río Cesar, con una extensión aproximada a 2 millones 500 mil hectáreas, convierten a la Costa Atlántica en la región colombiana con mayor salinidad en sus suelos.<sup>7</sup>

Generalmente el tratamiento convencional de estos suelos conlleva largos periodos de recuperación<sup>8</sup>, por tal motivo se ha estudiado el uso de agentes recuperadores alternos tales como la Vinaza<sup>10</sup> (subproducto líquido de la producción de Etanol con un contenido de sólidos de 10% m/m) en suelos salino-sódicos del Valle del Cauca. Los resultados obtenidos han sido buenos y se presentan en poco tiempo, sin embargo el costo de su transporte hasta el suelo a recuperar es muy elevado, lo cual restringe su uso.

Las zonas afectadas requieren de soluciones prácticas, eficientes y económicas que permitan su retorno a la producción de alimentos y otros bienes en forma económica y ambientalmente sostenible. El uso de vinaza concentrada (Vinaza60) no ha sido evaluado aún y no se conoce si la concentración contribuye a aumentar su acción sobre los suelos afectados por iones con efectos deletéreos. Tampoco se ha determinado una dosis óptima de acuerdo al tipo de suelo y de afección salina predominante, labores que es urgente realizar con el objeto de darle una plena utilización a este subproducto que constituye una herramienta valiosa para el manejo de los suelos afectados por sodio y/o magnesio. El análisis económico de su utilización en comparación con otras enmiendas es también de prioritaria urgencia.

---

<sup>6</sup> GÓMEZ G, Carlos. Distribución del magnesio en los suelos del Valle del Cauca. En: Memorias del VI congreso colombiano de la asociación de técnicos de la caña de azúcar, Volumen 1. Tecnicaña. 2003. p.254.

<sup>7</sup> <http://mafalda.univalle.edu.co/~aupec/AUPEC/octubre96/salinos.html>

<sup>8</sup> Ibid.

Para complementar lo expuesto anteriormente se tiene que el panorama nacional actual en cuanto a la generación de vinaza es el siguiente:

Existen dos líneas básicas de producción de Etanol, potable e impotable\*. La primera con destino a la fabricación de licores, es una actividad que constituye el monopolio rentístico de los entes departamentales y la segunda de carácter privado, es para usos industriales como insumo para la industria farmacéutica, en la elaboración de solventes, ácidos orgánicos como el acético, entre otros. Con la inclusión de la Ley 693 de 2001\*\* se estimula la libre competencia en cuanto a la producción de alcoholes impotables, y como tal, podrán participar las personas naturales y jurídicas de carácter público o privado en igualdad de condiciones (en la actualidad entiéndase ingenios azucareros), lo que conlleva a la creación de nuevas destilerías y al consiguiente aumento de Vinazas generadas ...Ver anexo B...

Las implicaciones de esta ley en cuanto al componente ambiental son a la vez positivas y negativas ya que Corpodib y Colmotores<sup>9</sup> indican que la mezcla 10% etanol y 90% gasolina corriente, disminuye las emisiones de dióxido de carbono en 6 millones ton/año; esto representa una ayuda considerable a la reducción de emisiones atmosféricas de hidrocarburos. Sin embargo, la generación de Vinaza representa un reto para que su uso y disposición conlleve el menor impacto negativo posible sobre el medio ambiente, ya que este subproducto presenta una alta carga contaminante debido a su contenido de materia orgánica y de sólidos suspendidos totales.

**SUCROMILES S.A.**\*\*\*, dado su interés por el medio ambiente, por la correcta disposición y utilización de los subproductos generados en sus líneas de producción, por la creciente generación de vinaza en el país y por el desarrollo sostenible, ha motivado la realización de la presente investigación, la cual explora uno de los usos que se le puede dar a este subproducto.

---

\* La última fase de la producción de alcohol a nivel industrial por parte de empresas privadas, es la impotabilización, la que se hace con el fin de imposibilitar el uso de este alcohol para consumo humano (bebidas embriagantes) lo que es monopolio del estado.

\*\* CONGRESO DE COLOMBIA, Ley 693 del 19 de Septiembre 2001, por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.

<sup>9</sup> <http://www.minminas.gov.co/minminas/pagesweb.nsf/0/6ac90c0c61c39de005257005004e2edc>. Consultado en abril de 2005.

\*\*\* Empresa biotecnológica ubicada en Palmira, Valle del Cauca. Produce principalmente Ácido Cítrico y Etanol impotable desde hace más de 20 años.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una técnica de remediación de suelos contaminados con sales en el Valle del Río Cauca haciendo uso de la vinaza concentrada.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las características químicas y físicas de la vinaza concentrada para su aprovechamiento como agente recuperador.
- Caracterizar los suelos a tratar.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de vinaza Concentrada sobre algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo salino.
- Analizar las propiedades del agua percolada a través de las columnas de suelo.
- Determinar la dosis óptima a nivel de laboratorio de vinaza Concentrada teniendo en cuenta parámetros técnicos y económicos.
- Definir la metodología de aplicación de la dosis encontrada en el terreno.
- Evaluar la viabilidad económica de la utilización de la vinaza Concentrada en la dosis obtenida como agente recuperador de suelos afectados por problemas de sales.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 SUELO

Se acostumbra definirlo como la capa superficial no consolidada de la superficie terrestre<sup>10</sup>, sus características son el resultado de una larga evolución que esta dada en función del clima, la vegetación, el tiempo, el material parental y la topografía. Su composición se divide en fases o fracciones<sup>11</sup>.

**1.1.1 Fase sólida.** La fase sólida está compuesta por dos componentes principales:

**1.1.1.1 Constituyentes minerales, inorgánicos o mecánicos.** Representan más del 80% de la composición del suelo húmedo y se clasifican según el grosor de la partícula en arenas, gruesas y finas, limos y arcillas. Están compuestos a su vez por:

- **Minerales primarios:** tales como cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), feldespatos ( $\text{MAISi}_3\text{O}_8$ ) en donde la M representa combinaciones de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$ , otros minerales como micas, piroxenos, anfibóles, también comunes pero que se encuentran en menor cantidad que el cuarzo y los feldespatos<sup>12</sup>.
- **Minerales secundarios:** producto de la meteorización de los primarios; entre los secundarios se encuentran las calcitas ( $\text{CaCO}_3$ ), otros carbonatos, sulfatos, piritas ( $\text{FeS}_2$ ), óxidos de hierro y aluminio y las capas o estratos de silicatos. Éstos últimos son los más importantes de los minerales secundarios ya que constituyen las arcillas<sup>13</sup>.

**1.1.1.2 Constituyentes orgánicos.** Es la materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de desechos vegetales y animales, en diferentes estados de descomposición y transformación desde materiales sin descomponer hasta llegar al humus.

---

<sup>10</sup> FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. 1994. p.7.

<sup>11</sup> LÓPEZ, Yamel. Relaciones hídricas en el contenido agua-suelo-planta-atmósfera. Palmira: Dipal, 2000. p.25-26.

<sup>12</sup> BOHN, H; McNEAL, B. y O'CONNOR, G. Soil chemistry. U.S.A: Wiley-Interscience, 1979. p.70.

<sup>13</sup> Ibid. p. 70.

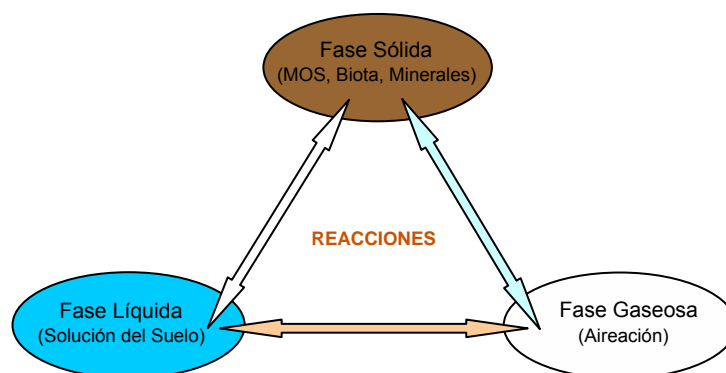
En las arcillas y en la MOS se producen cargas, positivas o negativas, que dan lugar a los procesos de sorción o intercambio iónico. Por tal motivo, a esta fracción se la denomina complejo de intercambio.

**1.1.2 Fase líquida o solución del suelo.** Es el agua contenida en los espacios libres que quedan entre las unidades de la fracción sólida y que no están ocupados por aire. En la fase líquida se encuentran disueltas sustancias solubles provenientes de la alteración de las rocas, de la descomposición de la materia orgánica y de los aportes humanos (fertilizantes y enmiendas solubles). De acuerdo a la concentración de sales presentes en la fase líquida se hablará de suelos salinos o normales.

**1.1.3 Fracción gaseosa.** También llamada atmósfera del suelo, tiene la misma composición del aire, aunque debido a la actividad microbiana puede presentar una concentración superior de gas carbónico a la del aire exterior. Para la mayoría de cultivos, los suelos que contienen entre 10 y 15% de aire se consideran bien aireados. Cuando el intercambio de gases es reducido y la concentración de oxígeno disminuye pero la de CO<sub>2</sub> aumenta hasta valores de 15 a 20%, se inhibe el crecimiento de las raíces.<sup>14</sup>

**1.1.4 Fase biológica.** Está compuesta por macro y microorganismos que viven en el suelo y que son responsables por la descomposición y transformación de los residuos orgánicos que llegan a él.

Figura 1. Composición del suelo.



Fuente: El Autor, 2005.

<sup>14</sup> FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. Op cit, p.124-126.

## 1.2 DEGRADACION DEL SUELO

Teniendo en cuenta que el suelo es el soporte natural de multitud de organismos vivos, entre ellos las plantas, y que por lo tanto es el intermediario entre estos y los factores ambientales<sup>15</sup>, se denomina degradación del suelo a toda modificación que conduzca a su deterioro y reducción en su capacidad de producción.

Figura 2. Representación del deterioro del suelo en función de la productividad.



Fuente: Dorronsoro, 2005.

La degradación puede ser de tipo químico, la cual se debe a pérdida de nutrientes, acidificación, alcalinización, acumulación de iones en exceso ( $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , cloruros, metales pesados, etc.). Generalmente la degradación química conlleva a una degradación física por pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, de la capacidad de retención de agua, entre otros; esto debido a la interacción entre las diferentes fases del suelo. De igual manera, se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo o cuando los microorganismos se ven afectados.

Los distintos procesos de degradación dan lugar a diferentes tipos de afecciones, entre los cuales se distinguen la desertización, la erosión y la salinización.

**1.2.1 Suelos con problemas de sales.** A lo largo del tiempo se han variado los conceptos para clasificar los suelos que presentan este tipo de afección, usando el término salinos para hacer referencia a un amplio grupo de suelos. Actualmente se habla de suelos salinos, sódicos etc, en función del cultivo que se va a sembrar en un terreno dado, por lo que la clasificación depende de los niveles de tolerancia

<sup>15</sup> <http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/degra.htm>. Consultado en Abril de 2005.



del cultivo, sin embargo en términos tradicionales se ha establecido la siguiente clasificación general<sup>16</sup>:

**1.2.1.1 Suelos salinos.** Son aquellos que contienen suficientes sales solubles (cuya solubilidad es mayor que la del yeso = 2,41 g/L a 20°C) para reducir su productividad y que no son alcalinos, es decir, con pH <8,50 y cuya cantidad de sodio ( $\text{Na}^+$ ) presente es tal que no interfiere negativamente con el crecimiento de las plantas. Su conductividad eléctrica es mayor a 2 dS/m y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor a 7.

**1.2.1.2 Suelos sódicos.** Son suelos sódicos cuando el Na esta presente en un 7% o más en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), expresado como porcentaje de saturación respecto a la CIC (PSI). Para el Valle del río Cauca se indica un valor de PSI mayor o igual a 7%.

**1.2.1.3 Suelos magnésicos.** Los resultados de investigación en Europa del Este, California y Colombia establecen un nivel tentativo de Saturación de Magnesio Intercambiable respecto a la CIC (PMgl) de 40% como criterio de calificación, independientemente de la salinidad o de otro tipo de afecciones salinas presentes.

**1.2.1.4 Suelos alcalinos.** Tienen un alto contenido de metales alcalinotérreos en los cuales el pH presenta valores por encima de 7,00. Los iones dominantes son  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

**1.2.1.5 Suelos calcáreos.** En ellos predominan los carbonatos de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , el pH siempre es superior a 8,40 por lo que presentan una fuerte reacción al HCL 0,1N.

**1.2.1.6 Combinaciones.** Se pueden presentar algunas combinaciones de las características descritas anteriormente, por lo que se presentan suelos salino-sódicos o salino magnésicos, suelos sulfato-ácidos magnésicos o sódicos, etc.

---

<sup>16</sup> GARCÍA OCAMPO, Álvaro. Problemática de los suelos salinos, su diagnóstico, recuperación y prácticas de manejo. Conferencia del Curso Internacional de drenaje y tierras agrícolas. Palmira, 1988. p.22-27.

### 1.3 ORIGEN DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES

De las clasificaciones anteriores se deduce que en condiciones normales todos los suelos contienen sales, de hecho, algunas de ellas son esenciales para el normal desarrollo de las plantas y para la estructura del suelo, por tal motivo son usadas como fertilizantes y enmiendas; sin embargo, bajo ciertas condiciones pueden depositarse hasta llegar a niveles perjudiciales para las plantas.

Existen varias causas para explicar los fenómenos de salinización ya que son numerosas las fuentes de iones responsables de originar éstos problemas, a continuación se describen estos orígenes:<sup>17</sup>

**1.3.1 Salinización primaria.** Se entiende por salinización primaria a sus orígenes naturales; se tiene como principal fuente de sales a las rocas de origen ígneo, las cuales depositan las sales en el suelo a través de estos procesos:

- Meteorización de rocas y minerales: este fenómeno obedece a la carencia de un régimen de lavado natural suficiente. Las sales meteorizadas se depositan sobre el suelo y se van acumulando por falta de lavado natural, lo cual eleva la concentración de sales a niveles perjudiciales dando origen al problema. Este tipo de formación de suelos salinos no es muy común; existen evidencias que tan solo 5 a 10% de los suelos afectados por sales han tenido su origen por este proceso.
- Contribución de sales cíclicas: Es la entrada de sales contenidas en cuerpos de aguas salinas, por tal motivo este fenómeno ocurre principalmente en zonas cercanas a los océanos o en áreas correspondientes a antiguos lagos salados. El grado de salinización alcanzado depende de factores tales como clima, régimen de mareas, hidrología y propiedades del suelo.
- Sales fósiles: Cuando el agua viaja a través de materiales salinos sedimentarios puede disolver las sales solubles y aumentar su concentración, el movimiento de estas dentro del perfil del suelo y en el agua subterránea causa un incremento en la cantidad de sales. Cuando el nivel freático sube (invierno) o cuando se usa agua contaminada con éstas sales para irrigación, se produce una salinización importante de los suelos.
- Aerosoles: sales transportadas por el viento desde mares lagos secos, dunas de arena, cenizas y gases volcánicos.

---

<sup>17</sup> Ibid, p.2-7.

**1.3.2 Salinización secundaria.** Este tipo de salinización hace referencia a fenómenos asociados con la intervención humana. Como origen secundario de salinización se tiene la irrigación con aguas de mala calidad (con alto contenido de sales) a terrenos de climas secos, en los cuales la evaporación es superior a la precipitación. Esto trae como consecuencia una acumulación neta de sales en el perfil irrigado; de igual manera las aguas freáticas pueden ascender por capilaridad llevando consigo sales, las cuales una vez que el agua que las transportó se ha evaporado permanecen en mayor concentración. Se estima que hasta un 50% de las áreas afectadas en áreas de irrigación se deben al origen secundario.

Por ejemplo, si se aplica un volumen de 10,000 m<sup>3</sup>/ha-año (1000 mm/año) de agua de riego con un contenido de sales de 250 ppm que equivalen a una conductividad eléctrica de 0.4 dS/m<sup>18</sup>, una hectárea regada recibirá al cabo de un año 2.5 toneladas de sales, si no son evacuadas con un buen drenaje.

## **1.4 EFECTO DE LAS SALES Y IONES<sup>19</sup>**

Los efectos causados por la contaminación con sales deben distinguirse en el suelo y las plantas:

**1.4.1 Efectos sobre el suelo.** Las propiedades físicas del suelo se ven afectadas de forma diferente dependiendo del tipo y concentración de la sal.

**1.4.1.1 Efecto de las sales.** Este efecto es originado por diferentes tipos de sales sin importar específicamente las características independientes de cada sal, es decir, lo que cuenta es la acción electrolítica sobre las propiedades físicas del suelo. En general causan floculación de las partículas del suelo, de acuerdo a Shainberg y Letey<sup>20</sup>, dependiendo del tipo y cantidad de arcillas, así como de la cantidad de sodio presente en el suelo, se necesitan diferentes concentraciones de sales para causar dicha agregación del suelo.

En las tablas 1 y 2 se establecen las concentraciones necesarias para que una solución salina dada cause este efecto. De igual manera en la figura 3 se muestra la diferencia entre suelos dispersos y floculados así como sus ventajas y desventajas.

---

<sup>18</sup> GÓMEZ, J; TENORIO, M y CRUZ, R. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Curso taller, Universidad Nacional de Colombia, Palmira: CVC, 1988. p.65.

<sup>19</sup> GARCÍA, op cit. p. 7-22.

<sup>20</sup> SHAINBERG, I. Y LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. U.S.A: Hilgardia, 1984. p. 52.

Tabla 1. Valor de floculación para dos tipos de arcillas al agregarles soluciones salinas.

TIPO DE ARCILLA	VALOR DE FLOCULACIÓN me/L	
	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
Montmorinellita	12	0.25
Illita	40-50	0.25

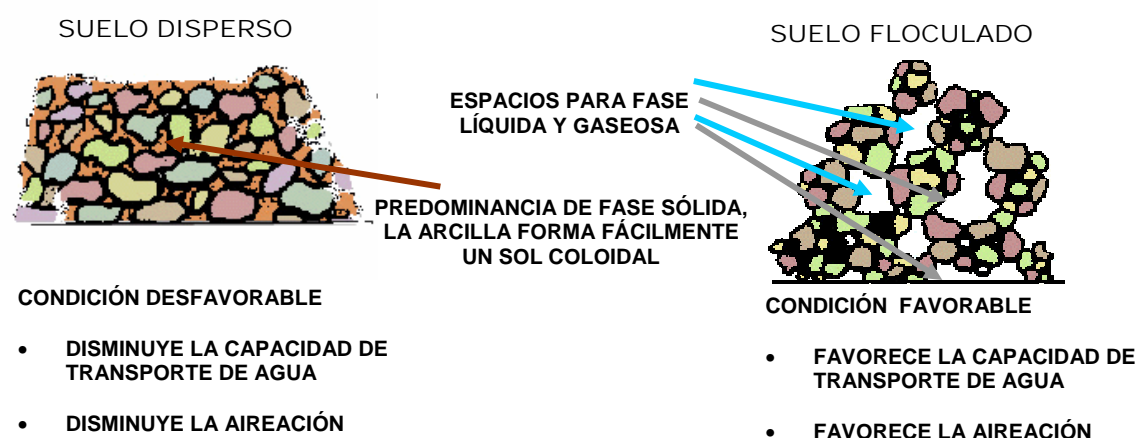
Fuente: Letey y Shainberg, 1984

Tabla 2. Valor de floculación para dos tipos de arcillas a diferentes valores de PSI en el suelo.

TIPO DE ARCILLA	VALOR DE FLOCULACIÓN me/L de NaCl		
	5 PSI	10 PSI	20 PSI
Montmorinellita	6	10	18
Illita	3	4	7

Fuente: Letey y Shainberg, 1984

Figura 3. Agregación de las partículas del suelo.



Fuente: El Autor, 2005.

**1.4.1.2 Efecto del sodio intercambiable.** Causa el efecto contrario a la floculación, es decir, dispersa las partículas de suelo, ocasionando oclusión de poros y disminución de la conductividad hidráulica; los suelos se tornan muy

plásticos, pegajosos y extremadamente difíciles de laborar cuando están húmedos y muy duros cuando se secan. La formación de costras superficiales es un fenómeno común en estas condiciones. De igual manera los efectos dependen del tipo y cantidad de arcilla, así como de la presencia de agentes cementantes, de la textura, de la conductividad hidráulica y del PSI.

**1.4.1.3 Efecto del magnesio intercambiable.** La acción dispersante y expansiva del  $Mg^{+2}$  tiene lugar en materiales y suelos arcillosos y es directamente proporcional a la relación Mg:Ca presente en la solución del suelo. Además de esto tiene la capacidad de ayudar a aumentar los valores de PSI. La dispersión en los suelos hace que éstos sean difíciles de laborar, al humedecerse se tornan pegajosos y cuando se secan hay formación de costras duras y la penetración del agua se restringe grandemente.

**1.4.2 Efectos en las plantas.** La salinidad en los suelos tiene un efecto negativo sobre las plantas por cuanto disminuye su crecimiento, incluso puede llegar a inhibirlo totalmente, por tal motivo los rendimientos en la producción disminuyen también. Se encuentran los siguientes efectos negativos de las sales sobre las plantas:

**1.4.2.1 Efecto Osmótico.** Este efecto hace referencia a la energía adicional requerida por la planta para absorber la misma cantidad de agua de un suelo salino, respecto de la energía normal requerida para un suelo no salino. Este efecto es independiente de las características de las sales presentes y sus efectos son análogos a los de la sequía.

Al existir una alta concentración de sales en la solución del suelo, su presión osmótica se eleva y, ya que el agua circula de las regiones menos concentradas hacia las de mayor concentración en respuesta a un gradiente osmótico o de energía libre, se mueven con el fin de nivelar la presión osmótica. Por lo tanto siempre que la concentración salina de la solución del suelo sea mayor que la del jugo celular de una planta dada, el agua va a tender a salir de ésta hacia la solución del suelo con lo que se produce la plasmólisis celular (marchitamiento de la planta).

En un suelo normal, el jugo celular de la planta siempre es más denso y rico en sustancias disueltas que el agua que circunda la planta, por lo tanto el agua tiende a penetrar en las células de la planta para igualar la diferencia de densidad<sup>21</sup>. En un suelo salino la planta debe desarrollar altas fuerzas de succión para extraer agua del suelo y lo hace mediante una adaptación osmótica de sus

---

<sup>21</sup> MOLINS, M. El tallo, la raíz y la hoja. Barcelona: Mini atlas norma, 1980. p.C/1.

células que consiste en un engrosamiento prematuro de las paredes celulares, lo que afecta la división celular y limita el crecimiento de la planta de forma irreversible, esta adaptación implica un mayor consumo de energía y se manifiesta también en una reducción en el crecimiento. Este efecto se cuantifica a través de la siguiente ecuación<sup>22</sup>:

$$Y=100- [B(CEe-A)]$$

en donde,

**Y (%)** = Producción relativa del cultivo

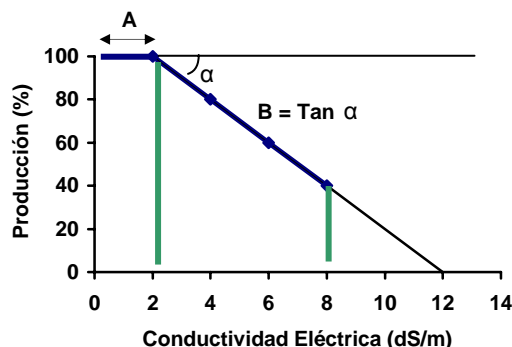
**CEe (dS/m)** = Conductividad eléctrica del extracto de saturación

**B (%)** = Porcentaje de disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad por encima del nivel crítico A.

**A (dS/m)** = Valor crítico de salinidad o salinidad máxima permisible sin que ocurra reducción en los rendimientos.

Los valores **A** y **B** son característicos para cada especie dada.

Figura 4. Representación del efecto osmótico



Fuente: Maas y Hoffman, 1977.

En el anexo C se presenta una serie de ejemplos respecto de la utilización de esta ecuación y sus resultados.

**1.4.2.2 Efecto de los Iones Específicos.** Las plantas también manifiestan susceptibilidad a ciertos iones como  $SO_4^{-2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+1}$ ,  $Cl^-$ , B, y Li, de éstos los

<sup>22</sup> MAAS, E.V. y HOFFMAN G.J. Crop salt tolerance current assessment. U.S.A: Sociedad americana de ingeniería civil, 1977. p.115-134.

iones tóxicos más comunes son  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^{+2}$  y B. Los problemas por toxicidad a causa de los iones específicos difieren de los de salinidad en que su efecto ocurre dentro de la planta y no se deben a un déficit de agua.

- **Efecto del Sodio intercambiable.** Varía dependiendo de la especie de planta y de las condiciones fisicoquímicas del suelo; los daños generales son entorchamiento de la hoja y muerte de los tejidos. En el anexo D se establece un resumen de la información existente acerca de la tolerancia de los cultivos al Sodio intercambiable.
- **Efecto del Magnesio intercambiable.** La información disponible acerca de los efectos negativos sobre las plantas es escasa, sin embargo se ha establecido que puede reducir el crecimiento de las plantas debido a un desbalance nutricional. Beckett<sup>23</sup>, demostró que altas concentraciones de  $\text{Mg}^{+2}$  induce bajos niveles de  $\text{Ca}^{+2}$ .
- **Efectos nutricionales.** Bernstein<sup>24</sup> y Cerda<sup>25</sup> demostraron que la tolerancia de las plantas a la salinidad se redujo a medida que aumentaba la concentración de Fósforo en la solución nutritiva suministrada a las plantas. Otros estudios realizados por Ehlig<sup>26</sup> indicaron que el exceso de  $\text{SO}_4^{-2}$  produce una deficiencia de  $\text{Mg}^{+2}$  en la uva, de igual manera Geraldson<sup>27</sup> encontró que excesos de  $\text{SO}_4^{-2}$  en suelos salinos origina deficiencia de  $\text{Ca}^{+2}$  para la planta, ocasionando en el caso del apio, la coloración negra en el centro de su tallo.

## 1.5 RECUPERACIÓN CONVENCIONAL DE SUELOS SALINOS

La recuperación de suelos salinos consiste en remover los iones presentes tanto en el complejo de intercambio como en la solución del suelo hasta concentraciones en las que las propiedades físicas y químicas del suelo no se vean afectadas como para interferir de manera negativa sobre la capacidad agronómica del mismo.

---

<sup>23</sup> BECKETT, P. Potassium-Calcium exchange equilibria in soils: specific adsorption. U.S.A: Sociedad americana de la ciencia del suelo (Soil Sci), 1964. p.376-383.

<sup>24</sup> BERNSTEIN, L. y PEARSON, G.A. Influence of exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. U.S.A: Soil Sci, 1956. p. 247-258.

<sup>25</sup> CERDA, A; BINGHAM, F.T. y HOFFMAN G.J. Interactive effect of salinity and phosphorous on sesame. U.S.A: Soil Sci, 1977. p.915-918.

<sup>26</sup> EHLIG, C.F. Effects of salinity in four varieties of table grops grown in sandculture. American Society of horticultural science, Vol 76. 1960. p.323-331.

<sup>27</sup> GERALDSON, C.M. The control of black Herat of celery. U.S.A: American society of horticultural science, Vol 63. 1954. p.353-358.

**1.5.1 Suelos salinos.** Debe hacerse un lavado con agua de buena calidad para eliminar las sales disueltas presentes en la solución del suelo a través de un sistema de drenaje. La cantidad de agua a usar depende de las condiciones físicas del suelo, de la profundidad de suelo a lavar y del nivel de salinidad al que se desea llegar. Existen varias formulas para calcular la cantidad de agua necesaria y su uso depende del método de aplicación del agua, en el caso de inundación del terreno con una lámina de agua, se usa<sup>28</sup>:

$$\frac{C}{C_o} \times \frac{dl}{ds} = k$$

en donde,

**C (dS/m)** = Máxima salinidad permisible (nivel A de la ecuación del efecto osmótico)

**C<sub>o</sub> (dS/m)** = Conductividad eléctrica inicial del extracto de saturación del suelo

**dl (m)** = Lámina de riego

**dS (m)** = Profundidad efectiva a recuperar

**K** = Valor que refleja el contenido volumétrico saturado de agua del suelo (luego de aplicar el agua) y la eficiencia de lavado según el tipo de suelo. Para suelos orgánicos K= 0.45; suelos franco arcillosos K= 0.3 y franco arenosos K= 0.1

Para el caso en que se usa agua de riego por aspersión, se define una necesidad de lavado (NL) que es la fracción o porcentaje de agua de riego adicional que debe pasar a través de la zona de raíces, para mantener la salinidad por debajo de los niveles específicos, la ecuación es la siguiente<sup>29</sup>:

$$\frac{CE_{ai}}{CE_{ad}} = NL$$

en donde,

**NL (%)** = necesidad de lavado

**CE<sub>ai</sub>** = conductividad eléctrica del agua de riego.

**CE<sub>ad</sub>** = Máxima salinidad permisible (nivel A de la ecuación del efecto osmótico)

**1.5.2 Suelos sódicos.** En este caso el sólo lavado no es suficiente, sino que se debe aplicar algún tipo de ayuda química que aporte el Ca<sup>+2</sup> necesario para desplazar el Na<sup>+</sup> del complejo de cambio del suelo. En la tabla 3 se presenta un resumen de los diferentes mejoradores que existen.

<sup>28</sup> HOFFMAN, G.J. Guideleness for reclamation of salt-affected soils. En: Inter american salinity and water marragement technology conference. México: 1981. p.49-64.

<sup>29</sup> GARCÍA, op cit. p. 32.



Tabla 3. Resumen de mejoradores comunes usados para tratar suelos sódicos.

MEJORADOR QUÍMICO	FUNCIÓN	SE USA EN SUELOS*	DOSIFICACIÓN	REACCIONES EN EL SUELO *	OBSERVACIONES*
<b>Sales solubles de Calcio:</b>  1. Yeso 2. Cloruro de Calcio	Suministrar Calcio al suelo	1. Con contenido de carbonatos alcalinotérreos 2. Libres de carbonatos alcalinotérreos	$Dt = \frac{(PSI_i - PSI_f) \cdot CIC \cdot Pe \cdot h \cdot da}{100}$	$2NaX + CaSO_4 \rightarrow CaX_2 + Na_2SO_4$	La eficiencia depende del tamaño de partícula, es mejor entre más pequeña sea. Tienen la ventaja de poderse aplicar con el agua de riego. No requieren incorporación.
<b>Ácidos o formadores de ácido:</b>  1. Azufre 2. Ácido Sulfúrico 3. Sulfato de Hierro 4. Sulfato de Aluminio	Reaccionar con los carbonatos presentes en el suelo para liberar Calcio.	• Con contenido de carbonatos alcalinotérreos	$Dt = Kg/ha$ $PSI_i = PSI \text{ inicial en } \%$ $PSI_f = PSI \text{ final en } \%$ $CIC = \text{en me}/100gr.$ $Pe = \text{Peso equivalente del mejorador}$ $h = \text{Profundidad del terreno a mejorar, en cm.}$ $da = \text{Densidad aparente del terreno a mejorar}$	$2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_3$ (oxidación microbológica) $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$ $2NaX + CaSO_4 \rightarrow CaX_2 + Na_2SO_4$	La oxidación microbológica es muy lenta toda vez que la transferencia de oxígeno no es la más apropiada. (la técnica empleada para la aireación es mediante rastrillada). El tiempo de oxidación depende del tipo de suelo, su estado de dispersión y su contenido de humedad.
<b>Sales de Calcio de baja solubilidad:</b>  • Caliza	Suministrar Calcio	1. Libres de carbonatos alcalinotérreos		1. $2NaX + CaCO_3 \rightarrow CaX_2 + Na_2CO_3$ 2. $2HX + CaCO_3 \rightarrow CaX_2 + CO_2 + H_2O$  $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$	Debido a la baja solubilidad de la cal (0.01 gr/L a 20°C), las reacciones 1 y 2 son muy lentas por lo que el uso de la cal requiere de un medio ácido para mejorar la disolución y liberación del calcio.

\*Se hace referencia a los mejoradores más usados que son Yeso y Azufre.

Fuente: Personal del laboratorio de salinidad de los E.U.A, 1954. Tabla diseñada por el autor.

**1.5.3 Suelos magnésicos.** Igualmente, se busca desplazar el  $Mg^{+2}$  del complejo de cambio del suelo mediante la adición de una enmienda con altos contenidos de Ca, posteriormente se debe realizar un lavado con agua de buena calidad para terminar de remover el Mg del perfil del suelo a través del sistema de drenaje.

## **1.6 VINAZA**

La vinaza es el subproducto líquido resultante de la producción de Etanol a través de la destilación de melaza fermentada. En la figura 5 se presenta un diagrama de bloques del proceso de producción de Etanol y obtención de la vinaza. De acuerdo a su origen se tiene que es un material orgánico en el cual están incluidas todas las impurezas del líquido obtenido de la fermentación, llamado vino y está constituida en su mayor parte por materia orgánica y sales minerales tal como se muestra en la sección 1.6.2.

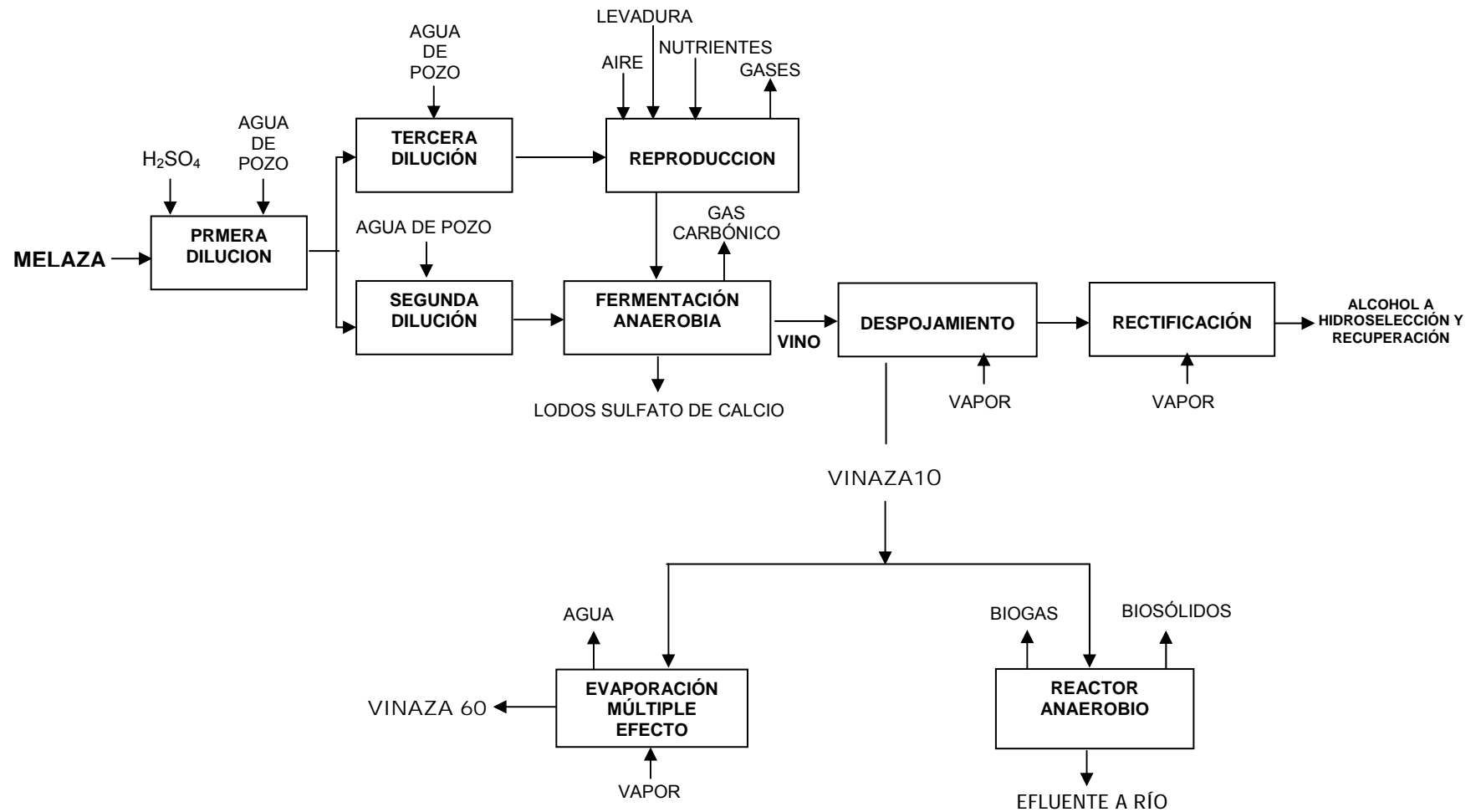
**1.6.1 Obtención. Sucromiles S.A.** en la Planta de Alcoquímica, produce Etanol im potable a partir de la fermentación anaeróbica de melaza, usando levadura como microorganismo fermentador. El proceso consta de las siguientes etapas:

**1.6.1.1 Preparación y dilución de melaza.** La melaza pura, proveniente de los ingenios productores de azúcar, tiene una concentración de azúcares reductores totales que oscila entre 48 y 54 % m/m y una densidad de 1,45 kg/L. En estas condiciones, no es apta para que la levadura usada en la fermentación la emplee como sustrato en el proceso de conversión de azúcares en alcohol, razón por la cual debe ser diluida.

**1.6.1.2 Reproducción de levadura.** La levadura se siembra en una cuba de reproducción sobre un volumen de melaza diluida, esta mezcla se enriquece con nutrientes, antibiótico y aire. La operación de reproducción se mantiene hasta que la densidad de la mezcla empiece a bajar, momento en el cual se completa el nivel de la cuba con melaza de tercera dilución. La levadura obtenida al terminar el proceso esta lista para ser utilizada como inóculo para la fermentación.

**1.6.1.3 Fermentación de alcohol.** La fermentación es anaeróbica y se lleva a cabo por lotes, la cuba de fermentación se inocula con levadura proveniente de las cubas de reproducción y se llena con melaza de segunda dilución. El conjunto se deja fermentar hasta obtener un vino con un grado alcohólico mínimo de 7,0 % v/v y un azúcar residual entre 1,70 - 2,40 % m/v. Durante la fermentación de alcohol se produce gas carbónico, subproducto del metabolismo de la levadura.

Figura 5. Diagrama de bloques de la producción de etanol llevada a cabo en Sucromiles S.A.



Fuente: El Autor, 2005.

Luego que la fermentación ha terminado, el vino obtenido se envía a destilación y se retiran los lodos que quedan en el fondo de la cuba de fermentación.

**1.6.1.4 Destilación de alcohol.** En la etapa de destilación se llevan a cabo las operaciones siguientes:

- Despojamiento del Vino. En esta operación se extraen del vino las impurezas generadas en el proceso de fermentación y se obtienen vapores ricos en etanol. Este procedimiento se realiza en las columnas denominadas despojadoras. Por la cima de la columna despojadora salen los vapores ricos en alcohol etílico hacia la columna rectificadora de alcohol, y por el fondo sale la **Vinaza10**. En la columna despojadora se controla la temperatura de fondo para obtener una Vinaza con un contenido de **sólidos de 10% m/m** y con un grado alcohólico menor o igual a 0,05 % v/v.
- Rectificación de Alcohol. En esta operación se rectifican los vapores de alcohol provenientes de la columna despojadora y se obtiene el alcohol industrial con el 96 % v/v de concentración.

**1.6.1.5 Producción de Vinaza.** La producción anual de Vinaza concentrada depende directamente de los niveles de producción de Etanol en la planta de Alcoquímica. La producción específica se encuentra alrededor de 2.5 kilogramos de Vinaza60 y de 14 litros de Vinaza10 por cada litro de Etanol producido.

- Concentración de vinaza. Actualmente, la capacidad instalada en Sucromiles para producción de alcohol es de 100.000 L/día, de los cuales se concentra la vinaza que se genera de la producción de etanol de 40.000 L/día, con este régimen la producción de Vinaza10 es de 560.000 L/día, la que es enviada a un sistema de evaporación de cuatro efectos para concentrarla a un 50% y luego hasta un 60% m/m de sólidos, en un intercambiador de calor. Se obtienen 93.333 L/día de **Vinaza60**. El producto concentrado es luego enviado a un tanque de almacenamiento.
- Tratamiento biológico anaeróbico. La vinaza que se genera de la producción de 60.000 L de alcohol/día (840.000 L vinaza/día) es enviada a un reactor anaerobio tipo laguna en donde se trata con el resto de efluentes generados en la empresa, el efluente final es descargado al Río Palmira.

**1.6.2 Caracterización.** En la tabla 4 se relaciona las características generales de la vinaza concentrada producida en Sucromiles, con el contenido promedio de los elementos mayores, menores y algunas propiedades físicas. La vinaza contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua así

como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general los constituyentes son los siguientes:

- Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  y  $SO_4^{-2}$ .
- Células muertas de levadura.
- Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles.
- Sustancias orgánicas volátiles.

Tabla 4. Propiedades físico-químicas de la Vinaza concentrada.

Tabla 4.1 Propiedades físicas químicas de la vinaza concentrada.		
COMPUESTO	CONCENTRACIÓN	
	% m/m	Kg/m <sup>3</sup>
Sólidos totales	60	-
Materia Orgánica	46	598
Carbono Oxidable	18	234
Nitrógeno (como N)	0.95	12.35
Fósforo (como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.04	0.52
Potasio (como K <sub>2</sub> O)	4.88	63.44
Calcio (como CaO)	1.31	17.11
Magnesio (como MgO)	0.67	8.71
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	2.59	33.67
ELEMENTOS MENORES	ppm	
Manganeso (Mn)	43	
Cobre (Cu)	10	
Zinc (Zn)	19	
Boro (B)	6	
PROPIEDADES		
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1300	
pH	4.5 - 5	
Conductividad Eléctrica (dS/m)	17	
Viscosidad (cPs)	450	

Fuente: Laboratorio I & D., Sucromiles S.A. y Agrilab Ltda. 2004.

La composición de la Vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña.

**1.6.2.1 Compuestos orgánicos.** La alta concentración de materia orgánica en la Vinaza se debe a los alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos y azúcares provenientes bien sea de la melaza, del proceso de fermentación, o de la degradación térmica del vino en el proceso de destilación. En la tabla 5 se relacionan los principales compuestos orgánicos presentes en la vinaza concentrada.

Tabla 5. Composición orgánica de la Vinaza concentrada\*

COMPUESTOS	CONCENTRACIÓN
NO VOLÁTILES	% m/m
Glicerol	2.70
Ácido Aconítico	1.76
Sorbitol	1.39
Fructosa + glucosa	1.30
Ácido Láctico	1.28
Ácido Cítrico	0.80
Ácido 2,4 dihidroxipentanedioico	0.71
Ácido Quínico	0.71
Trehalosa	0.31
Ácido Málico	0.23
Sucrosa	0.21
2,3 Butanodiol	0.21
Ácido Succínico	0.07
Ácido Glicólico	0.06
FENÓLICOS	ppm
Ácido Piroglutámico	165
Ácido Itacónico	93
Ácido Fumárico	93
3-metoxi-4-hidroxifenilglicerol	54
Ácido p-hidroxi-benzoico	48

\*Para la determinación de éstos compuestos se concentró la Vinaza hasta 64.8 grados Brix, valor aproximadamente equivalente a un porcentaje de sólidos totales de 67% m/m

Fuente: Morales, 2000.

También se pueden distinguir compuestos volátiles tales como Benzaldehído, Ácido Benzoico, Etil Palmitato, 2 Acetilpirrol, Alcohol 2-feniletílico, Alcohol Furfurílico, Ácido Acético, Ácido Fórmico, 1-3 Butanodiol, Acetona, Etanol, entre otros.

**1.6.2.2 Características contaminantes.** Debido al alto contenido de materia orgánica, la vinaza se constituye en un material altamente contaminante, si se dispone directamente a un cuerpo de agua, ya que los valores de DQOs y DBO<sub>5</sub> para un contenido de sólidos del 10% m/m son 116,000 y 41,200 ppm respectivamente, por lo cual es necesario el tratamiento de éste subproducto antes de ser eliminado. En la tabla 6 se relacionan algunas de las propiedades tomadas en cuenta a la hora de evaluar la capacidad contaminante de la Vinaza<sup>10</sup>.

Tabla 6. Caracterización de la vinaza para tratamiento anaerobio

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
		V10*
DQO	mg/l	116 000
DBO	mg/l	41 200
pH	-	4.5
SST	mg/l	8 990
SSV	mg/l	7 100
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	mg/l	5 626
Fósforo (como P)	mg/l	97

\*La Vinaza concentrada (V60) no se lleva a tratamiento anaerobio

Fuente: Laboratorio Planta De Control Ambiental Sucromiles. 2005.

**1.6.2.3 Clasificación CRETIP.** De acuerdo a la guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos de El Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)<sup>30</sup> y a las características de la Vinaza<sup>60</sup>, se presenta en la tabla 7 una comparación, de la cual se deduce que éste subproducto no es un residuo peligroso, por lo que su uso no requiere de un manejo especial salvo los propios de un subproducto líquido industrial convencional.

<sup>30</sup> [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org). Consultado en Marzo de 2005.

Tabla 7. Clasificación CRETIP Vinaza60

CARACTERÍSTICA	PARÁMETRO CEPIS	VINAZA CONCENTRADA
Corrosividad	Acuoso	Acuosa, humedad del 40% m/m
	$2 \leq \text{pH} \leq 12.5$	4.5 – 5.0
	Tasa corrosión del acero > 6.35 mm/año a 55°C	-
Reactividad	Ser inestable	Estable
	Reaccionar de forma violenta sin detonar	No reacciona
	Reaccionar violentamente con agua	No reacciona
Reactividad	Generar gases cuando es mezclado con agua	No
	Poseer cianuros o sulfuros que puedan ser liberados en cantidades perjudiciales para la salud y el ambiente	Trazas de Dimetilsulfuro $\text{CH}_3\text{SCH}_3$
Explosividad	Explotar bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados	No
	Explotar fácilmente a 25 °C y 1atm.	No
	Haber sido fabricada para producir una explosión	No
Toxicidad	DL para ratas < 50mg/Kg	-
Inflamabilidad	Ser líquido	Acuosa
	Punto de ignición < 60°C	480°C
Patogenicidad	Contener microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades	No

Fuente: Compilación por el Autor, 2005.

**1.6.3 Usos.** Por tratarse de un subproducto de la obtención de Etanol, la vinaza se trata como residuo líquido industrial, de ahí que algunos de sus usos tienen su origen como alternativas de disposición final más que como alternativas de aprovechamiento. Con el paso de los años y debido a las grandes cantidades generadas de este material, se empezó a investigar en nuevas aplicaciones en pro del aprovechamiento de sus propiedades fisicoquímicas. A continuación se describen algunas de las aplicaciones realizadas:



Tabla 8. Resumen de usos dados a la Vinaza60

USOS	QUÉ APORTA	QUÉ HACE	OBSERVACIONES
Fertilización (Es el uso más ampliamente conocido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Potasio</li> <li>• Calcio</li> <li>• Sulfatos</li> <li>• Micronutrientes</li> </ul> <p>Composición dada en tablas 1 a 3.</p>	Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo.	Debido a que se trata principalmente de una fuente líquida de Potasio.
Sustrato para compost		Sirve como fuente de energía a los microorganismos que compostan el material vegetal residual de las cosechas.	El exceso de V60 en la mezcla da lugar a la detención del proceso de compostaje debido a que la DBO elevada interfiere negativamente en la degradación del material vegetal.
Producción de Biogás y Biosólidos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio, se genera biogás con contenidos utilizables de metano, gas carbónico y ácido sulfhídrico.</li> <li>• También se producen biosólidos ricos en Carbono, Nitrógeno y Azufre asimilable por las plantas</li> </ul>	Se deben controlar las concentraciones de ácido sulfhídrico ya que producen malos olores y deteriora las tuberías de recuperación del gas.
Medio de cultivo		Suplementada con Urea y Sacarosa es un excelente sustrato para promover el crecimiento de levaduras, algas del género Chlorella, bacterias como Pseudomonas y Methanomonas y hongos filamentosos.	La proteína unicelular es aquella proveniente de bacterias, algas y hongos y se constituye en una importante fuente de proteínas para la alimentación animal y humana.
Suplemento Alimenticio	Según Sucromiles, 2005: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteína 5.68% m/m</li> <li>• Energía Neta 0.88 Mcal/Kg</li> <li>• Sales minerales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla con otros elementos para elaborar concentrados para animales.</li> <li>• Sustituye parte de la melaza usada en la suplementación de ganado bovino, porcino y conejos.</li> </ul>	En bovinos dosis de Potasio superiores a 1.5 Kg/animal causan efectos laxantes.
Incineración	Poder calorífico según Sucromiles, 2005: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1871 cal/g Límite Superior</li> <li>• 1621 cal/g L.Inferior</li> </ul>	Se constituye en un buen combustible para incinerar y generar energía térmica para distintas aplicaciones	Actualmente existen dos calderas en Tailandia operando con este combustible
Mejorador de suelos	<b>Por ser éste el tema del presente trabajo se trata más profundamente en la sección 1.6.4</b>		
Otros	Agente plastificante de concretos reforzados. Fabricación de ladrillos. Materia prima para obtener Sulfatos de Cloruro y Potasio, Potasa y Carbonato de Sodio, Ácido Glutámico y Glutamina vía fermentativa.		

Fuente: Compilación por el Autor, 2005.

**1.6.4 Fundamento del uso de la vinaza como agente recuperador de suelos afectados por sales.** El uso de la vinaza como recuperador de suelos contaminados con sales se basa en su alto poder electrolítico manifestado en la concentración de iones de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ , y a la alta conductividad eléctrica. Para la comprensión del fenómeno que se presenta en el suelo, primero se explicará el funcionamiento de una resina de intercambio catiónico usada industrialmente para el tratamiento de aguas duras (ablandamiento), para luego compararla con los procesos ocurridos en los suelos.

**1.6.4.1 Intercambio iónico en resinas<sup>31</sup>.** Se define como una reacción reversible de intercambio de iones entre un sólido y un líquido. No ocurre un cambio sustancial en la estructura del sólido, es decir, en el material intercambiador o resina, la cual se considera como una cadena tridimensional de átomos de carbono e hidrógeno, a la que están adheridos un gran número de grupos ionizables. La naturaleza de éstos grupos determina el comportamiento químico de la resina de intercambio.

Los procesos de intercambio ocurren comunmente en la naturaleza cuando agua con contenidos de electrolitos disueltos entra en contacto con sólidos naturales. Kunin<sup>32</sup> realizó un listado de sustancias naturales que poseen propiedades de intercambio iónico, entre las que se encuentran polisacáridos como pectinas, almidón de papa y maíz, celulosa y papel; proteínas como colágenos, gelatinas, humus del suelo; arcillas como vermiculita, montmorillonita, caolinita, estapulgita y minerales de zeolita como cabazita, analcita, sadalita, entre otros.

Algunos de los iones presentes en el agua pueden ser intercambiados por otros iones que están sobre la superficie del sólido o aún dentro de él. Por ejemplo, el amoníaco de los fertilizantes es intercambiado de esta manera por iones de  $\text{Ca}^{+2}$  y de  $\text{Mg}^{+2}$  que están presentes en el suelo.

De acuerdo a Michalson<sup>33</sup>, el intercambio de iones entre las fases sólida y líquida en muchos procesos naturales fue encontrado en Inglaterra en 1850 por Thompson y Way, pero su uso comercial en reacciones reversibles de intercambio no se hizo sino hasta 1905 cuando Gans, un científico Alemán, encontró que la dureza del agua ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) podía ser removida del agua y reemplazada con  $\text{Na}^{+}$  usando silicatos de aluminio naturales y sintéticos.

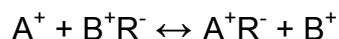
---

<sup>31</sup> ROHM AND HAAS COMPANY. Ion exchange with the Amberlite IR-120 exchange resins. U.S.A: 1974. p.1-16.

<sup>32</sup> KUNIN, R. Elements of ion exchange. U.S.A: Reinhold, 1960. p.24-25.

<sup>33</sup> MICHALSON, A.W. What's new, practical and important in ion exchange. En: Chemical Engineering, U.S.A. March 18, 1963. p.165.

Para entender los mecanismos de intercambio iónico, se considerará una columna intercambiadora que usa una resina catiónica, es decir, aquella que posee carga negativa con el fin de atraer cargas positivas. La reacción que se presenta es<sup>34</sup>:



En el comienzo, la resina contiene únicamente cationes  $B^{+}$ . Una solución que contiene únicamente cationes  $A^{+}$  empieza a fluir a través de la columna, entonces los iones  $A^{+}$  son adsorbidos por la resina y reemplazan a los cationes  $B^{+}$  de acuerdo a la constante de equilibrio,  $K_{\alpha}$

$$K_{\alpha} = [(B^{+})(A^{+}_{\text{resina}})] / [(A^{+})(B^{+}_{\text{resina}})]$$

La solución que pasa a través de la columna sale disminuida en contenido de iones  $A^{+}$  pero enriquecida con iones  $B^{+}$ . Si el equilibrio es favorable y la columna es lo suficientemente larga, el efluente contendrá únicamente cationes  $B^{+}$  hasta el momento en que la resina se sature con cationes  $A^{+}$ . Si la operación continúa con la resina saturada, lo que ocurre es que los cationes  $A^{+}$  empezarán a salir junto con el agua. El funcionamiento de la columna depende de la velocidad del flujo, del tamaño de partícula, de la concentración de la solución, de la temperatura, del nivel de saturación de la resina y de la longitud de la resina dentro de la columna.

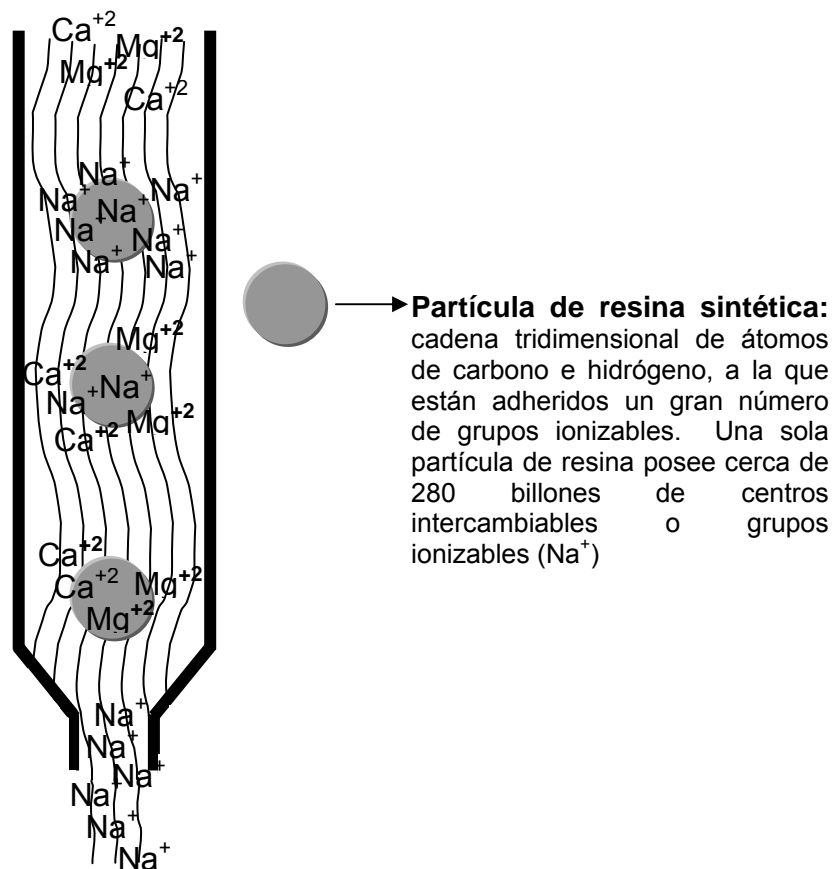
En la Figura 6 se presenta esquemáticamente la secuencia de funcionamiento típico de una resina para el ablandamiento del agua dura, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- El agua dura que contiene iones de Calcio y Magnesio empieza a entrar en la columna de intercambio.
- Antes de entrar en contacto con el agua, las partículas de resina están asociadas únicamente a los cationes Sodio. Es de anotar que una sola partícula de resina posee cerca de 280 billones de centros intercambiables, es decir de iones intercambiables.
- El intercambio inicia. Algunos de los cationes de Calcio y Magnesio empiezan a ser adsorbidos por la resina, la cual a su vez, libera iones Sodio. **Dos** iones Sodio son liberados por **uno** de Calcio o Magnesio.
- La partícula de resina es agotada de sus iones Sodio, que son reemplazados por los iones Calcio y Magnesio. En la realidad, unos pocos iones de Sodio siguen quedando adheridos a la partícula de resina.
- El agua que sale de la columna esta ahora ablandada, no contiene los iones responsables de la dureza del agua. La resina debe ser regenerada adicionando una solución que contenga iones de Sodio, frecuentemente se usa cloruro de sodio.

---

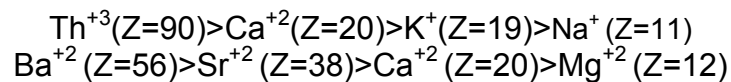
<sup>34</sup> Ibid, p.165.

Figura 6. Esquematización del proceso de ablandamiento de agua usando resinas sintéticas.



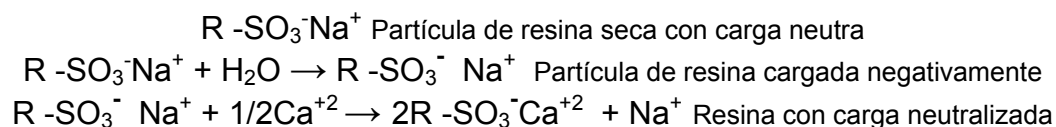
Fuente: Rohm and Haas company, 1974.

Las resinas tienen un grado de intercambio o de selectividad por un determinado catión, generalmente la selectividad aumenta con la valencia y con el número atómico del ion. Ej<sup>35</sup>:



La estructura molecular de la resina permite que al entrar en contacto con agua se hidrolize, ocasionando la disociación de los iones intercambiables y originando que la partícula de resina se cargue eléctricamente para que pueda atraer los iones de carga opuesta de mayor afinidad que los que tenía originalmente.

<sup>35</sup> Ibid, p.166.

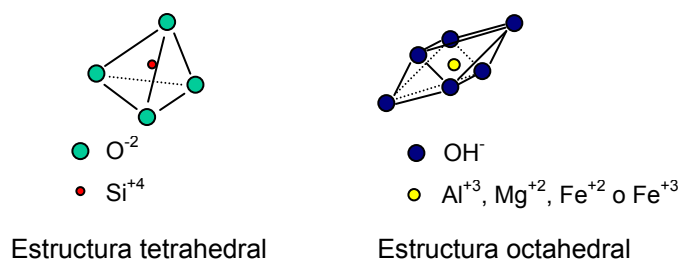


En esto se fundamenta el uso de la resina para retener los iones causantes de la dureza del agua, mediante el desplazamiento de un ión de menor afinidad y la conservación del equilibrio en la sumatoria de cargas de la resina.

**1.6.4.2 Composición de los intercambiadores del suelo.** Como se mencionó en la sección 1.1.1, la carga de un suelo está relacionada con el contenido de arcillas y de materia orgánica. Al realizar una comparación con la columna de ablandamiento, las partículas de arcilla y materia orgánica cumplen la misma función que la partícula de resina. Al igual que en ésta, las partículas del suelo son cadenas tridimensionales, pero con la salvedad que su composición no es uniforme a lo largo del perfil sino que varía de acuerdo al tipo de arcilla y a la materia orgánica presente. A continuación se describe brevemente la estructura y composición de los intercambiadores del suelo y el origen de sus cargas eléctricas.

**1.6.4.2.1 Arcillas.** Las unidades estructurales básicas de los minerales de capas de silicatos son dos tipos de unidades de coordinación. La primera unidad es la unión de cuatro átomos de oxígeno con uno de silicio en forma tetrahedral. La segunda es un arreglo de seis aniones  $\text{OH}^-$  coordinados alrededor de un catión (generalmente  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  o  $\text{Fe}^{+3}$ ) en forma octahedral<sup>36</sup>.

Figura 7. Representación de las unidades de coordinación de la arcilla.

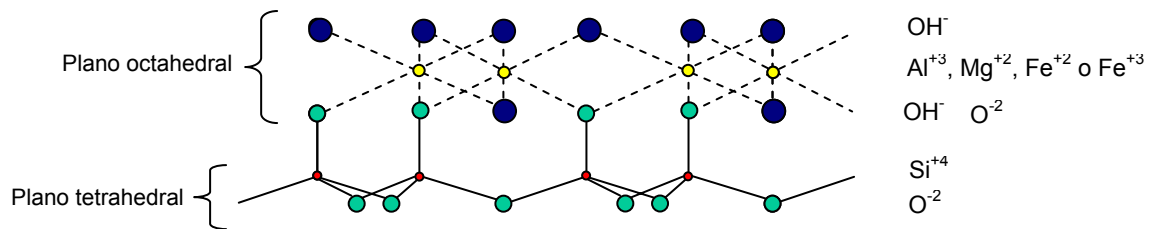


Fuente: BOHN; McNEAL y O'CONNOR, 1979.

<sup>36</sup> BOHN, H; McNEAL, B. y O'CONNOR, G. Soil chemistry. Wiley-Interscience, 1979. p.149-153.

Una capa típica de silicatos es la combinación de dos tipos de unidades estructurales, una de las cuales es un arreglo bidimensional de unidades tetrahedrales, y la otra de unidades octahedrales. Ambas están unidas por una capa de oxígenos compartidos, formando una estructura tridimensional. En este caso se habla de arcillas 1:1, tal como se muestra en la siguiente figura.

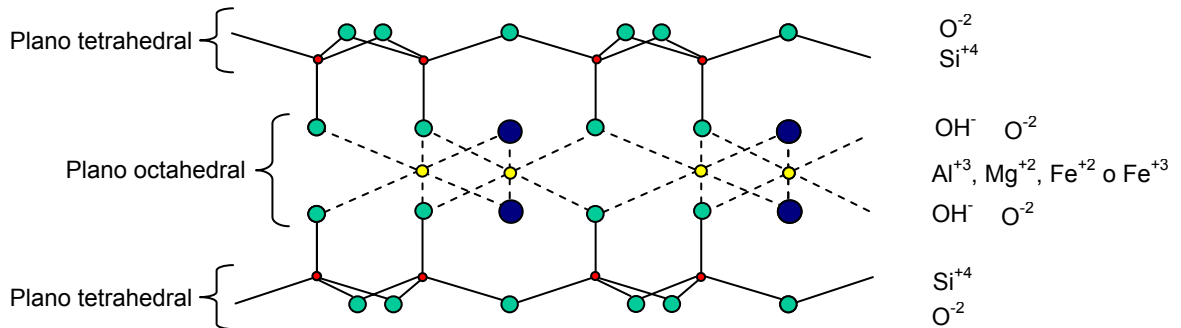
Figura 8. Estructura cristalina de una arcilla tipo 1:1.(Caolinita)



Fuente: BOHN; McNEAL y O'CONNOR, 1979.

Las arcillas tipo 2:1 son dos capas tetrahedrales encerrando una capa octahedral, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 9. Estructura cristalina de una arcilla tipo 2:1. (Montmorillonita)

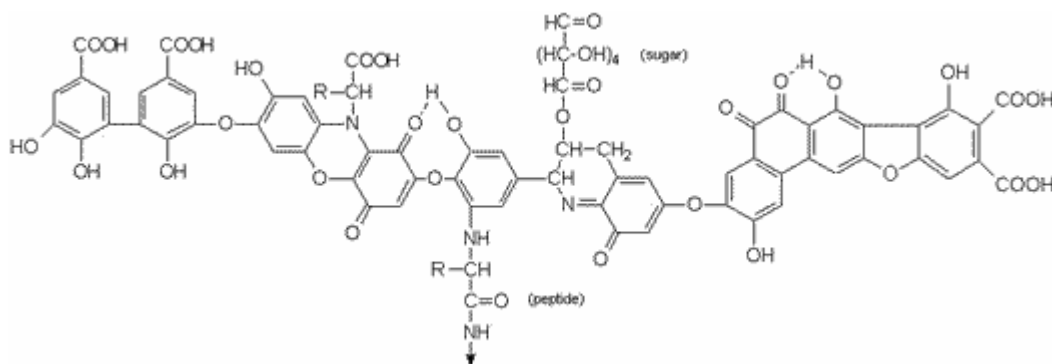


Fuente: BOHN; McNEAL y O'CONNOR, 1979.

**1.6.4.2.2 Materia orgánica.**<sup>37</sup> El contenido de materia orgánica en la superficie de suelos minerales generalmente va de 0,5 a 5% m/m, sin embargo ésta porción puede ejercer un profundo efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. La materia orgánica está compuesta por humus y material no húmico que incluye residuos de plantas y animales como carbohidratos, proteínas, grasas, ligninas, taninos y varios productos parcialmente descompuestos.

La descomposición de estos materiales no húmicos bajo la acción de los microorganismos da lugar al humus, que es un polímero coloidal de composición compleja. El principal componente de la materia orgánica del suelo es el humus, cerca del 10 al 30% de la composición del humus son polisacáridos y su mayor componente (50-80%), el ácido húmico puede ser representado así:

Figura 10. Estructura del ácido húmico.



Fuente: BOHN; McNEAL y O'CONNOR, 1979.

**1.6.4.3 Desarrollo de carga eléctrica en suelos.**<sup>38</sup> La partícula de suelo se carga negativamente por dos procesos denominados sustitución isomórfica e ionización de grupos funcionales; el primero hace referencia a la carga permanente del suelo y depende únicamente de las arcillas, mientras que el segundo, origina la llamada carga dependiente del pH y corresponde tanto a la materia orgánica como a las arcillas.

**1.6.4.3.1 Carga permanente.** La sustitución isomórfica es el cambio de un ion por otro de similar tamaño (hasta un 15% de diferencia) dentro de la estructura cristalina de la arcilla. El catión reemplazante puede tener mayor, igual o menor carga que el reemplazado. Si un catión de menor valencia sustituye uno de mayor,

<sup>37</sup> Ibid, p.90-94

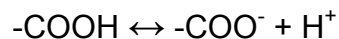
<sup>38</sup> Ibid, p.94-99

como en el caso del  $\text{Mg}^{+2}$  por  $\text{Al}^{+3}$  o de  $\text{Al}^{+3}$  por  $\text{Si}^{+4}$ , la carga negativa de los iones  $\text{O}^{-2}$  y  $\text{OH}^-$  presentes en la estructura mineral es desbalanceada, originando una carga neta negativa en la arcilla. La sustitución isomórfica no da origen exclusivamente a cargas negativas; sin embargo es lo más común en la mayoría de los minerales del suelo.

En la mayoría de los casos, la sustitución isomórfica ocurre durante la cristalización de las capas de silicatos. Una vez formados, los minerales quedan cargados permanentemente debido a esta sustitución.

**1.6.4.3.2 Carga dependiente del pH.** La principal fuente de este tipo de carga es la ganancia o pérdida de iones  $\text{H}^+$  provenientes de los grupos funcionales que se encuentran en la superficie de los sólidos del suelo. Los grupos funcionales son hidroxilo ( $-\text{OH}$ ), carboxilo ( $-\text{COOH}$ ), fenol ( $-\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ ) y amino ( $-\text{NH}_2$ ). La carga que se desarrolla de los grupos funcionales depende del pH de la solución del suelo, el cual regula el grado de protonación o deprotonación de los grupos; en general, en medio ácido, las partículas del suelo tenderán a ganar protones ( $\text{H}^+$ ) y a cargarse positivamente, mientras que en medio alcalino, se cargarán negativamente.

En cuanto a la materia orgánica del suelo, la carga negativa se atribuye a la disociación del  $\text{H}^+$  desde los grupos funcionales carboxílicos y fenólicos. Aún por debajo de pH 7, muchos grupos carboxílicos son suficientemente ácidos para disociarse, dejando una carga negativa disponible en el sitio del grupo funcional.



A medida que el pH sube, los grupos carboxílicos y fenólicos se siguen disociando, y aportando al total de la carga negativa del suelo. Se ha estimado que cerca del 90% de la carga negativa del humus se debe a la disociación de estos dos grupos.

Adicionalmente los grupos enol ( $-\text{COH}=\text{CH}$ ) y amida ( $>\text{NH}$ ) contribuyen a la carga negativa de los materiales orgánicos. Toda la carga de la MOS es dependiente del pH. No se ha encontrado suelos con cargas netas positivas a valores de pH normales del suelo (pH 2.5-8)

**1.6.4.4 Expansión o hinchamiento de arcillas.** La unión de los planos tetrahedral y octahedral vistos en las figuras 6 y 7 forman las llamadas laminillas de arcilla, que están superpuestas una encima de otra dando forma a grumos o partículas visibles llamadas tactoides. En el caso de arcillas 1:1, estas laminillas están unidas entre sí por enlaces de hidrógeno entre los iones  $\text{O}^{-2}$  del plano tetrahedral y los  $\text{OH}^-$  del octahedral, con lo cual tienen neutralizada la sumatoria



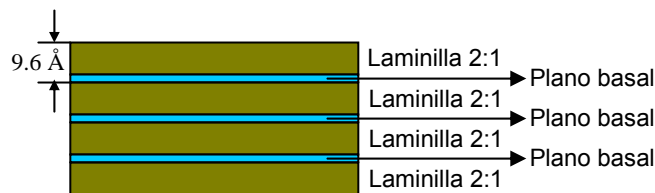
de las cargas eléctricas. Esto las hace muy difíciles de separar y por ende de expandirse. Sin embargo, las arcillas de tipo 2:1 cargadas eléctricamente en su superficie están unidas electrostáticamente por cationes localizados entre las laminillas en el llamado plano basal, ...ver figura 11...

Entre mayor sea la carga neta sobre la superficie de la laminilla, más fuerte será la unión entre laminillas. Por ejemplo, las esmectitas (montmorillonita) tienen una carga baja, por lo cual tienen un enlace débil, tal como las moléculas polares como el agua. Esta puede entrar por los planos basales con lo cual el mineral se expande.

En los minerales con capas de alta carga neta como las micas, las uniones iónicas son demasiado fuertes como para que las moléculas polares entren y causen expansión.

Las vermiculitas tienen un nivel de carga intermedio, lo que les confiere propiedades de expansión intermedias entre las micas y las esmectitas.

Figura 11. Representación de láminas de montmorillonita sin expansión.



Fuente: BOHN; McNEAL y O'CONNOR, 1979. Adaptado por el Autor, 2005.

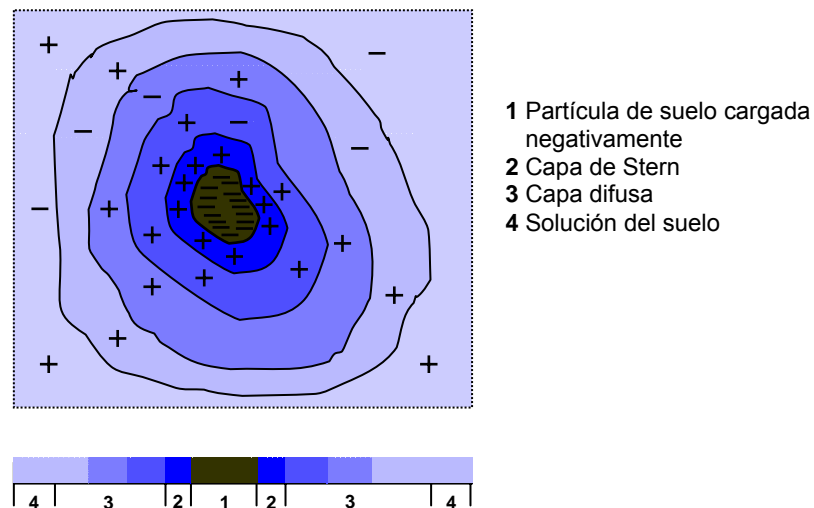
Dentro de los planos basales pueden ingresar cationes junto con la solución del suelo, que causan una mayor separación de las laminillas.

**1.6.4.5 Doble capa difusa.**<sup>39</sup> Las partículas cargadas negativamente están rodeadas por la solución del suelo donde los iones hidratados están distribuidos en diferentes capas de acuerdo a su nivel de concentración. Cerca de la superficie cargada negativamente se encuentra una capa de iones contrarios llamada capa de Stern, la cual forma, con las cargas negativas del cambiador, una capa doble. En ella la concentración es mucho más alta que en la solución del suelo. Desde esta capa la concentración cambia gradualmente hasta alcanzar la concentración de la solución del suelo, dando origen a la capa difusa. En las figuras 12 a 15 se esquematiza este concepto.

<sup>39</sup> Ibid, p.141-144

El espesor de la capa doble es variable y disminuye cuando la concentración de la solución del suelo aumenta. En caso de concentraciones iguales, el espesor es más delgado para los cationes polivalentes que para los monovalentes; esto debido a que los radios de hidratación de los cationes polivalentes son más pequeños que los de los monovalentes.

Figura 12. Capa doble difusa en arcillas presentes en los suelos.



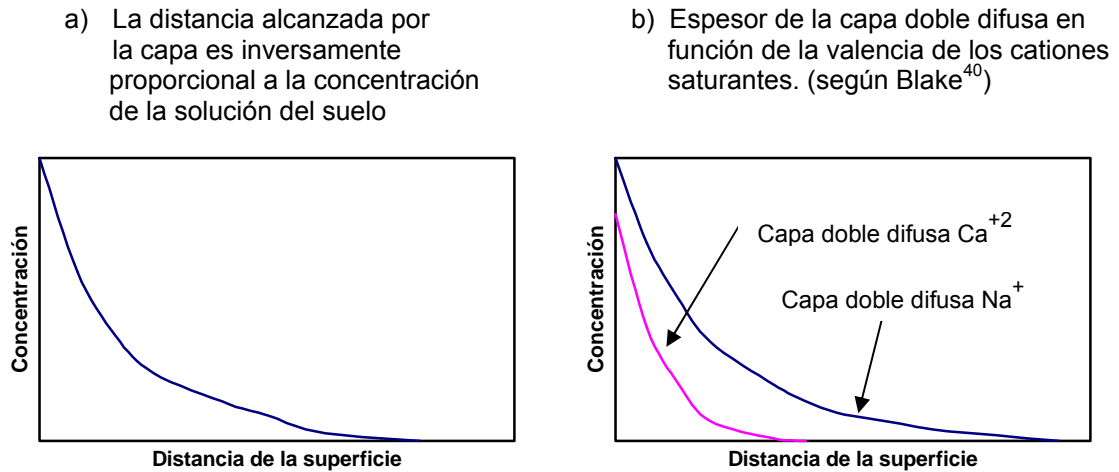
Fuente: El Autor, 2005.

Los cationes que están neutralizando las cargas negativas, se conocen como cationes intercambiables mientras que los remanentes son los solubles.

En la Figura 13 se aprecia que el espesor de la capa difusa es inversamente proporcional al la raíz cuadrada de la concentración de la solución del suelo; de igual manera, decrece a medida que la valencia del ión intercambiable aumenta.

Cuando dos capas difusas asociadas se encuentran o traslapan tienden a repelerse, debido a que ambas presentan cargas positivas.

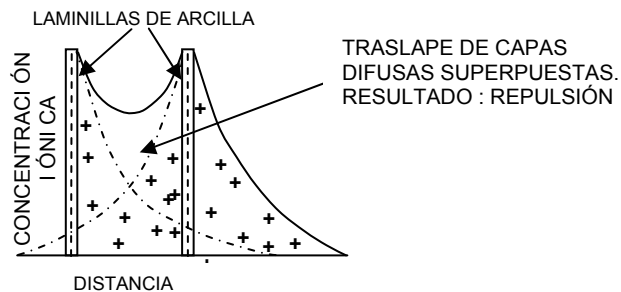
Figura 13. Espesor de la capa doble difusa en las arcillas del suelo



Fuente: Fassbender y Bornemisza, 1994.

**1.6.4.6 Dispersión de arcillas.** La doble capa difusa se presenta principalmente en las superficies externas de los diferentes paquetes de laminillas o tactoides. El espesor de esta capa puede aumentar hasta valores particularmente altos cuando el catión saturante es el  $\text{Na}^{+}$  altamente hidratado, con lo que se origina la dispersión de las arcillas<sup>41</sup>. En las siguientes figuras se esquematiza dicho fenómeno.

Figura 14. Laminillas de arcilla dispersas.



Fuente: Adaptado de Shainberg y Oster, 1978.

A medida que las “colas” de la capa difusa son más largas, la distancia entre las partículas de arcilla aumenta debido a la repulsión generada por cargas del mismo

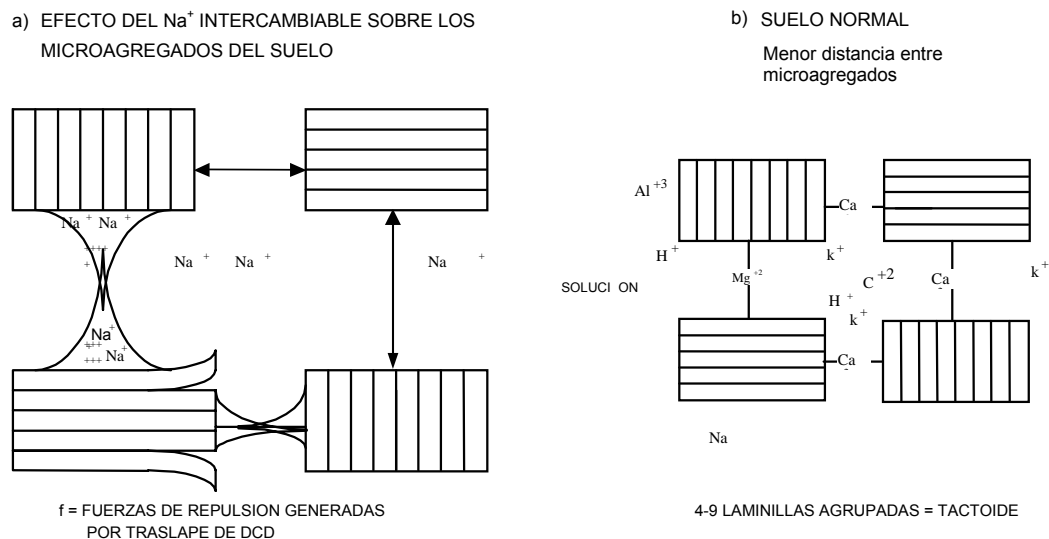
<sup>40</sup> BLAKE, C.D. Fundamentals of modern agriculture. Australia: Sydney University press, 1988.

<sup>41</sup> FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. Op cit. P.143.

signo, fomentando la dispersión de los suelos y originando los problemas estructurales mencionados en la sección 1.4.1.

En la Figura 15, se presenta un esquema de la dispersión del suelo (mayor distancia entre tactiodes o partículas de arcilla) debido a la presencia de iones deletéreos, de igual manera se esquematiza la expansión entre laminillas de arcilla así como la estructura normal del suelo.

Figura 15. Dispersión del suelo por contenido de  $\text{Na}^+$  Vs. Suelo normal no disperso.



Fuente: García Ocampo, 1995.

#### 1.6.4.7 Teoría de *Letey & Shainberg* acerca del nivel crítico de floculación.

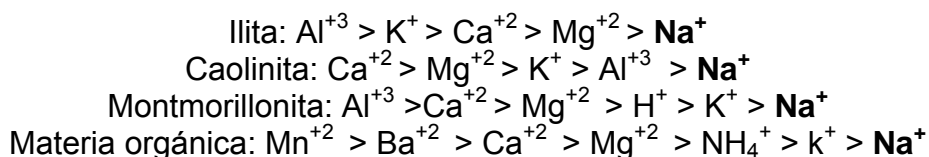
De acuerdo a lo anterior, se observa que de no existir cationes en la solución del suelo, las arcillas tenderán a expandirse y dispersarse porque no habrá un elemento que las ligue. Por lo tanto, Letey y Shainberg<sup>42</sup> establecieron un valor crítico de floculación o agregación de partículas de arcilla, considerándolo como la cantidad de sales que deben estar presentes en la solución para mantener el suelo o sus arcillas constituyentes agregadas a una condición dada de porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Dicho de otra forma, para una arcilla dada existe una concentración mínima de electrolitos, que causa agregación a un determinado valor de saturación de sodio, el cual se conoce como valor de floculación. En

<sup>42</sup> SHAINBERG, I. Y LETEY, J. Op Cit. p.54.

general, a mayor PSI (a mayor contenido de sodio en la fase sólida del suelo) mayor debe ser la concentración de sales en la solución ...ver tablas 1 y 2...

**1.6.4.8 Poder intercambiador de diferentes cationes y selectividad de intercambio.**<sup>43</sup> La fuerza con que un catión es retenido por el complejo de cambio depende de dos de sus propiedades: su carga eléctrica (valencia) y su tamaño (dado por el radio hidratado de los iones). El factor más importante que determina la magnitud de la adsorción de un catión es su valencia. Así, los iones divalentes son retenidos más fuertemente que los monovalentes, los trivalentes aún más y los tetravalentes son prácticamente irremplazables.

Al igual que en las resinas, las partículas cargadas del suelo prefieren unos cationes sobre otros, fenómeno que se denomina selectividad o preferencia por un catión específico. Es así como se ha determinado las siguientes selectividades para una serie de arcillas y materia orgánica:



La preferencia de las partículas de suelo por un ión sobre otro de la misma valencia se debe al radio deshidratado del catión, a mayor radio mayor es la fuerza con que es retenido. En adición a esto, los iones de menor radio deshidratado tienen una densidad de carga mayor, ya que poseen menor masa pero tienen la misma carga eléctrica de un catión mas grande y de la misma valencia, por tal motivo atraen las moléculas de agua más fuertemente. Lo anterior origina que su radio hidratado sea más grande que el de un catión con un radio deshidratado grande. En la tabla 9 se muestran estas relaciones.

Tabla 9. Relación entre radios deshidratados y agua de hidratación para varios cationes.

ION	RADIO DESHIDRATADO	AGUA DE HIDRATACIÓN	RADIO HIDRATADO*
	Å	Mol H <sub>2</sub> O/ion	Å
Na <sup>+</sup>	0.97	4	5.6-7.9
K <sup>+</sup>	1.33	2.5	3.8-5.3
Mg <sup>+2</sup>	0.66	9-13	10.8
Ca <sup>+2</sup>	0.99	8-10	9.6

Fuente: Bohn; McNeal y O'Connor, 1979. \*Mitchell, 1993.

<sup>43</sup> BOHN; MCNEAL Y O'CONNOR. Op Cit. p. 73.

De la tabla anterior se deduce que el espesor de la capa difusa de una partícula cargada con  $K^+$  será menor al de una cargada con  $Na^+$ . A pesar de que el radio hidratado del  $Na^+$  sea más grande que el del  $Ca^{+2}$ , el espesor de la capa difusa de éste último es más pequeña que la del  $Na^+$ , debido a que dos cargas negativas de la partícula de suelo retienen un solo  $Ca^{+2}$ , o sea que tiene una mayor fuerza de atracción por la superficie; mientras que necesitan dos  $Na^+$  para neutralizar las mismas cargas negativas, es decir, el radio para una partícula con dos cargas negativas neutralizadas con  $Ca^{+2}$  sería de 9.6 Å y para el caso del  $Na^+$  sería de 5.6x2 a 7.9x2, que equivale a 11.2-15.8 Å.

**1.6.4.9 Efecto sobre las propiedades microbiológicas.** Según Camargo 1960, citado por Patiño<sup>44</sup>, la población de bacterias en un suelo incubado con vinaza, creció rápidamente de la primera a la cuarta semana de incubación aún con una dosis tan baja como 150 m<sup>3</sup>/ha de Vinaza diluida (concentración de sólidos de 10% m/m) existiendo un aumento poblacional del 25.3% con respecto al suelo sin Vinaza.

Los azúcares rápidamente utilizables, como pentosas, son fácilmente descompuestos por los microorganismos del suelo durante los procesos de degradación de materia orgánica; adicional a esto, según García<sup>45</sup>, numerosos investigadores le han atribuido a la materia orgánica la responsabilidad por mejorar la estructura física del suelo al aumentar su población y actividad microbiana e incrementando la aireación, la infiltración del agua y la permeabilidad, atribuyendo estos efectos a los productos y secreciones de los microorganismos al descomponer la materia orgánica, lo cuales son aptos para unir las partículas del suelo entre si.

## **1.7 EXPERIENCIAS EN RECUPERACIÓN DE SUELOS CON MEJORADORES NO CONVENCIONALES**

**1.7.1 Adición de aguas salinas.** Reeve y Bower<sup>46</sup> demostraron que un suelo sódico puede recuperarse rápidamente mediante aplicaciones de agua altamente salina conteniendo  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  usando el sistema de diluciones sucesivas. Esto se basa en el principio de dilución, ya que la dilución de la solución del suelo favorece la retención de los cationes divalentes y el desplazamiento de los

---

<sup>44</sup> PATIÑO, S. Evaluación económica de la aplicación de Vinaza concentrada en la fertilización de caña de azúcar. Cali: Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura, 2003. p.53.

<sup>45</sup> GARCÍA O, A. Sodic soils reclamation using vinasses. En: International symposium on salt-affected lagoon ecosystems. España: 1995. p.137-143.

<sup>46</sup> REEVE, R.C. y BOWER C.A. Use of high-salt waters as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. U.S.A: Soil Sci, 1960. p.139-143.

monovalentes, con lo cual se facilita la recuperación. Posteriormente Reeve y Doering<sup>47</sup> demostraron, que en condiciones de campo, la recuperación de un suelo altamente sódico se pudo lograr en pocos días usando series de soluciones de  $\text{CaCl}_2$  desde  $300 \text{ mol/m}^3$  hasta  $9 \text{ mol/m}^3$ .

Marulanda<sup>48</sup> en suelos con altas saturaciones de sodio pertenecientes a las haciendas El Rincón y La Rosaura del municipio de Palmira, encontró que “la aplicación de aguas salinas (solución de Cloruros de Calcio y Magnesio) con más de  $100 \text{ me/L}$  de sales, permitió un rápido y total desplazamiento del sodio intercambiable y la recuperación de las propiedades hídricas”; al respecto se presenta la tabla 10 con el resumen de dicha investigación.

Tabla 10. Resumen investigación en adición de aguas electrolíticas en la recuperación de suelos salino-sódicos.

TRATAMIENTOS			SUELOS			
#	Concentración Electrolítica	CE	La Rosaura		El Rincón	
	me/l	dS/m	CEe	PSI	CEe	PSI
			dS/m	%	dS/m	%
1	0	0	3.20	125.69*	7.41	189.57*
2	10	0.98	2.80	110.58*	1.13	79.75
3	50	3.93	1.68	49.70	1.81	8.90
4	100	7.02	2.64	1.40	2.67	0.81
5	200	12.84	2.18	1.01	5.01	0.81
6	400	20.63	9.06	0.74	8.06	1
7	600	27.94	10.57	0.61	8.80	1.03

Fuente : Marulanda,1992.

De la tabla anterior se aprecia que a partir del tratamiento No.4 los valores de PSI son menores a 7%, que es el valor límite para considerar al suelo como no sódico, sin embargo el valor de la conductividad eléctrica del extracto de saturación incrementa ya que en ningún momento se realizó adición de aguas no salinas para lavado.

<sup>47</sup> \_\_\_\_\_ y DOERING, E.J. Field comparison of the high salt-water dilution reclaiming sodic soils. 6<sup>th</sup> international committee on irrigation and drainage. New Delhi, 1966. p.19.1-19.14.

<sup>48</sup> MARULANDA, E. Efecto de la concentración de electrolitos del agua de riego en la recuperación de suelos sódicos. Palmira: Tesis de grado Ph.D., Universidad Nacional, 1992. 91p.

\* Los análisis de laboratorio dieron un Sodio Intercambiable más alto que la CIC.

**1.7.2 Uso de Vinaza10.** Con base en los resultados anteriores en 1995, García<sup>49</sup> usó Vinaza10 en la recuperación de suelos altamente sódicos de la hacienda El Rincón ubicada en Palmira, Valle del Cauca. Se pudo concluir que la reclamación de un suelo sódico depende críticamente del mantenimiento de una conductividad hidráulica lo suficientemente alta para asegurar que los iones de  $\text{Ca}^{+2}$  se puedan mover en el suelo para desplazar al  $\text{Na}^{+1}$  intercambiable que debe ser lavado a horizontes inferiores. Se comprobó que con Vinaza se puede lograr la recuperación en corto tiempo, porque causa cambios en la permeabilidad del suelo promovidos por la alta concentración electrolítica y la actividad microbiana.

En 1993, en la hacienda Guadualito, ubicada en el corregimiento de Rozo, municipio de Palmira, se inició un proceso de corrección del problema de sales y sodio usando la técnica tradicional que implicó la construcción de la red de drenaje entubado de casi 3 km de longitud, la Incorporación de azufre agrícola hasta 30 cm de profundidad en el suelo, riego por aspersión y rastrilladas y aplicación de agua de lavado por inundación. Este proceso no resultó exitoso en algunas áreas, por lo que se procedió a la aplicación de yeso agrícola y a un nuevo lavado, quedando finalmente 25 hectáreas sin recuperar.

Posteriormente, en 1995, luego de finalizado el tratamiento anterior, se aplicó Vinaza10 en 20 de las 25 hectáreas, seguido de un periodo de lavado para eliminar los excesos de sales. La dosis total de Vinaza10 aplicada fue de 2413  $\text{m}^3/\text{ha}$  y el tiempo del tratamiento fue de seis meses. Al final, los suelos mostraron una rápida recuperación por lo que se procedió a sembrar caña de azúcar, la cual presentó un excelente estado de desarrollo. En la tabla 11 se presenta un resumen del tratamiento realizado por García, Echeverri y Patiño<sup>50</sup>.

Tabla 11. Resumen experiencia en el manejo de suelos afectados por salinidad: el caso Guadualito.

SUERTE	ANTES DE TRATAMIENTO CON AZUFRE			ANTES DE VINAZA10			DESPUÉS DE VINAZA10		
	pH	CEe	PSI	pH	CEe	PSI	pH	CEe	PSI
	-	dS/m	%	-	dS/m	%	-	dS/m	%
16-1	9.00	1.36	21.5	8.80	2.87	35.8	7.4	4.68	1.44
16-2	8.80	5.13	34.6	8.80	5.13	34.6	7.7	2.93	1.23
24	8.80	-	-	8.20	3.93	22.8	7.7	2.34	3.53

Fuente: García Ocampo, Echeverri y Patiño (1999).

<sup>49</sup> GARCÍA O, A. Op Cit, p. 137-143.

<sup>50</sup> \_\_\_\_\_; ECHEVERRY, F y PATIÑO, F. Manejo de suelos afectados por salinidad: el caso de la Hacienda Guadualito. En: Tecnicaña No. 7. Volumen I, septiembre 1999. p.10-13.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en las instalaciones de Sucromiles S.A, en Palmira, Valle del Cauca. La zona tiene una precipitación promedio de 965 mm anuales, evaporación promedio anual de 1716.1 mm, temperatura media de 23°C y máxima media de 30°C, humedad relativa del 87 % y una altura de 990 m.s.n.m.

### 2.2 MATERIALES

**2.2.1 Suelos.** Se utilizaron tres suelos seleccionados con base en sus propiedades químicas, buscando obtener tipos representativos de suelos salinos, sódicos y magnésicos.

Los suelos se tomaron de varios puntos de las zonas afectadas para formar una muestra compuesta para cada suelo. Se recolectaron de los 40 cm superficiales del perfil. Se secaron al aire y a la sombra, se molieron con rodillo, se tamizaron por una malla de 4mm de diámetro, se homogenizaron y se tomaron muestras aleatorias para determinar algunas de sus características químicas y físicas iniciales. Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios de Corpoica Palmira.

Los suelos pertenecen a la zona rural de los corregimientos de Palmaseca y Rozo, que hacen parte de la jurisdicción de Palmira-Valle del Cauca; y se caracterizan por ser las zonas más típicas en suelos salinos en Colombia.

El suelo 1 (***Typic Pellustert***)\* proviene de la Hacienda “La Rosaura”, las coordenadas\*\* de la zona muestreada son 3°33’03” N y 76°26’32” W, la elevación en éste punto es de 1008 m.s.n.m, este suelo presenta condiciones salino-sódicas.

En la figura 16 se aprecia las propiedades físicas iniciales del suelo en mención.

---

\* Para establecer la clasificación taxonómica de los suelos en estudio, de acuerdo a sus coordenadas geográficas, se usó la información del estudio de suelos próximo a ser publicado por la CVC junto con el IGAC,. Esta información sin publicar aún oficialmente, fue suministrada por el Dr. Álvaro García Ocampo, quien hace parte del comité de revisión del texto. En el Anexo E se encuentran las generalidades de la clase taxonómica de cada suelo, según el sistema de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

\*\* Latitud, longitud y altitud medidas con GPS.

Figura 16. Suelo 1 (***Typic Pellustert***), Hacienda La Rosaura. Palmira, Valle del Cauca.



Fuente: El Autor, 2004.

Los suelos 2 y 3 (***Udic Pellustert***) se tomaron de la Hacienda “La Cabaña”, de la suerte 2 - lote 3 cuyas coordenadas son 3°34’53” N y 76°26’46” W, elevación de 961 m.s.n.m. y de la suerte 1 – lote 1, 3°34’56” N y 76°26’19” W, elevación 959 m.s.n.m. Estos suelos presentan características salino-magnésicas.

En las figuras 17 y 18 se presentan los suelos 2 y 3. A diferencia del primer suelo, en estos terrenos se tenía cultivo de caña de azúcar en el

momento de la recolección de las muestras, en las fotografías se puede apreciar el efecto de las condiciones adversas causado a las plantas, ya que en las zonas afectadas no prospera la caña a pesar de haber sido sembrada y tratada de la misma manera que las cañas adyacentes.

Figura 17. Suelo 2 (*Udic Pellustert*), Hacienda La Cabaña. Palmira, Valle del Cauca.

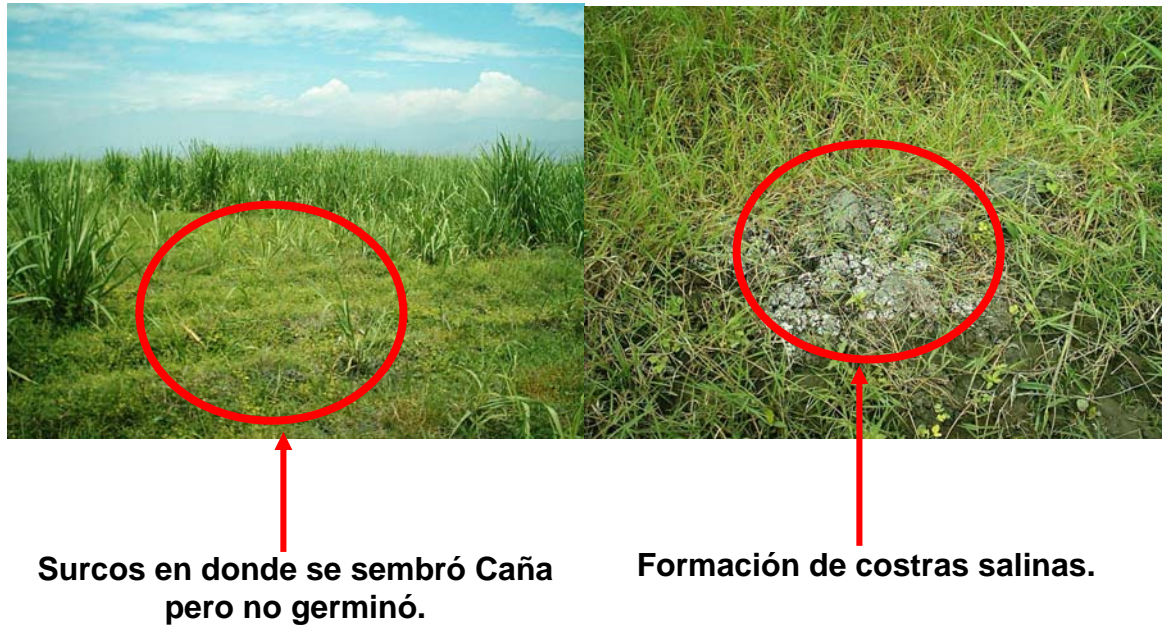


**Surcos en donde se sembró Caña pero no germinó.**

Fuente: El Autor, 2004.



Figura 18. Suelo 3 (***Udic Pellustert***), Hacienda La Cabaña. Palmira, Valle del Cauca.



Fuente: El autor, 2004.

**2.2.2 Agua.** Se usó agua de pozo proveniente del pozo No.7 de extracción de Sucromiles S.A. con el fin de emular las condiciones de aplicación de agua en los cultivos cuya fuente es subterránea. El agua fue recolectada y almacenada en recipientes plásticos de 55 galones. Las propiedades químicas iniciales fueron determinadas en el laboratorio de suelos de Corpoica, Palmira.

Figura 19. Recipientes de almacenamiento del agua de pozo usada.

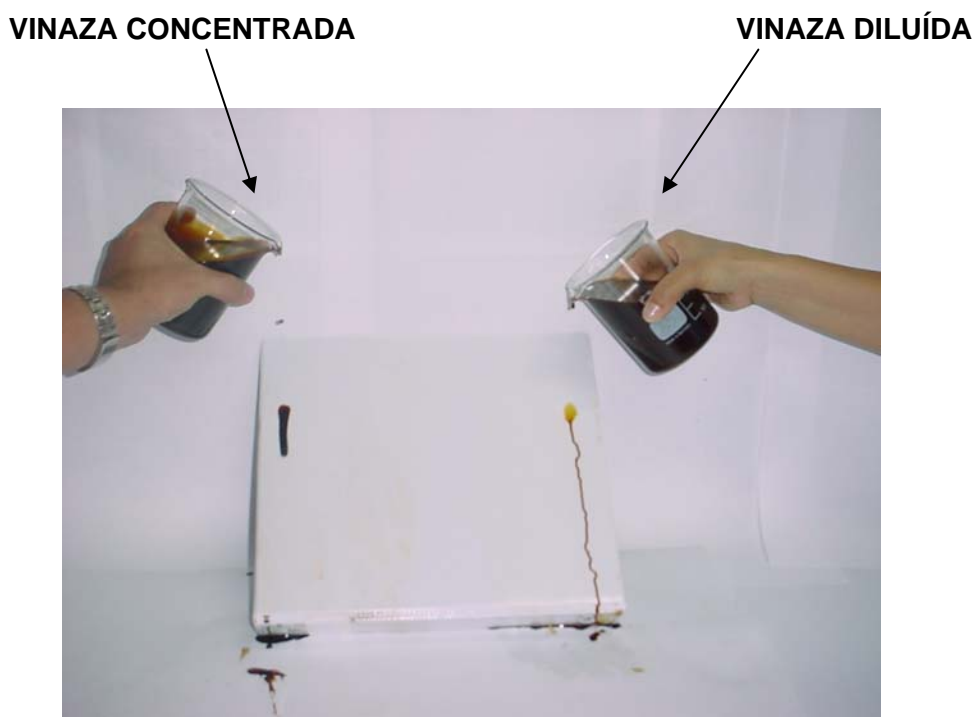


Fuente: El Autor, 2005.

**2.2.3. Vinaza concentrada.** Se usó vinaza concentrada proveniente de la planta de concentración de Alcoquímica. La cantidad usada fue tomada del tanque de almacenamiento de producto 101B18\*. Las propiedades químicas iniciales fueron determinadas en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de Sucromiles S.A.

En la figura 20 se observa el aspecto de la vinaza concentrada respecto de la vinaza diluída. Vale la pena destacar que la concentrada tiene una consistencia parecida a la de la miel debido a su mayor contenido de sólidos totales (55-60% m/m), por lo tanto la viscosidad es también mayor.

Figura 20. Comportamiento mecánico de la vinaza concentrada Vs. Diluida.



Fuente: El Autor, 2005.

## 2.3 MÉTODOS

A continuación se describen los métodos usados para el desarrollo de la presente investigación.

---

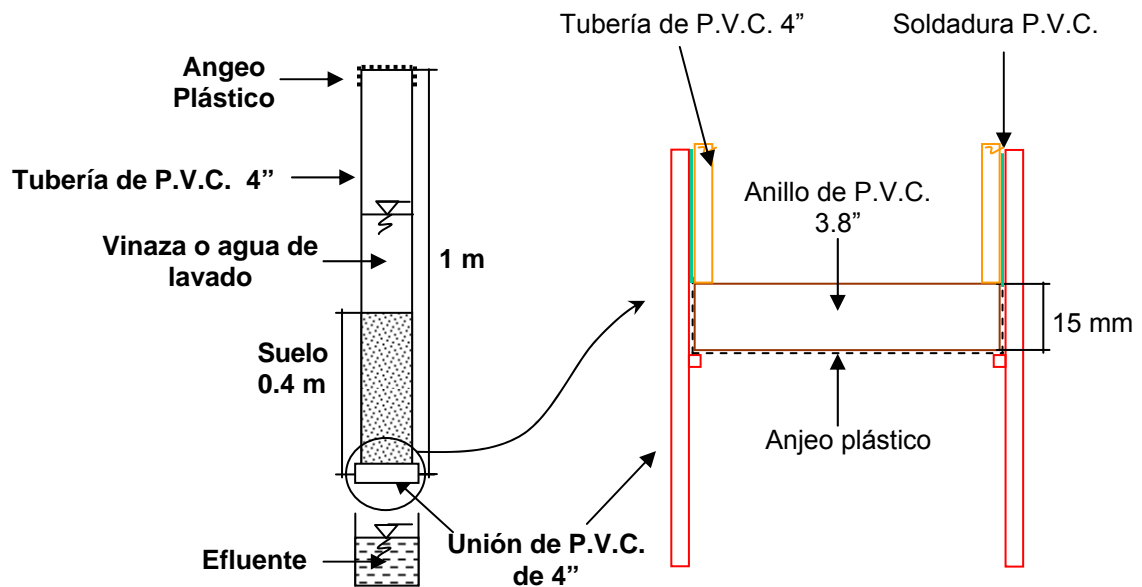
\* 101B18 es el nombre o código dado en la planta de Alcoquímica a este tanque.

**2.3.1 Preparación de las columnas.** En columnas de P.V.C de 4" de diámetro (0,107m de diámetro interno) y de 1 m de longitud se empacó el suelo previamente homogenizado a una densidad aparente en suelo seco de  $\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3$ , hasta una altura de 0.4 m, para lo cual fueron necesarios 5,39 Kg de suelo seco por cada columna. El siguiente es el calculo realizado para la obtención de la cantidad de suelo a usar por cada columna.

$$\begin{aligned} \text{masa Kg (m)} &= \text{densidad Kg/m}^3 (\rho) \times \text{volumen m}^3 (v) \\ m &= 1500 \text{ Kg/m}^3 \times [\pi \times (0,107\text{m})^2/4 \times 0.4 \text{ m}] \\ m &= 5.39 \text{ Kg} \end{aligned}$$

En la siguiente figura se presenta el detalle de la construcción y características de las columnas.

Figura 21. Esquema de las columnas usadas en el experimento.



Fuente: El Autor, 2005.

Cabe resaltar que en el montaje **no** se trata de emular el diseño de algún tipo de filtro, por lo tanto no se busca obtener un caudal o presión determinados, así como tampoco se busca establecer la altura de lecho filtrante para tratar un flujo dado. Simplemente se está trasladando una porción de terreno a unidades experimentales con el fin de disminuir los costos de la investigación pero tratando de conservar las condiciones físicas promedio de los suelos. Numerosas investigaciones han utilizado columnas de suelo para representar lo que ocurre

químicamente en el suelo estudiado. En Argentina<sup>51</sup>, Svartz (1979) y Nijensohn (1994) usaron muestras no perturbadas\*. Curtin (1993), realizó experiencias con muestras perturbadas, reproduciendo distintos suelos en columnas de diámetro pequeño.

La altura de la columna se fijó en un metro para dejar un borde libre luego de aplicados los tratamientos.

La densidad y la altura escogidas para empaçar los suelos se basaron en los criterios dados en el manual 60 de salinidad del departamento de agricultura de los E.U.<sup>52</sup>, los cuales establecen un promedio para la densidad aparente de suelo seco de 1333 kg/m<sup>3</sup> y profundidades típicas a recuperar que van de 15 a 30 cm. Para este caso la profundidad que se decidió recuperar fue de 40 cm. En cuanto a la densidad aparente, se tomó 1500 kg/m<sup>3</sup> debido a los altos contenidos de arcilla de los suelos en estudio y se unificó este valor para todos los suelos para no involucrar variables de control adicionales.

Para la adición de los suelos a las columnas se dividió la cantidad de suelo en tres partes iguales (aproximadamente 1,80 Kg/cada una). Luego de agregar la primera porción de suelo, la columna se golpeó suavemente cinco (5) veces contra el suelo en un movimiento vertical uniforme; es decir, la columna siempre se elevó hasta una altura de 5 cm respecto al piso para luego golpearla contra éste, con el fin de lograr que las partículas del suelo se acomodaran lo más uniformemente posible dentro de la columna. Después de los cinco golpes se procedió a agregar las siguientes cantidades de suelo de igual forma. Esta operación la realizó una sola persona para evitar al máximo diferencias en la fuerza aplicada a la columna. Finalmente se verificó que la altura del suelo dentro de la columna fuera 40 cm para asegurar que la densidad de empaque se mantuviera lo más cercano a los 1500 Kg/m<sup>3</sup> en todas las columnas.

---

<sup>51</sup> MARANO, R. P; PILATTI M. A. y ORELLANA J. A. Estudio del efecto de la calidad del agua subterránea para riego, en el centro de santa fe, sobre propiedades del suelo mediante simulación física. Argentina: UNL. <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/congreso/9marano.pdf>

\* Muestra no perturbada: Suelo al que no se le alteró ninguna de sus propiedades físicas iniciales.

<sup>52</sup> DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS E.U. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, traducción del manual 60. México: Limusa, 1980. p53.

Figura 22. Montaje Columnas para el experimento.



Fuente: El Autor, 2005.

**2.3.2 Métodos analíticos.** Los métodos analíticos usados para la determinación cuantitativa de las variables objeto de estudio se resumen en la tabla 12. En cuanto al análisis de suelos se siguieron los métodos del manual 47 del ICA. Respecto a los análisis de los percolados se siguieron los métodos estandarizados en los laboratorios de Sucromiles S.A.

## 2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño unifactorial completamente aleatorizado, con 4 niveles por cada suelo, un testigo y cuatro repeticiones, para un total de 20 columnas por cada suelo. La asignación del suelo y de la dosis para cada columna se hizo de manera aleatoria; en el anexo F se encuentra el plano con la distribución final de las columnas.

### 2.4.1 Factores, niveles y repeticiones.

- **Factores.** El estudio solo involucra un factor, la dosis de vinaza ( $\text{m}^3/\text{Ha}$ ) necesaria para la recuperación de suelos.
- **Niveles.** Los niveles para la dosis de vinaza a aplicar ( $\text{m}^3/\text{Ha}$ ) son: 100, 200, 300 y 400 más el testigo, es decir la dosis cero. Estas dosis se establecieron con el fin de encontrar la curva real de recuperación del suelo teniendo en cuenta la experiencia llevada a cabo en la Hacienda Guadualito, en donde se obtuvo una buena recuperación con una dosis de Vinaza10 de  $2,413 \text{ m}^3/\text{ha}$ . En la figura 23 se muestra a lo que se pretende llegar con el presente estudio.

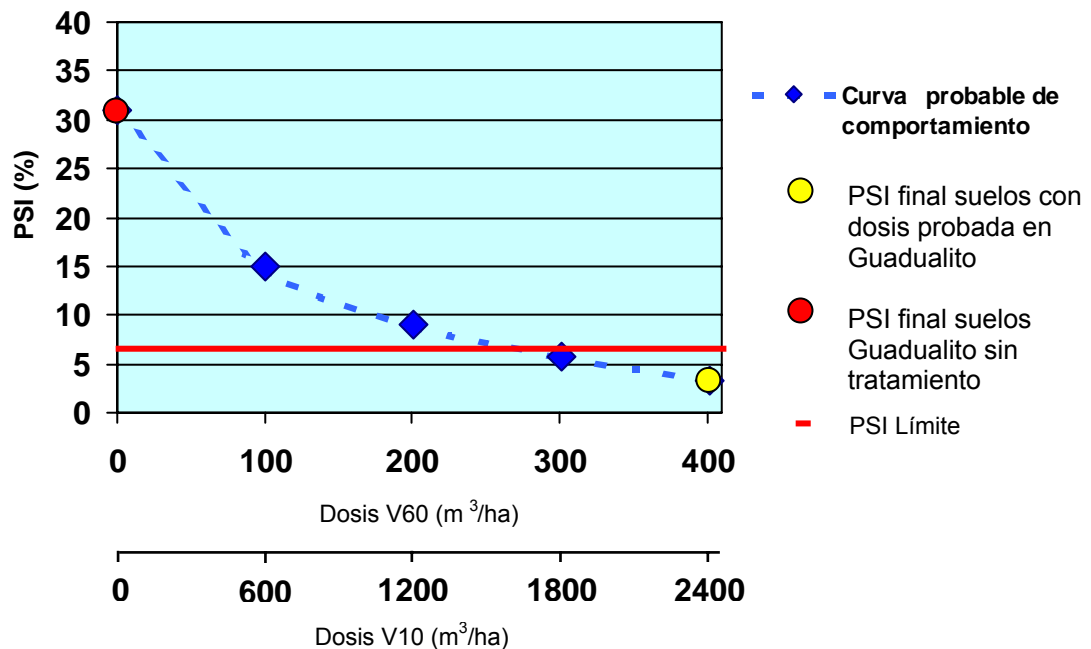


Tabla 12. Resumen métodos analíticos usados en el experimento.

AGUAS PERCOLADAS		SUELOS	
VARIABLE	MÉTODO	VARIABLE	MÉTODO
<b>pH</b>	Lectura dada por pH metro	<b>Capacidad de Intercambio Catiónico</b>	Por Acetato de Amonio
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Lectura dada por conductímetro con corrector automático de temperatura	<b>Cationes Intercambiables</b>	Espectrofotometría de absorción atómica con extracción por acetato de amonio 1N a pH:7
<b>Sodio Soluble</b>	Espectrofotometría de absorción atómica	<b>Cationes Solubles</b>	Espectrofotometría de absorción atómica del extracto de saturación
<b>Magnesio Soluble</b>		<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	Por acetato de sodio 1N a pH 8.2
<b>Calcio Soluble</b>		<b>Conductividad Eléctrica</b>	Lectura dada por conductímetro con corrector automático de temperatura usando como muestra el extracto de saturación del suelo
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	Reflujo con Dicromato de Potasio	<b>Porcentaje de Sodio Intercambiable</b>	Matemáticamente de la relación entre Sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico
-	-	<b>Porcentaje de Magnesio Intercambiable</b>	Matemáticamente de la relación entre Magnesio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico
-	-	<b>pH</b>	En solución del suelo relación suelo:agua 1:2,5.
-	-	<b>Conductividad Hidráulica</b>	Medida directamente de las columnas de ensayo como altura de lamina percolada por unidad de tiempo
		<b>Textura</b>	Por Bouyucos
		<b>Densidad Real</b>	Por Picnómetro

Fuente: Métodos del manual 47 del ICA y métodos estandarizados de Sucromiles.

Figura 23. Comportamiento probable de la recuperación del Suelo Vs. Dosis de Vinaza60 Aplicada\*



Fuente: El Autor, 2005.

- **Repeticiones.** Se emplearon cuatro repeticiones por cada uno de los tratamientos o niveles (diseño balanceado).

## 2.4.2 Definición de variables.

**2.4.2.1 Variable de control del proceso.** Dosis de vinaza Concentrada ( $\text{m}^3/\text{Ha}$ ). Debido a la viscosidad de la vinaza (figura 20) y para que las diferentes dosis puedan atravesar más fácilmente el perfil del suelo empacado en las columnas, deben aportar una carga hidráulica equivalente a dos veces el volumen de poros (2VP)<sup>53</sup> de cada suelo. Teniendo en cuenta la porosidad de los suelos, el área de la tubería de P.V.C. de 4" y la densidad de la Vinaza60, la carga hidráulica aportada por las diferentes dosis es inferior a 2VP, por lo cual debe adicionarse agua a cada dosis de vinaza concentrada. En la tabla 13 se relaciona la cabeza

\* La gráfica se hace a manera de ejemplo con la disminución del PSI. De igual manera se aplica a las demás variables de respuesta.

<sup>53</sup>MARULANDA, E. Op cit, 91 p.

hidráulica aportada por la Vinaza60 y la altura requerida por cada suelo de acuerdo a su porosidad.

Tabla 13. Cabeza hidráulica de las dosis de Vinaza60 a aplicar en el experimento.

Tratamiento	Dosis Vinaza60		Cabeza Hidráulica Aportada	Cabeza Hidráulica Ideal		
				Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3
	m <sup>3</sup> /ha	L/Columna	cm	cm	cm	cm
0	0	0	0	15.60	14.99	15.09
1	100	0.081	0.99			
2	200	0.163	2.01			
3	300	0.244	3.00			
4	400	0.326	4.02			

Fuente: El Autor, 2005.

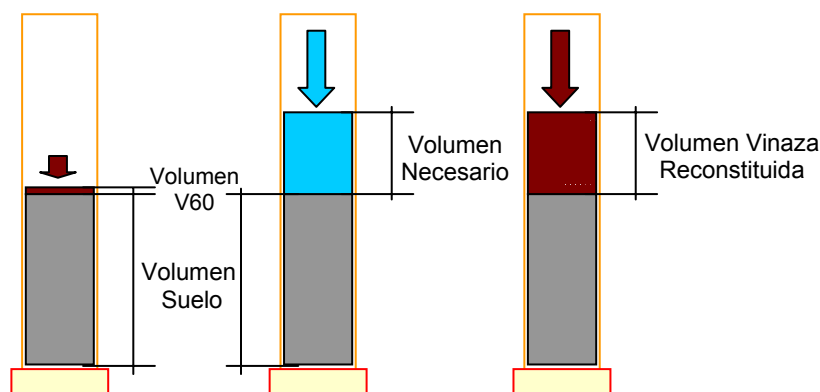
En la tabla 14 se relaciona la cantidad de agua a adicionar para proporcionar la cabeza hidráulica ideal. En la tabla 15 se relaciona la concentración final de la vinaza resultante después de ser adicionada el agua. La figura 24 es una representación de lo que se busca al agregarle agua a la vinaza.

Tabla 14. Agua Adicionada a Vinaza60 para aportar la cabeza hidráulica necesaria a las columnas de suelo.

#	Dosis V60 (m <sup>3</sup> /Ha)	Agua Adicionada (L/Columna)		
		Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3
0	0	2.531	2.432	2.449
1	100	2.450	2.351	2.368
2	200	2.369	2.270	2.287
3	300	2.288	2.189	2.206
4	400	2.205	2.106	2.123

Fuente: El Autor, 2005.

Figura 24. Cabeza Hidráulica Requerida para permitir el paso de la vinaza a través del perfil del suelo.



Fuente: El Autor, 2005.

Tabla 15. Concentración final vinaza usada en el experimento.

#	Dosis V60 (m <sup>3</sup> /Ha)	Concentración de Sólidos Totales Vinaza (% m/m)		
		Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3
0	0	0	0	0
1	100	2.47	2.57	2.56
2	200	4.90	5.10	5.06
3	300	7.29	7.57	7.52
4	400	9.67	10.05	9.99

Fuente: El Autor, 2005.

**2.4.2.2 Variables de operación en el proceso (medidas en el efluente).** Cuando la dosis de vinaza reconstituida se agotó, se procedió a efectuar lavados al suelo con agua de pozo para eliminar las sales intercambiadas, asegurando la cabeza hidráulica de 2VP<sup>54</sup>. Cada volumen de lavado se aplicó una vez se agotó el anterior\*, con el fin de simular las condiciones naturales de lavado. El volumen de agua percolado se recogió y analizó cuando se tenían recolectados

<sup>54</sup> MARULANDA, E. Op cit, p.25.

\*De acuerdo a las circunstancias presentadas durante la ejecución del experimento, las cuales se discuten en el capítulo 3, se decidió mantener una cabeza hidráulica constante luego de que el primer volumen de agua de lavado pasó a través de la columna.

aproximadamente un (1) litro de muestra, determinando la concentración de  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$ , pH, CEe y DQO\*. El resultado final se corrigió por la evaporación sufrida por la muestra durante el tiempo de recolección. Estos análisis se suspendieron cuando la concentración de  $Na^{+}$ ,  $Mg^{+2}$  y CEe se estabilizaron.

**2.4.2.3 Variables de respuesta.** Una vez finalizado el lavado se procedió a determinar en los suelos tratados, la CE (dS/m) en extracto de saturación del suelo, el PSI (%) (suelo 1), el PMgl (%) (suelos 2 y 3), cationes intercambiables (meq/100gr), pH y conductividad hidráulica (cm/día).

**2.4.3 Hipótesis planteadas.** Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- Hipótesis nula: no hay diferencia entre las medias de las diferentes dosis de Vinaza aplicada.  $H_0: \lambda_1 = \lambda_2$
- Hipótesis alterna: existe diferencia entre las medias de las diferentes dosis de Vinaza aplicada.  $H_a: \lambda_1 \neq \lambda_2$

**2.4.4 Manejo estadístico.** Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el suelo, se realizó la prueba F para determinar la validez de las hipótesis planteadas, el análisis de varianza y las pruebas de significancia mediante el test de Duncan de rangos múltiples.

Para efectos del análisis estadístico se analizó la información obtenida para tres experimentos separados (uno por cada suelo), por lo cual cada uno se comporta como un diseño unifactorial independiente.

---

\*En cuanto a las determinaciones de este parámetro se hacen algunas consideraciones especiales en el capítulo 3.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LOS SUELOS

**3.1.1 Propiedades químicas.** En la tabla 16 se presentan las propiedades químicas iniciales de los suelos. El suelo 1 (**Typic Pellustert**) de la Hacienda La Alcaldía, de acuerdo con los criterios para clasificación dados en la sección 1.2.1, es altamente salino sódico ( $CEe = 10,28 > 2 \text{ dS/m}$  y  $PSI = 37,69 > 7\%$ ), es de reacción muy fuertemente alcalina ( $pH = 9,1$ ) condición que esta asociada al alto contenido de sodio intercambiable ( $12,70 \text{ Cmol/kg}$ ). El catión dominante en la fase soluble es el  $Na^+$  con  $143 \text{ Cmol/L}$ .

En condiciones naturales el pH del suelo varía en un rango de 4 a 11, en función del tipo de iones que predominen en la solución del suelo. En regiones áridas y semiáridas, las sales presentes en el suelo no son eliminadas por el agua de percolación y quedan acumuladas en el suelo. Si las sales predominantes son de calcio, el pH alcanza valores hasta 8, y si son de sodio hasta 11. Por el contrario, en ambientes húmedos el pH no supera el valor de 7. El factor clave para establecer un nivel determinado de pH es la presencia o no de cationes, calcio y sodio para suelos alcalinos y ausencia de cationes o presencia de aluminio en los ácidos. El pH ejerce una notable influencia en aspectos de nutrición de las plantas ya que la capacidad de extraer determinados nutrientes del suelo queda limitada por aquél. Así los distintos elementos nutritivos para las plantas presentan unos valores óptimos de pH y en función de éste podrán ser absorbidos o no por el sistema radicular de la planta<sup>55</sup>.

El suelo 2 (**Udic Pellustert**) de la Hacienda La Cabaña, presenta características salino magnésicas ( $CEe = 2,97 > 2 \text{ dS m}^{-1}$  y  $PMgl = 40,84 > 40\%$ ), es de reacción ligeramente alcalina ( $pH = 7,50$ ). El catión dominante en la fase soluble es el  $Ca^{+2}$  con  $22,81 \text{ Cmo L}^{-1}$ .

El suelo 3 (**Udic Pellustert**) de la Hacienda La Cabaña, es de reacción alcalina ( $pH = 8,00$ ); ligeramente salino ( $CEe = 2,30 > 2 \text{ dS m}^{-1}$ ), con contenidos muy elevados de  $Na^+$  y  $Mg^{+2}$  intercambiables pero con valores de PSI y PMgl inferiores a los niveles críticos. El catión dominante en la fase soluble es el  $Na^+$  con  $17,98 \text{ Cmol L}^{-1}$ .

---

<sup>55</sup> [http://ecologia.unex.es/siamex/temasfisico/suelo/lossuelos\\_propiedades.htm](http://ecologia.unex.es/siamex/temasfisico/suelo/lossuelos_propiedades.htm), Consultado en Noviembre de 2005.

Tabla 16. Características químicas iniciales de los suelos usados en el experimento.

VARIABLE		UNIDAD	SUELO		
			1	2	3
pH		-	9,10	7,50	8,00
CEe		dS m <sup>-1</sup>	10,28	2,97	2,30
M.O.		%	2,31	3,98	2,96
P		ppm	224,80	29,90	59,5
S		ppm	793	624	353,6
SOLUBLES	Ca	Cmol L <sup>-1</sup>	8,75	22,81	15,63
	Mg		2,16	15,06	11,96
	K		0,09	0,34	0,69
	Na		143	13,63	17,98
Ras			61,23	3,13	4,84
INTERCAMBIABLES	Ca	Cmol kg <sup>-1</sup>	15,18	30,53	31,57
	Mg		3,60	20,87	20,10
	K		3,49	0,72	1,18
	Na		12,70	0,83	3,65
CIC			33,70	51,09	57,07
PSI		%	37,69	1,62	6,40
PMgl		%	10,68	40,84	35,21

Fuente: Laboratorio de suelos Corpoica, 2005.

Debido a la elevada CIC de este suelo, originada en el alto contenido de arcillas, el valor del PSI calculado es aparentemente inofensivo.

Tal como se observa en la figura 25, el estado vegetativo de las plantas obedece a la cantidad de Na<sup>+</sup> y Mg<sup>+2</sup> tóxico presente; igualmente las condiciones físicas del suelo indican carencia de drenaje lo que puede explicar las concentraciones de los iones Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y Na<sup>+</sup> tan elevadas en la fase soluble.

Figura 25. Condiciones de mal drenaje en suelo 3 (***Udic Pellustert***), Hacienda La Cabaña.

Al tomar la muestra del suelo, fue necesario usar botas pantaneras debido al encharcamiento que presentaba la zona afectada.



Fuente: El Autor, 2004.

**3.1.2 Propiedades físicas.** En la Tabla 17 se presentan la textura y la densidad real de los suelos usados para evaluar el efecto de la aplicación de vinazas.

Tabla 17. Textura y densidad real de tres suelos del Valle del Río Cauca usados en el experimento.

SUELO	TEXTURA %			CLASIFICACIÓN TEXTURAL	DENSIDAD REAL gr/c.c.
	A	L	Ar		
1	17,65	51,46	30,88	F.Ar.L	2,46
2	13,63	39,26	<b>47,11</b>	Ar	2,40
3	6,11	67,81	26,08	F.L	2,41

F.Ar.L = Franco arcillo limoso; Ar = Arcilloso; F.L = Franco limoso.

Fuente: Laboratorio de suelos Corpoica, 2005.

Debido al contenido de arcillas y al alto PSI, el suelo 1 presenta una baja permeabilidad ya que se encuentra completamente disperso y expandido por la acción del  $\text{Na}^+$ ; el nivel de salinidad presente no es suficiente para mantener el suelo floculado. De igual manera sucede con el suelo 2, haciendo la salvedad que



el ión causante de la dispersión es el  $Mg^{+2}$ . La impermeabilidad en este suelo es mayor ya que casi la mitad de su fase sólida está compuesta por arcillas (47,11%).

El suelo 3 es de textura franco limosa, tiene una mejor conductividad hidráulica que los otros dos suelos, ya que las saturaciones de  $Na^{+}$  y  $Mg^{+2}$  respecto a la CIC no son suficientemente altos como para dañar por completo la estructura del suelo por dispersión y expansión de las arcillas. La cantidad de arcillas presentan los valores más bajos en comparación con la textura de los suelos restantes.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS INICIALES DE LA VINAZA Y EL AGUA UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO.

A continuación se establecen las características medidas a la Vinaza y al agua usadas en el experimento.

Se puede observar que el contenido de  $K^{+}$  de la vinaza es apreciable, por lo que se espera que de lugar a un aumento del mismo en el suelo luego de su aplicación. También es importante resaltar sus concentraciones de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $SO_4^{-2}$ .

En cuanto a la dureza del agua, las 184 ppm la clasifican como semiblanda. Según las observaciones y recomendaciones hechas por el laboratorio de suelos de Corpoica, de acuerdo al contenido de bicarbonatos, presenta una restricción ligera para su uso.

Tabla 18. Propiedades de la vinaza concentrada usada en el experimento.

pH	CE	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub>
-	dS/m	ppm				
4,60	16,80	14.960	9604,5	6718,58	43.450	32.980

Fuente: Laboratorio I & D y Alcoquímica Sucromiles, 2005.

Tabla 19. Propiedades del agua usada en el experimento.

pH	CE	Ca	Mg	Na	K	RAS	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	B	Fe	Dureza
-	dS/m	me/L									mg/L		ppm de CaCO <sub>3</sub>
7,50	0,38	2,90	0,77	1,96	0,10	1,45	0,00	4,60	0,41	0,40	0,02	0,40	183,5

Fuente: Laboratorio suelos Corpoica, 2005.

### 3.3 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS

De acuerdo con lo discutido en la sección 1.6.4, los efectos previsibles de la aplicación de vinaza a un suelo son de varios tipos:

- La elevada concentración electrolítica de la vinaza favorece el proceso de floculación o agregación de las partículas de suelo, promoviendo la formación de poros y facilitando el transporte de agua y la aireación. Al reemplazar al  $\text{Na}^+$  y/o  $\text{Mg}^{+2}$  por el  $\text{Ca}^{+2}$ , el espesor de la doble capa difusa se disminuye con lo cual se reducen la dispersión y expansión del suelo.
- Debido al carácter ácido de la vinaza, los carbonatos que puedan estar presentes en el suelo reaccionarán liberando el  $\text{Ca}^{+2}$ , dejándolo disponible al lado del aportado por la propia vinaza para el proceso de intercambio catiónico y consiguiente desplazamiento del  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}$ . Adicionalmente, se produce una moderación del pH en suelos alcalinos y la liberación de fosfatos y elementos menores que estaban haciendo parte de diversos precipitados.
- Debido a la concentración elevada de materiales orgánicos de alta solubilidad, se favorece la actividad microbiana la cual aumenta rápidamente después de la aplicación, promoviendo la agregación y cementación de partículas, con un efecto secundario importante por el aporte de  $\text{CO}_2$  al medio lo cual contribuye a su acidificación.

De acuerdo con González y García<sup>56</sup> En los suelos del Valle del Río Cauca, debido a la presencia de altas concentraciones de bicarbonatos de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en las aguas para riego, las cuales al circular a través del suelo y sujetas al fenómeno de evapotranspiración alcanzan una concentración que supera el producto de solubilidad, tienen lugar a la precipitación y la consecuente cristalización. Estos fenómenos hacen que, teniendo en cuenta el valor del producto de solubilidad de las diferentes sales que se pueden formar en los suelos, el primer producto de formación sea el  $\text{CaCO}_3$  o calcita, el cual, en efecto, se ha encontrado como producto dominante de acuerdo con los análisis químicos y como resultado de los equilibrios teóricos en el sistema  $\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ . En todos los suelos estudiados el uso de aguas duras con alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  condiciona los procesos de solubilización y la concentración de sales y, por tanto, los productos de formación a producirse.

---

<sup>56</sup> GONZALEZ, A.; PLA, S. I. and GARCÍA O, A. Effect of high bicarbonate waters on the physical conditions of some Colombian soils. En: Book of Abstracts Remade Lands 2000, International Conference on the remediation and management of Degraded Lands. Fremantle, Western Australia, 30 November-2 December, 2000. pp. 146-147.

Según los mismos autores, los procesos de humedecimiento y secado, la evapotranspiración y la absorción de agua por las plantas causan concentración de la solución del suelo y precipitación de sólidos de acuerdo con su producto de solubilidad. Así, es de esperarse que los carbonatos de calcio y magnesio con muy baja solubilidad en agua, sean en su orden los primeros en formarse. El sulfato de magnesio debido a su alta solubilidad permanece en solución y determina el comportamiento químico de las sales en el perfil del suelo.

En los suelos estudiados, el movimiento vertical descendente de carbonatos es el resultado de la progresiva infiltración de agua de precipitación atmosférica y/o de aguas para riego que paulatinamente han translocado como tales, o disueltos carbonatos en los horizontes superiores de los suelos, y los han depositado en los horizontes más profundos, donde se produce su acumulación y precipitación.

La presencia de  $\text{CO}_2$  en el agua permite la formación de grupos  $\text{HCO}_3^-$  y posterior formación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual es causante de los procesos de disolución mencionados. El clima constituye un factor esencial en la translocación de carbonatos en el suelo; así en clima húmedo, el proceso representativo es el lavado de carbonatos y es inusual que se presente su acumulación, mientras que en clima semiárido la lluvia es generalmente insuficiente para eliminar los carbonatos del perfil y se favorecen los procesos de concentración y precipitación dentro del perfil del suelo en forma de concreciones de tamaño diverso. Sin embargo, en ciertas ocasiones, dado que en este proceso están involucrados parámetros edáficos (tales como la permeabilidad de los horizontes) el papel del clima puede no resultar evidente, como cuando existen impedimentos de tipo físico que limitan los posibles movimientos de los carbonatos y determinan por tanto la presencia de horizontes o profundidades en las cuales no hay ocurrencia de carbonatos.

Una vez han actuado estos procesos, las propiedades químicas, físicas y biológicas han sido alteradas y su recuperación implica un camino en sentido contrario que puede ser puesto en marcha por los efectos de la vinaza.

**3.3.1 Efectos sobre el suelo.** En las tablas 20 y 21 se encuentran los resultados de los análisis químicos de los suelos después del tratamiento con vinazas. En el anexo G se encuentran análisis de laboratorio características químicas finales de los suelos y en el anexo H los resultados de las pruebas estadísticas.

El suelo 1 (***Typic Pellustert***), respecto al  $\text{Na}^+$  intercambiable y al PSI presentaron diferencias significativas entre el testigo y las dosis de aplicación de vinaza, con un claro descenso en su concentración a medida que aumentó la cantidad aplicada. Al considerar un valor de PSI de 7% como nivel crítico de saturación, una dosis de  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$  es suficiente para producir un cambio favorable en suelos de este tipo (salino-sódicos), ya que las dosis de 200, 300 y  $400 \text{ m}^3/\text{ha}$  no tuvieron

diferencias significativas entre si. Sin embargo, se podría pensar en una dosis ligeramente superior a 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza como un nivel de seguridad para evitar problemas de toxicidad directa del catión sobre las plantas.

Tabla 20. Composición de la fase intercambiable de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca tratados con varias dosis de vinaza.

SUELO	DOSIS V60	Ca	Mg	K	Na	PSI	PMgl	CIC
	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Cmol(+) kg <sup>-1</sup>				%		Cmol(+) kg <sup>-1</sup>
1	0	13,675 a	5,135 a	3,650 a	15,617 a	44,625 a	14,484 a	35,463 a
	100	17,470 a	10,388 b	4,558 ab	10,797 b	37,397 b	35,744 b	28,943 b
	200	17,068 a	9,438 b	6,648 b	1,2975 c	4,175 c	31, 176 bc	30,300 ab
	300	17,173 a	8,343 ab	9,578 c	0,512 c	1,775 c	28,879 bc	28,945 b
	400	16,398 a	7,405 ab	10,363 c	0,480 c	1,713 c	26,363 c	28,128 b
2	0	31,248 a	20,425 a	0,757 a	1,072 a	2,022 a	38,554 a	53,128 a
	100	32,525 ab	21,863 a	1,485 a	1,377 a	1,750 a	36,192 a	61,813 a
	200	37,409 c	22,083 a	0,740 a	2,436 a	3,033 a	35,445 a	62,863 a
	300	35,018 d	20,325 a	2,412 a	1,257 a	2,207 a	34,085 a	57,610 a
	400	34,370 bd	19,848 a	4,1575 b	1,330 a	2,250 a	34,083 a	58,020 a
3	0	33,423 a	22,658 a	1.142 a	2,010 a	2,530 a	42,929 a	53,400 a
	100	31,238 a	20,635 ab	1,930 a	0,982 a	1,710 a	36,097 b	57,203 ab
	200	31,568 a	20,550 ab	3,627 b	1,040 a	1.672 a	34,082 b	60,330 ab
	300	32,350 a	20,665 ab	3,727 b	1,110 a	1,777 a	32,911 bc	62,910 b
	400	30,,505 a	17,700 b	5,650 c	1,137 a	1,360 a	27,971 c	63,045 b

Promedios marcados con la misma letra en sentido vertical y dentro de cada tipo de suelo, no presentan diferencias significativas con un nivel de confiabilidad del 95%.

Fuente: Laboratorio de Suelos Corpoica y de Biometría Universidad Nacional Palmira, 2005.

Las figuras 26 y 27 muestran los cambios en el Porcentaje de Sodio Intercambiable y en la concentración de Na<sup>+</sup> intercambiable de los tres suelos por

efecto de la adición de vinaza 60. En el suelo 2 (***Udic Pellustert***), la concentración de  $\text{Na}^+$  intercambiable no presentó diferencias significativas entre tratamientos, por tal motivo el valor de PSI tampoco. Es de anotar, que en éste suelo así como en el 3 (***Udic Pellustert***) los valores iniciales de  $\text{Na}^+$  intercambiable respecto de la CIC son inferiores a los valores críticos.

Tabla 21. Composición de la fase soluble de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca tratados con varias dosis de vinaza.

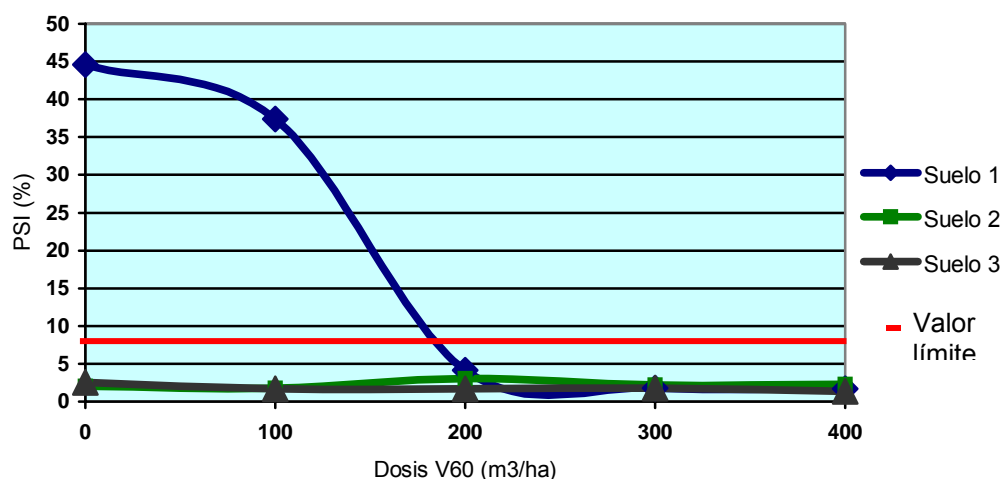
SUELO	DOSIS V60	Ca	Mg	K	Na	RAS	CEe	pH
	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Cmol(+) L					%	-
1	0	5,000 a	1,710 a	1,510 a	68,13 a	36,808 a	5,685 a	9,30 a
	100	8,360 a	4,740 a	1,740 a	38,42 b	16,190 b	3,995 ab	8,70 b
	200	17,188 b	11,495 b	7,240 b	11,04 c	2,910 c	3,122 b	7,92 c
	300	17,500 bc	11,960 b	13,080 c	5,04 c	1,290 c	3,287 b	7,80 c
	400	22,658 c	13,910 b	21,280 d	4,02 c	0,958 c	4,130 ab	7,82 c
2	0	11,250 a	7,410 a	0,392 a	7,355 a	2,375 a	1,672 a	7,800 a
	100	16,540 a	14,380 a	0,953 ab	7,630 a	1,903 a	2,496 a	7,425 b
	200	31,250 b	26,867 b	0,650 ab	15,530 b	2,896 a	3,943 b	7,575 ab
	300	41,950 c	34,320 bc	2,60 bc	16,348 b	2,635 a	4,357 bc	7,400 b
	400	43,588 c	40,950 c	4,360 c	19,480 b	2,957 a	5,102 c	7,375 b
3	0	12,187 a	6,933 a	0,706 a	7,357 a	2,383 a	1,186 a	7,925 a
	100	19,455 b	17,420 b	1,752 a	9,260 a	2,137 a	2,332 b	7,350 b
	200	18,515 b	17,030 b	1,600 a	9,468 a	2,125 a	2,487 b	7,450 b
	300	22,733 b	19,240 b	1,960 a	9,465 a	2,045 a	2,775 b	7,550 ab
	400	18,330 b	14,733 b	4,160 b	4,997 a	1,190 a	2,493 b	7,475 b

Promedios marcados con la misma letra en sentido vertical y dentro de cada tipo de suelo, no presentan diferencias significativas con un nivel de confiabilidad del 95%.

Fuente: Laboratorio de suelos Corpoica y de Biometría Universidad Nacional Palmira, 2005.

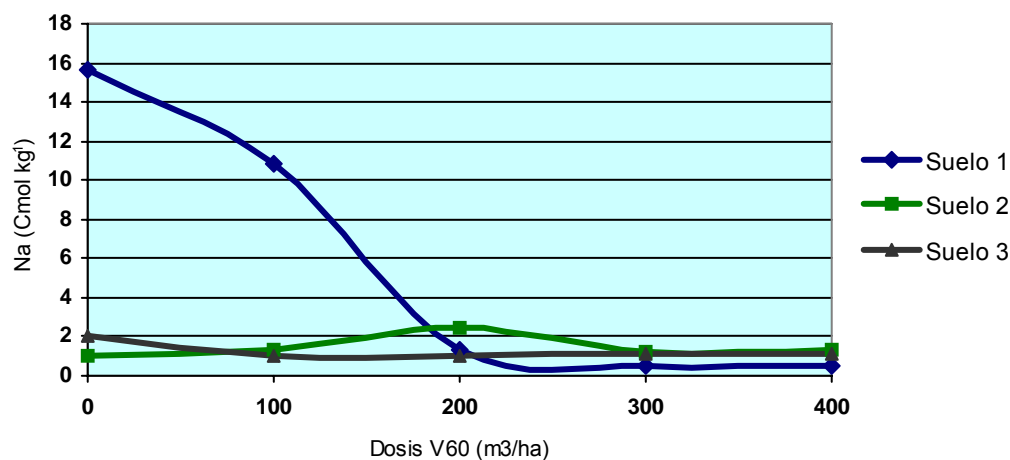
En el suelo 3, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en la concentración del  $\text{Na}^+$ , sin embargo, con la aplicación de 100  $\text{m}^3/\text{ha}$  o más de vinaza 60 se produjo una disminución en la concentración de este elemento en la fase intercambiable de aproximadamente el 50% de su valor inicial. La saturación de  $\text{Na}^+$  tampoco presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 26. Porcentaje de sodio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca luego de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 27. Sodio intercambiable luego en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.

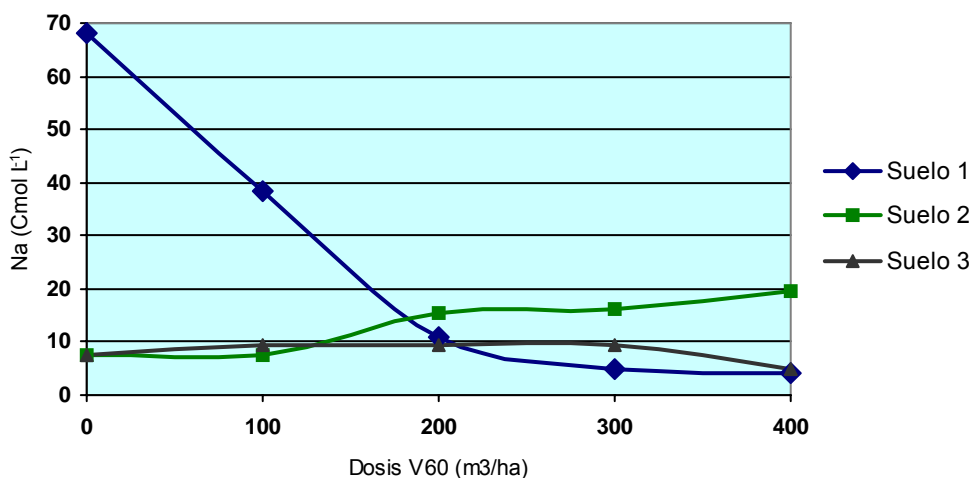


Fuente: El Autor, 2005.

El  $\text{Na}^+$  soluble en el suelo 1 disminuyó marcadamente, y en forma significativa, con el aumento en la cantidad de vinaza 60 adicionada. La aplicación de 100  $\text{m}^3/\text{ha}$  da lugar a su reducción en forma significativa y se puede considerar que la aplicación de más de 200  $\text{m}^3/\text{ha}$  prácticamente elimina el  $\text{Na}^+$  del suelo. Las aplicaciones de 200, 300 y 400  $\text{m}^3/\text{ha}$  no se diferenciaron significativamente entre ellas. La RAS siguió un patrón similar al descrito para el  $\text{Na}^+$  soluble como se aprecia en las figuras 28 y 29.

En el suelo 2, el  $\text{Na}^+$  soluble aumentó significativamente al aumentar la cantidad de vinaza aplicada; por el contrario, la RAS no presentó cambios significativos. Este suelo se caracteriza por la elevada saturación de  $\text{Mg}^{+2}$  respecto a la CIC y por un contenido muy elevado de arcillas, que hacen que las reacciones de intercambio iónico que en él se suceden estén dominadas por la actividad de dicho ión.

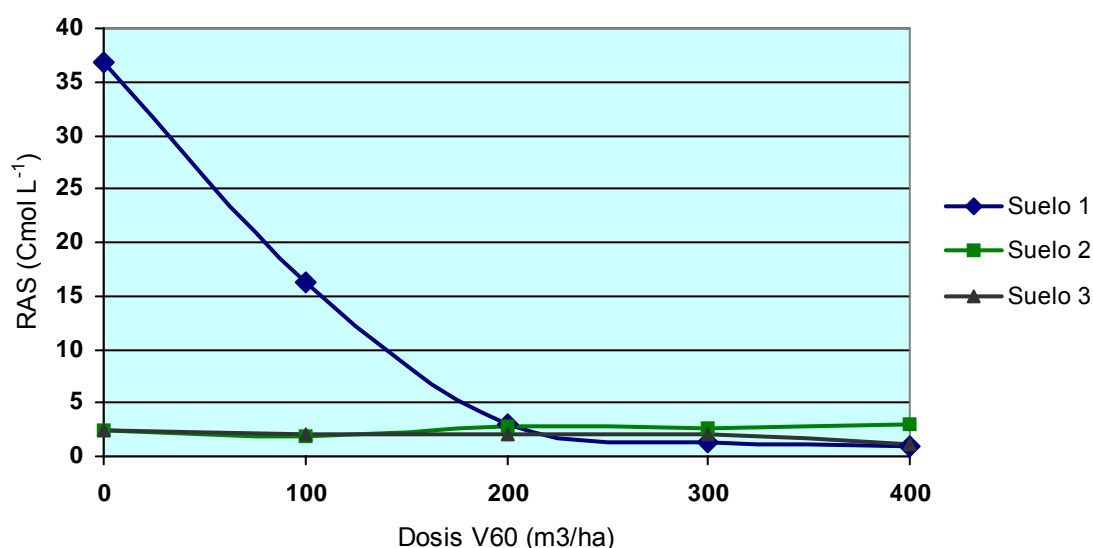
Figura 28. Sodio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

En el suelo 3 el  $\text{Na}^+$  soluble no tuvo cambios significativos como consecuencia de la aplicación de la vinaza 60, tampoco se observó una tendencia general. Aunque para la RAS no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, sí se observa una ligera tendencia a la disminución a medida que aumentaba la cantidad de vinaza 60 adicionada.

Figura 29. Relación de adsorción de sodio en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

La conductividad eléctrica en el suelo 1, decreció en forma exponencial con el aumento en la cantidad de vinaza aplicada hasta un máximo de 200 m³/ha, luego de la cual aumentó, debido posiblemente, a que la cantidad de vinaza aplicada y su concentración en una cantidad baja de agua dieron lugar a una colmatación en el suelo por acción electrolítica y cementante de la vinaza; esto originó el menor lavado al emplear estas dosis. De cualquier forma, los valores obtenidos son menores (hasta en un 70%) que el valor original, presentando diferencias significativas entre el testigo y dosis superiores a 200 m³/ha.

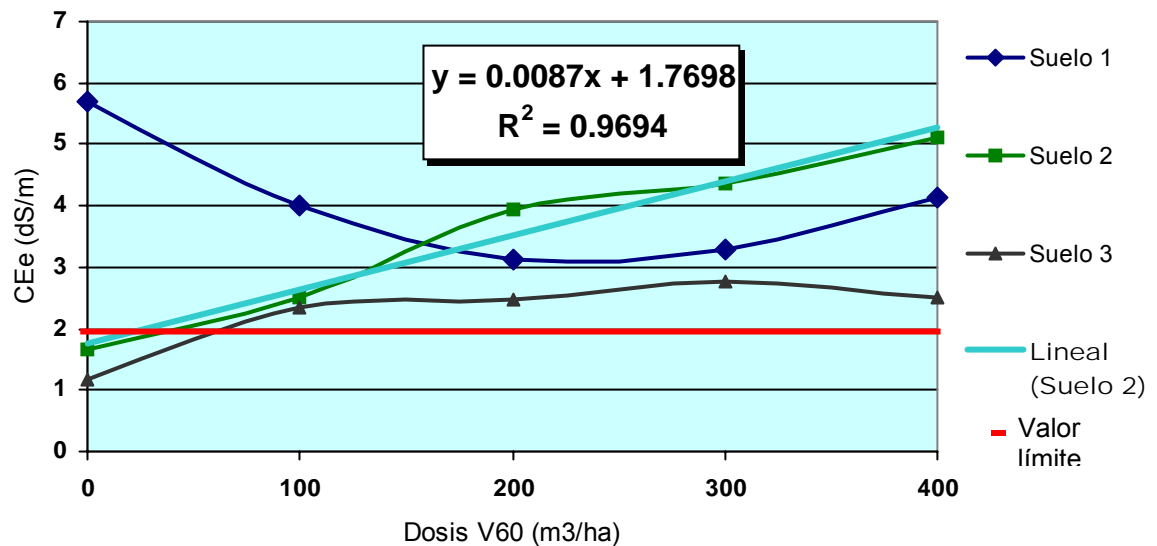
En el suelo 2, la conductividad eléctrica aumentó significativamente con la dosis de aplicación de vinaza 60, siendo más alta a mayor aplicación. Esto debido a que la solubilización de productos de formación y/o precipitados presentes en el suelo y a los agentes cementantes aportados por la misma vinaza, produjeron el mismo efecto de colmatación que en el suelo anterior. Los posibles lixiviados permanecieron en las columnas, dejando así la gran mayoría de estos materiales presentes en la fase soluble del suelo. Este fenómeno se corrobora con la tendencia lineal que presenta el aumento en la CE a medida que aumentó la concentración de la dosis aplicada. ...Ver figura 30...

El suelo 3 presentó similar comportamiento para la conductividad eléctrica pero con niveles inferiores a los del suelo 2, ya que en el primero, la vinaza en sus diferentes dosis, lixivió a través del suelo empacado en la columna y se obtuvo un mejor lavado. Sin embargo, sólo hubo diferencias significativas entre tratamientos



y testigo pero no entre tratamientos propiamente. En la figura 30 se pueden apreciar estos efectos.

Figura 30. Conductividad eléctrica en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.

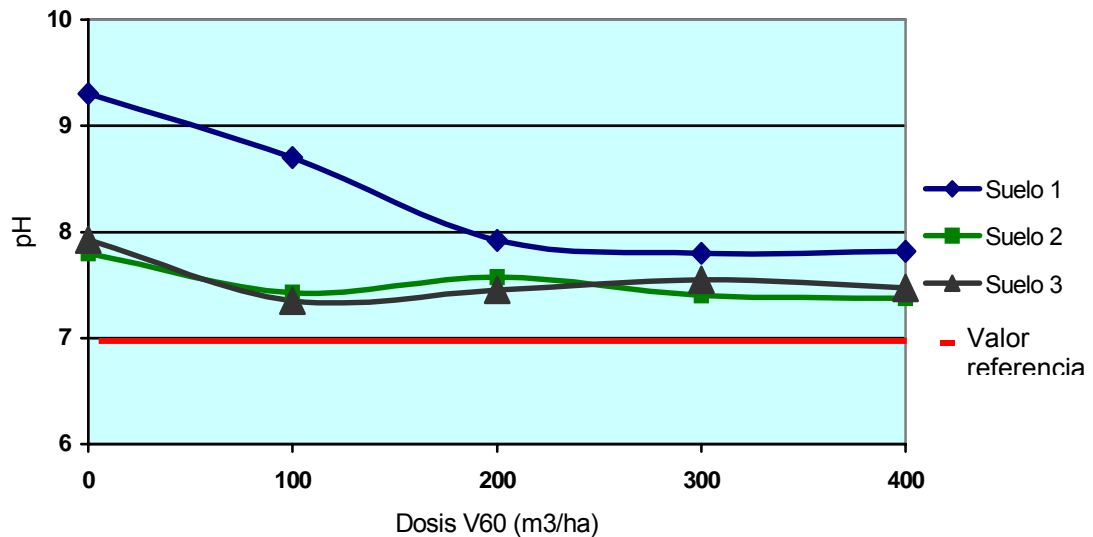


Fuente: El Autor, 2005.

Se esperaba que la aplicación de vinaza causara cambios en el pH de los suelos debido a la disolución y dilución de materiales, debido a su carácter ácido. En el suelo 1 el pH disminuyó en forma significativa al aumentar la cantidad de vinaza 60 aplicada, pero sin que se presentaran diferencias significativas con cantidades superiores a 200 m³/ha. El valor inicial pasó de una condición alcalina a moderadamente alcalina luego de la aplicación de esta dosis. ...Ver figura 31...

En los suelos 2 y 3 existieron cambios significativos entre testigo y tratamientos, presentándose una disminución en los valores a medida que aumentaba la dosis aplicada.

Figura 31. Reacción de tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

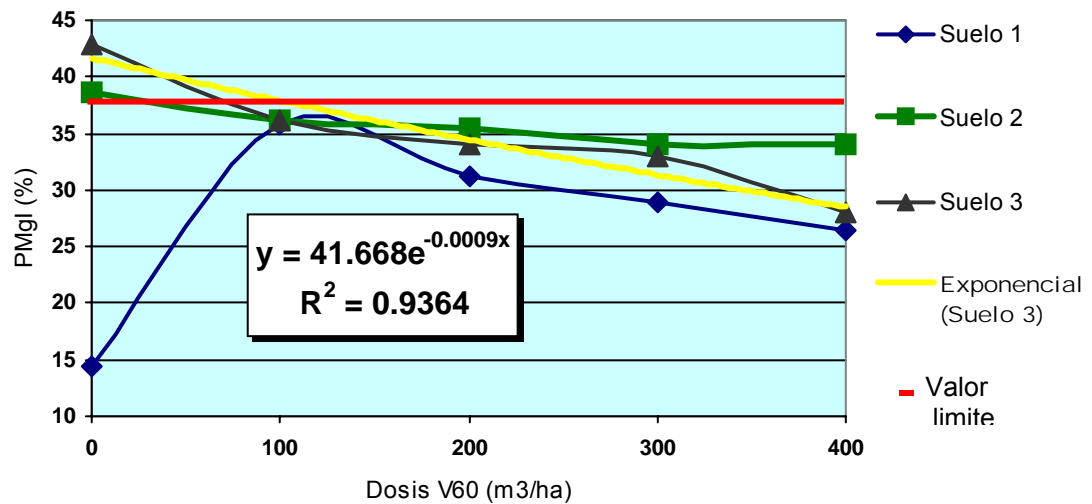
La concentración de  $Mg^{+2}$  intercambiable y su saturación respecto a la CIC, mostraron un aumento que alcanza un máximo para la dosis de 100 m³/ha, luego de la cual hay descensos pero con valores siempre superiores al testigo; lo que se puede deber a disolución de carbonatos de magnesio por acción de la vinaza.

En el suelo 2, que presenta concentraciones iniciales muy elevadas de  $Mg^{+2}$  y altos contenidos de arcillas, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los valores de  $Mg^{+2}$  intercambiable y PMgl; lo que indica que en suelos de esta naturaleza (salino-magnésicos de textura arcillosa) la vinaza no ejerció una acción recuperadora.

En el suelo 3, caracterizado por su alcalinidad, se presentaron diferencias significativas en el  $Mg^{+2}$  intercambiable entre el testigo y la aplicación de 400 m³/ha de vinaza y se observó una tendencia a la disminución en los valores de PMgl a medida que aumentaba la dosis aplicada. Se encontraron diferencias entre el testigo y las dosis superiores a 100 m³/ha, pero la aplicación de 300 m³/ha también se diferenció de la aplicación con 100 y 200 m³/ha. ...Ver figuras 32 y 33...

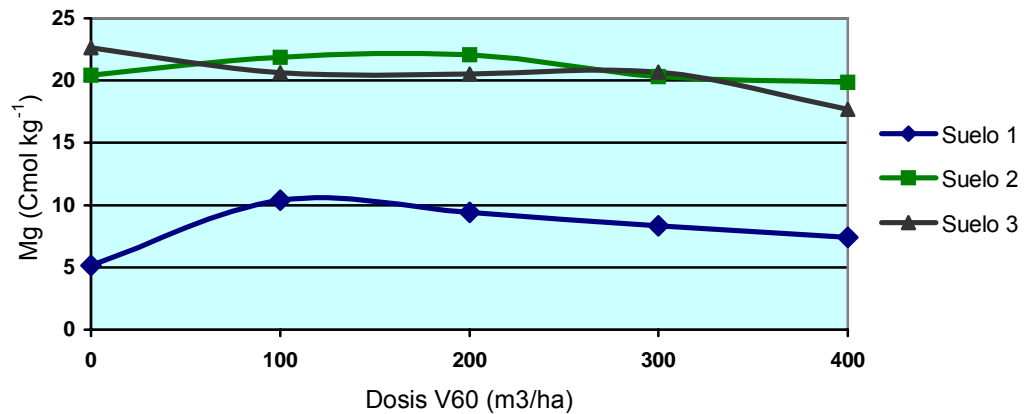
El aumento del  $Mg^{+2}$  soluble en el suelo 1, en forma similar a lo sucedido en la fase intercambiable, se pudo deber a disolución de carbonatos de magnesio por acción de la vinaza y a los aportes propios de dicha enmienda. ...ver figura 34...

Figura 32. Porcentaje de magnesio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

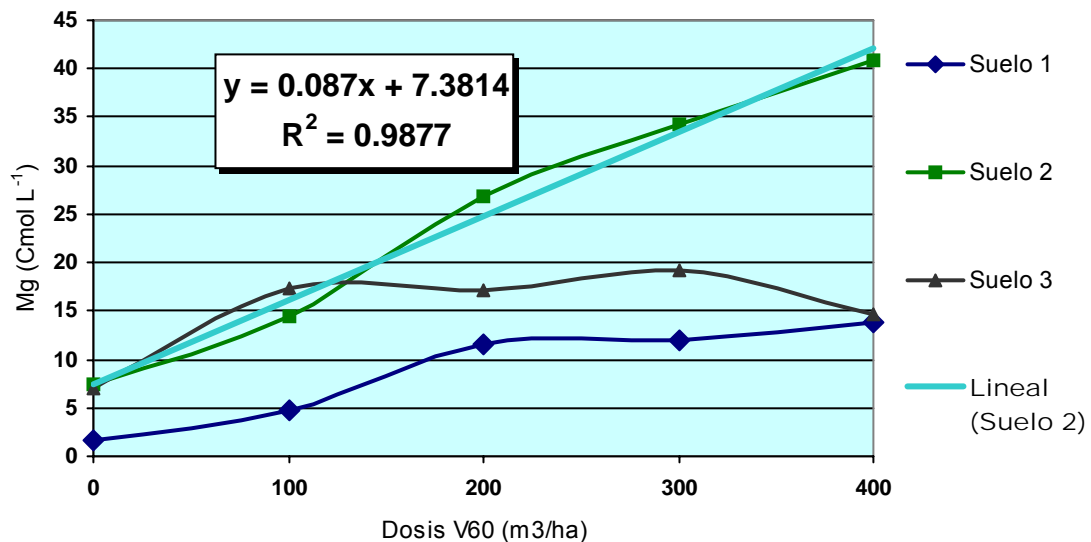
Figura 33. Efecto de la aplicación de vinaza concentrada sobre el Magnesio intercambiable de tres suelos salinos del Valle del Río Cauca.



Fuente: El Autor, 2005.

En el suelo 2 el  $Mg^{+2}$  de la fase soluble aumentó significativamente junto con la concentración de la dosis aplicada, lo que agravó más el estado del suelo. La situación es análoga a la que se presentó con la conductividad eléctrica, es decir, el  $Mg^{+2}$  soluble no salió de las columnas y su concentración aumento linealmente conforme lo hizo la cantidad de vinaza aplicada.

Figura 34. Magnesio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

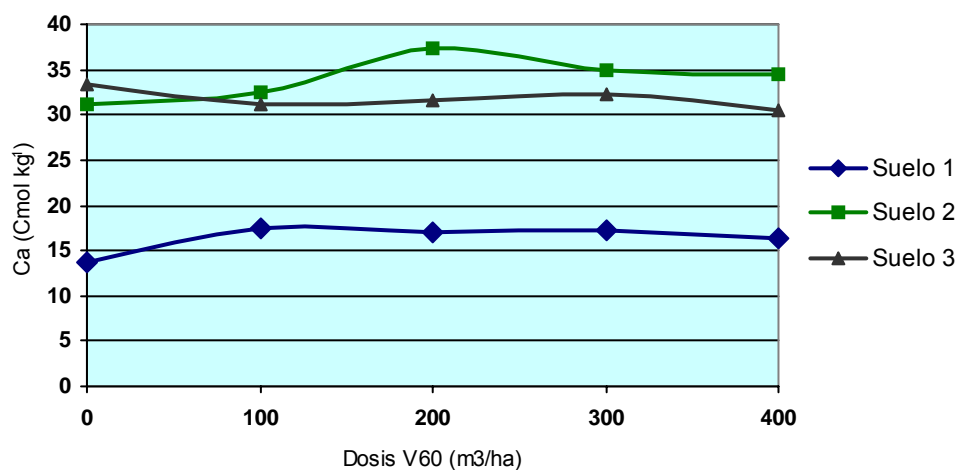
En el suelo 3 el  $Mg^{+2}$  soluble se diferenció significativamente entre el testigo y los tratamientos pero no entre tratamientos propiamente. Tampoco presentó una tendencia definida.

Las concentraciones de  $Ca^{+2}$  intercambiable no presentaron diferencias significativas en los suelos 1 y 3, a diferencia del suelo 2, en donde sí las hubo. En este suelo el valor máximo correspondió a la dosis de 200 m³/ha. A pesar de haberse presentado un aumento en las concentraciones, éste no obedeció a una tendencia definida.

El  $Ca^{+2}$  en el suelo 1 aumentó a medida que se incrementó la dosis de vinaza 60, presentando diferencias significativas entre las aplicaciones superiores a 200 m³/ha con el testigo y el tratamiento con 100 m³/ha. Esto es consecuencia de la cantidad de  $Ca^{+2}$  aportado por la vinaza y de las posibles disoluciones del  $Ca^{+2}$  presente en el suelo. ...Ver figura 35...

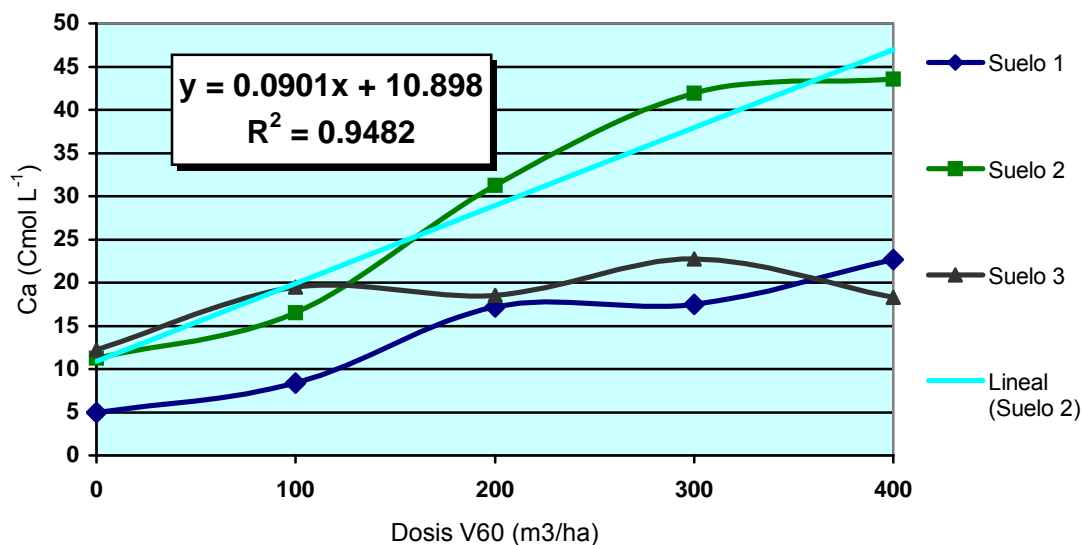
En el suelo 2 la concentración de este catión en su fase soluble aumentó significativamente junto con la dosis aplicada, efecto que se puede atribuir en parte al contenido de  $Ca^{+2}$  de la vinaza pero también a la disolución de este catión presente en el suelo. También se puede observar que el incremento es superior que el de los otros suelos, debido al efecto de taponamiento ya mencionado. ...Ver figura 36...

Figura 35. Calcio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 36. Calcio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



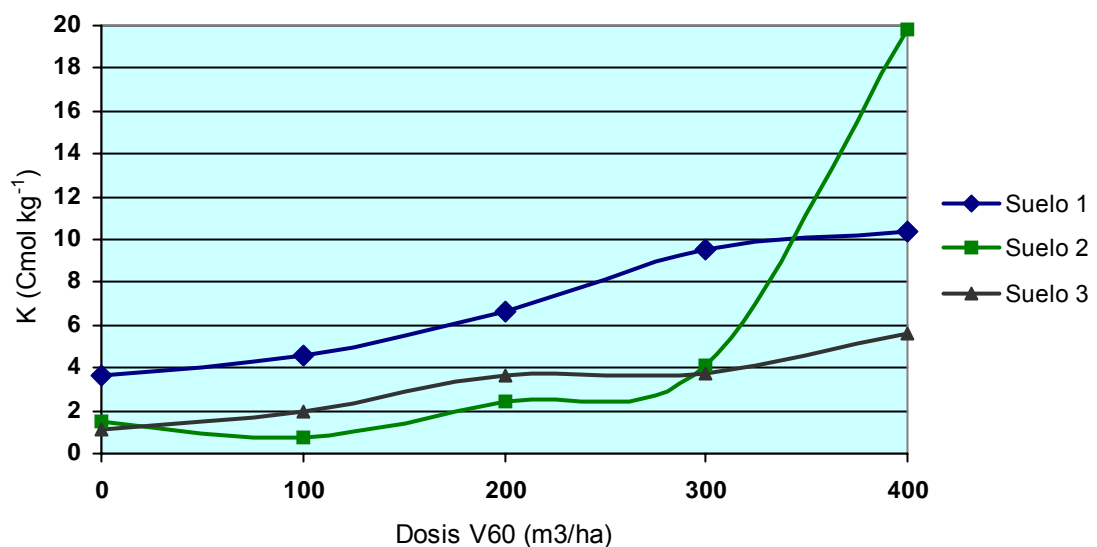
Fuente: El Autor, 2005.

En el suelo 3 todos los tratamientos dieron lugar al aumento en la concentración del  $\text{Ca}^{+2}$  soluble con diferencias significativas entre testigo y tratamientos pero no

entre tratamientos propiamente, como en los casos anteriores. Tampoco su comportamiento obedeció a una tendencia bien definida.

En el caso del  $K^+$ , en el suelo 1, se encontraron diferencias significativas entre el testigo y las aplicaciones superiores a 200 m<sup>3</sup>/ha. Este suelo presentó originalmente una concentración elevada de  $K^+$  (3,65 Cmol(+) kg<sup>-1</sup>) y alcanzó valores de 10,36 Cmol(+) kg<sup>-1</sup> cuando se aplicaron 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza 60, condición que puede no resultar conveniente para las plantas desde el punto de vista físico y químico, ya que el  $K^+$  en algunos suelos puede actuar en forma similar al  $Na^+$ , ocasionando desbalances nutricionales o toxicidades a la planta así como también la dispersión del suelo.<sup>57</sup> En este caso es conveniente realizar más lavados. ...Ver figura 37...

Figura 37. Potasio intercambiable en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

En el suelo 2, se produjo un aumento significativo del  $K^+$  intercambiable cuando se aplicaron 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza. Este fenómeno, un poco extraño, se puede explicar teniendo en cuenta la concentración de arcillas y la carencia de porosidad de este suelo, con lo cual, la gran cantidad de  $K^+$  aportado por esta dosis de vinaza permaneció en el suelo, y dada su elevada CIC, pudo aceptar una mayor cantidad de estos iones. Los valores para las dosis de 100 y 300 m<sup>3</sup>/ha no son tan

<sup>57</sup> GARCÍA O., A. y CASTILLO, L.E., Op. cit., p. 21-26.

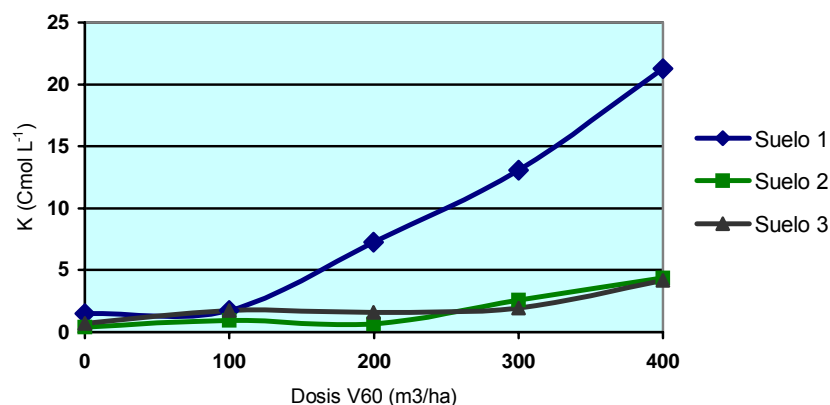
altos debido a la menor cantidad aportada por las dosis de vinaza respecto de la de 400 m<sup>3</sup>/ha y a las mejores conductividades hidráulicas obtenidas. Si bien es cierto que la conductividad hidráulica para la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha es la menor de todos los tratamientos, la cantidad de K<sup>+</sup> que esta dosis aporta es inferior a la que aporta la dosis de 400 m<sup>3</sup>/ha.

En el suelo 3, el K<sup>+</sup> intercambiable aumentó significativamente al aumentar las dosis de aplicación de vinaza, con diferencias marcadas entre el testigo y las dosis de 200, 300 y 400 m<sup>3</sup>/ha. Las concentraciones de este elemento son también elevadas aunque no tanto como en el suelo 1.

En el suelo 1 se presentó una mayor concentración final de K<sup>+</sup> soluble indicando una falta de lavado para remover este elemento fuera del perfil del suelo. Este suelo presentó la mayor cantidad de K<sup>+</sup> intercambiable inicial. Adicionalmente, la capacidad de fijación de K<sup>+</sup> que exhiben algunas arcillas expandibles comunes en el Valle del Río Cauca es bien conocida, las cuales, una vez se satisfizo su capacidad de fijación, permitieron el aumento de este elemento en forma intercambiable; sin embargo debido a la baja conductividad hidráulica, el exceso de K<sup>+</sup> aportado por la vinaza permanecieron en la fase soluble del suelo generando el aumento en la concentración.

En el suelo 2 se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, sus valores no fueron tan altos ya que la mayor parte del K<sup>+</sup> se encuentra en la fase intercambiable de este suelo. El suelo 3 también presenta una tendencia al aumento en la concentración de este catión a medida que aumenta la dosis aplicada, sin embargo sólo se presentaron diferencias significativas al llegar a la dosis de 400 m<sup>3</sup>/ha. ...Ver figura 38...

Figura 38. Potasio soluble en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

El testigo y la aplicación de 100 m<sup>3</sup>/ha de vinaza para la conductividad hidráulica en el suelo 1 se diferenciaron significativamente de las dosis superiores, entre las cuales tampoco se produjeron diferencias significativas. En el suelo 2, debido a su elevado nivel de arcillas y carencia de macro y mesoporos, no se produjeron cambios apreciables. En el suelo 3, con 26.08% de arcillas y 67.81% de limos, se observaron los valores más elevados de CH, con una ligera tendencia al aumento al incrementar la cantidad de vinaza de 0 a 100 m<sup>3</sup>/ha. ...Ver tabla 22 y figura 39...

La conductividad hidráulica final en todos los suelos fue muy baja debido probablemente a que la totalidad de las dosis fue puesta en el suelo en una sola aplicación y no fraccionada. Una alta concentración de vinaza en solución pudo dar como resultado la colmatación de poros en las columnas de suelo por varios efectos: a) Concentración de agentes cementantes y formación de una especie de gel de vinaza que impidió la circulación del agua hacia abajo, b) Efecto electrolítico demasiado fuerte que produjo empaquetamiento de partículas de modo que no hubo una permeabilidad remanente y c) actividad microbiana aeróbica elevada en principio pero que se detuvo al disminuir el oxígeno presente, pasando a condiciones de reducción.

Tabla 22. Conductividad hidráulica de los suelos tratados.

<b>CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA cm/día</b>			
<b>Dosis V60</b>	<b>SUELO</b>		
<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
0	0.0230 a	0.1150 a	0,2888 a
100	0.0093 a	0,1080 a	0,5508 a
200	0,4810 b	0,0180 a	0,5638 a
300	0,4368 b	0,0710 a	0,5328 a
400	0,4363 b	0,0430 a	0,6023 a

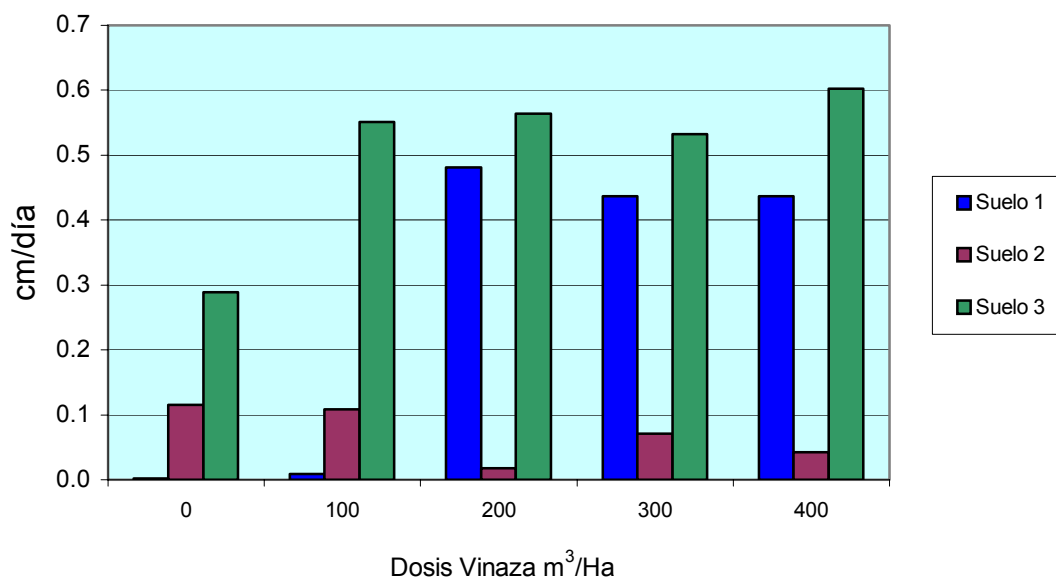
Promedios marcados con la misma letra en sentido vertical, no presentan diferencias significativas con un nivel de confiabilidad del 95%.

Fuente: El autor y Biometría Universidad Nacional Palmira, 2005.

Se obtuvieron conductividades hidráulicas iniciales apreciables para los suelos 1 y 3 en los primeros 25 a 30 días de tratamiento, luego de los cuales la conductividad hidráulica decayó notablemente. En las figuras 40, 41 y 42 se presenta la evolución de la Conductividad Hidráulica de los tres suelos en estudio respecto al tiempo transcurrido desde el inicio del tratamiento de aplicación de vinaza concentrada. Se observa en ellas, especialmente en los suelos 1 y 3, el efecto mencionado anteriormente.

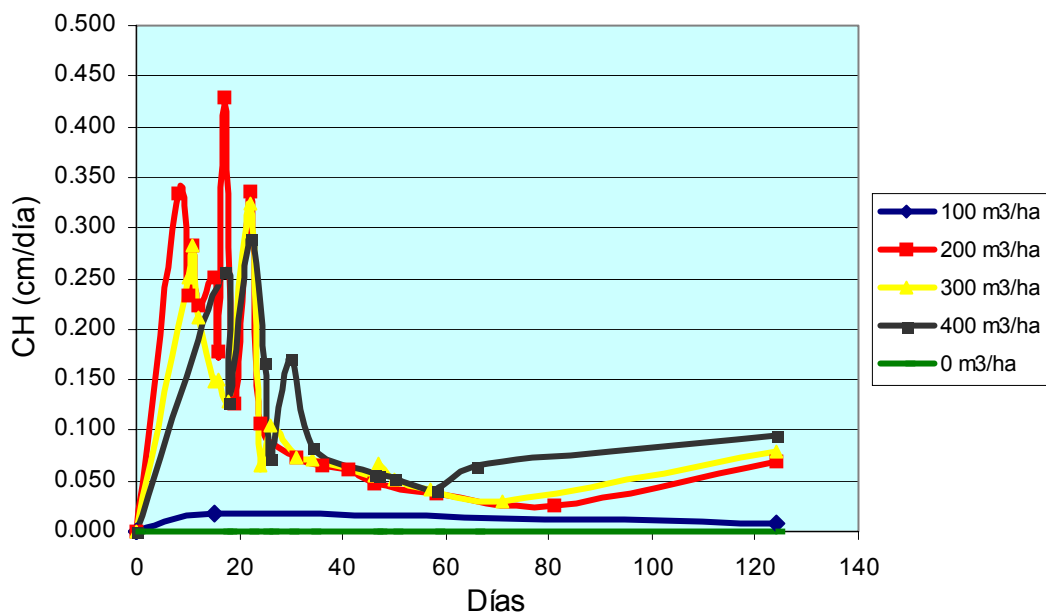


Figura 39. Conductividad hidráulica en tres suelos del Valle del Río Cauca después de la aplicación de varias dosis de vinaza concentrada.



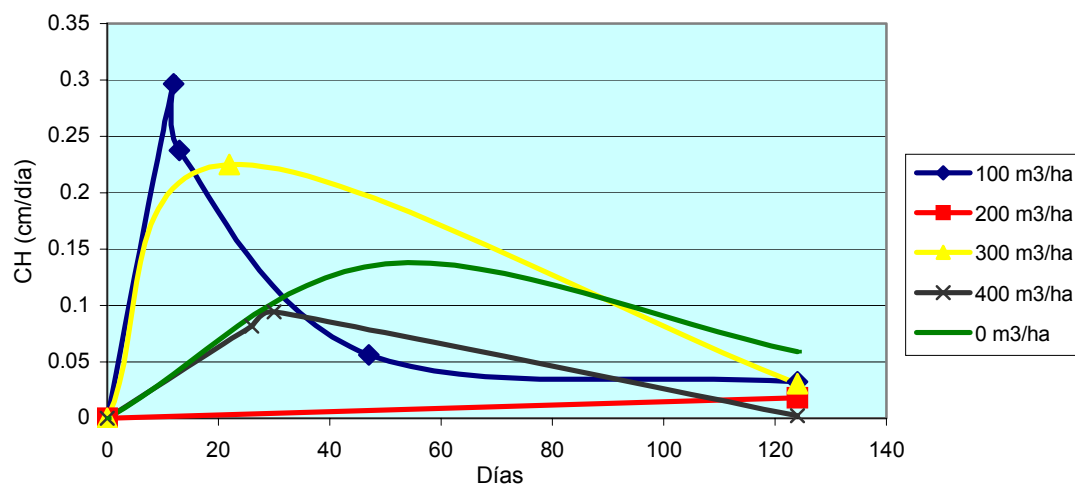
Fuente: El Autor, 2005.

Figura 40. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 1 (salino-sódico) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento.



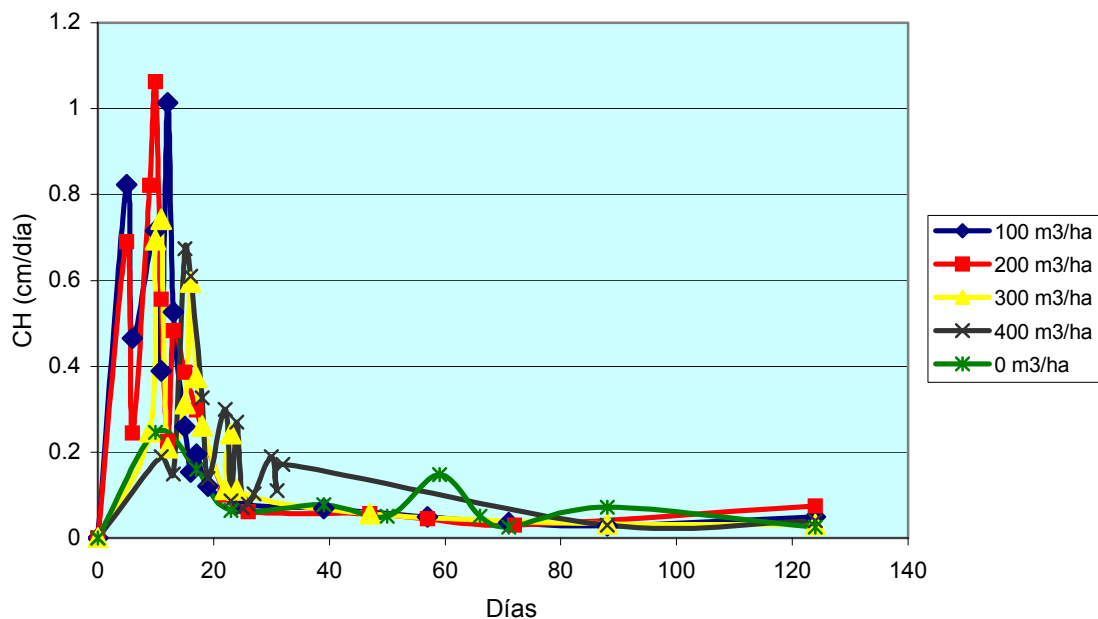
Fuente: El Autor, 2005.

Figura 41. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 2 (salino-magnésico) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 42. Comportamiento de la conductividad hidráulica en el suelo 3 (salino-alcálico) para los diferentes tratamientos a lo largo del experimento.

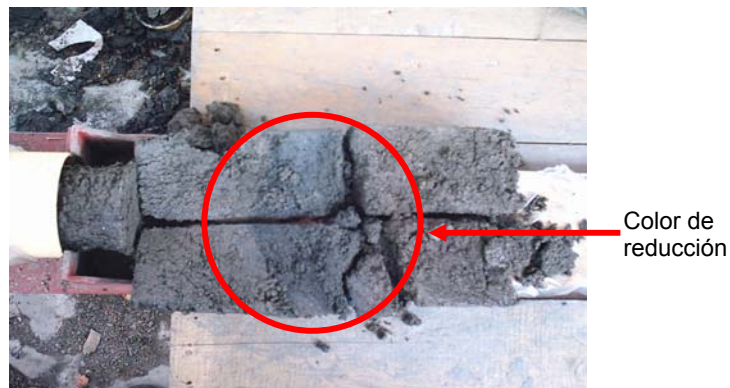


Fuente: El Autor, 2005.

De igual manera se observa que los mejores valores obtenidos para la conductividad hidráulica durante los primeros días, tanto para el suelo 1 como el 3, corresponden a la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha.

Debido a que en muchas columnas se produjo una condición anaeróbica se dio lugar a la descomposición en condiciones de reducción de la vinaza cuyos efectos pudieron incluir la desaparición de los microorganismos aeróbicos. La producción de gases y productos de fermentación de la materia orgánica de la vinaza colmataron el medio, dificultando el transporte del agua de lixiviación. En las figuras 43 a 46 se puede apreciar la coloración característica de la reducción del suelo con colores oscuros grisáceos, azulosos o verdosos<sup>58</sup>. La formación de productos de la fermentación y gases se evidenció por los olores producidos al destapar las columnas y en los lixiviados obtenidos con posterioridad a 25 días.

Figura 43. Colores de reacciones de reducción en suelo 1, aplicación de 100 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada.

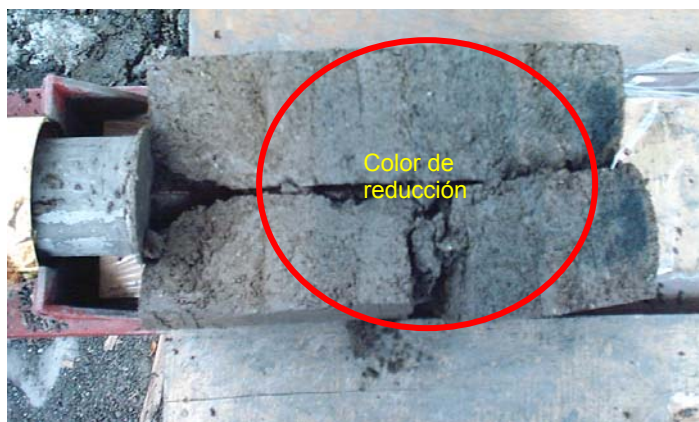


Fuente: El Autor, 2005.

---

<sup>58</sup> IGAC, subdirección agrológica. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: 1990. p.10.

Figura 44. Colores de reacciones de reduccion en suelo 1, aplicación de 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada.



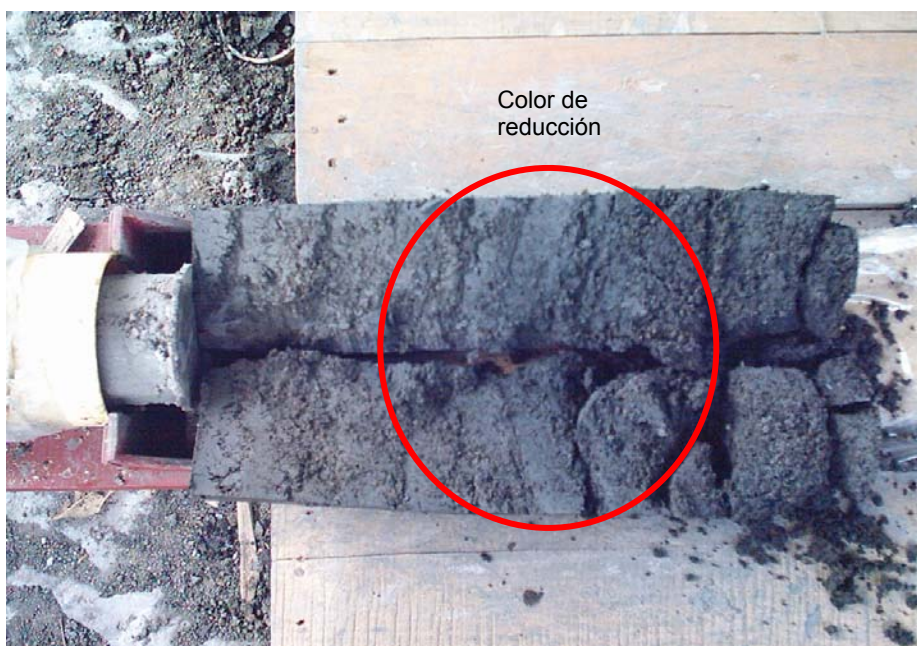
Fuente: El Autor, 2005.

Figura 45. Colores de reacciones de reduccion en suelo 2, aplicación de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 46. Colores de reacciones de reduccion en suelo 3, aplicación de 300 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada.



Fuente: El Autor, 2005.

La aplicación de vinaza concentrada tal como se planteó en la presente investigación, es decir, la dosis completa en una sola aplicación inicial y seguida inmediatamente de lavados no resulta adecuada porque se limita el intercambio de oxígeno y se favorece la ocurrencia de reacciones de reduccion en el suelo, las cuales promueven la producción de gases que interfieren en el transporte gravitacional del agua (actúan como tapones de los poros), al tiempo que pueden causar daño directo a la raíces de las plantas al afectar la respiración de las mismas lo cual se suma al efecto tóxico de los productos de fermentación (ácidos valérico, butírico, propiónico y alcoholes) que se generan bajo condiciones anaerobias.

Para complementar esta información se muestra, en los numerales siguientes, los resultados obtenidos al analizar los lixiviados.

**3.3.2 Efectos sobre las aguas percoladas.** A continuación se presentan los gráficos correspondientes a las variables medidas en las aguas percoladas o lixiviados para los tres suelos. En la tabla 23 se presentan los volúmenes obtenidos para los diferentes tratamientos y suelos. Es de anotar que en el suelo 1

para las dosis de 0 y 100 m<sup>3</sup>/ha, solo se obtuvo una muestra de lixiviados durante todo el experimento, por lo cual no aparecen gráficos para estas dosis.

Tabla 23. Volumen promedio de agua adicionada a las columnas y de lixiviados obtenidos en los tres suelos.

Dosis V60	SUELO					
	1		2		3	
	Volumen (ml)					
m3/ha	Agua Adicionada	Lixiviados	Agua Adicionada	Lixiviados	Agua Adicionada	Lixiviados
0	2934	25	5843,54	1273,75	9155,50	3192,50
100	5134,80	102,5	7184,21	1195	12550	6092,25
200	11340,90	5321,75	5804,31	201,25	12234	6236
300	10557,70	4830,50	6539,21	790	12583	5892
400	10309.60	4827.25	6325.28	474.25	13026	6661,50

Fuente: El Autor, 2005.

El volumen evaporado fue 2108 ml, el cual se midió a lo largo de todo el experimento. En los tres suelos la tendencia general del agua de lixiviación fue la misma, iniciando con un volumen abundante el cual fue disminuyendo paulatinamente hasta estabilizarse y/o detenerse por completo.

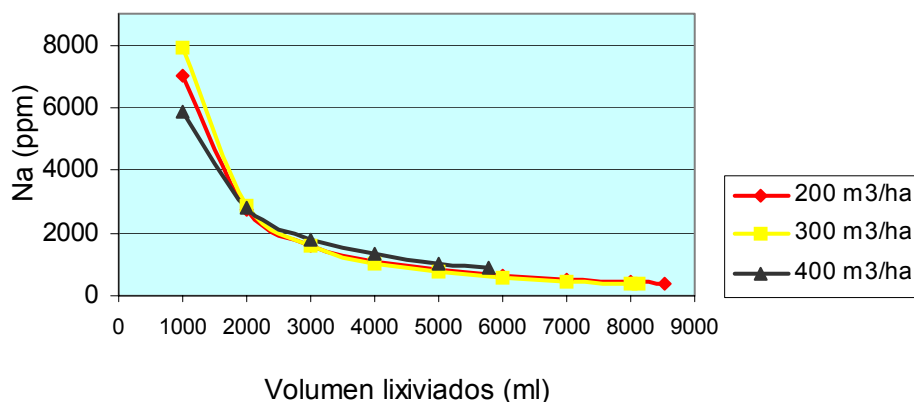
Esto, como ya se discutió, obedeció a la colmatación producida por la vinaza en los suelos, lo que origina una condición anaeróbica y la producción de gases y productos de fermentación que obstaculizaron el movimiento del agua.

Es importante destacar que en el suelo 1, como consecuencia de lo anterior, los mayores volúmenes de lixiviados correspondieron a la aplicación de menores volúmenes de vinaza lo que comprueba el efecto anotado. En el suelo 2, también se obtuvo este comportamiento salvo en la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha. El suelo 3 no siguió este patrón, sin embargo, hay que destacar que debido a su textura franco limosa tiene unos tamaños de poros más grandes que los otros suelos, lo que le permite un mejor intercambio gaseoso.

En la figura 47 se presenta la tendencia general a disminuir en forma potencial de la concentración de Na<sup>+</sup> en los lixiviados del Suelo 1 independientemente de la cantidad de enmienda aplicada, y en la medida que el agua de drenaje lixiviaba. Los valores finales indican que el Na<sup>+</sup> ya no es un problema en el suelo por haber

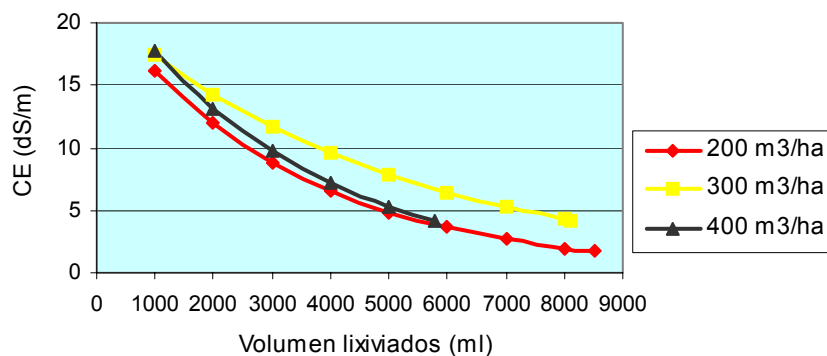
salido en el agua lixiviada. En el anexo I aparece la situación particular de cada uno de los suelos.

Figura 47. Comportamiento del  $\text{Na}^+$  en los lixiviados del suelo 1.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 48. Comportamiento de la CE en los lixiviados del suelo 1.



Fuente: El Autor, 2005.

En la figura 48 la conductividad eléctrica muestra una tendencia a la disminución continuada a medida que se producía algún grado de lavado en el suelo. Estos resultados indican que se estaba lavando las sales antes de la colmatación de las columnas.

Las variaciones en el pH de los lixiviados del suelo 1 muestran una tendencia que es independiente de las dosis de aplicación de la vinaza y que muestran una disminución inicial de 1 a 2 unidades, pero que posteriormente vuelve a aumentar



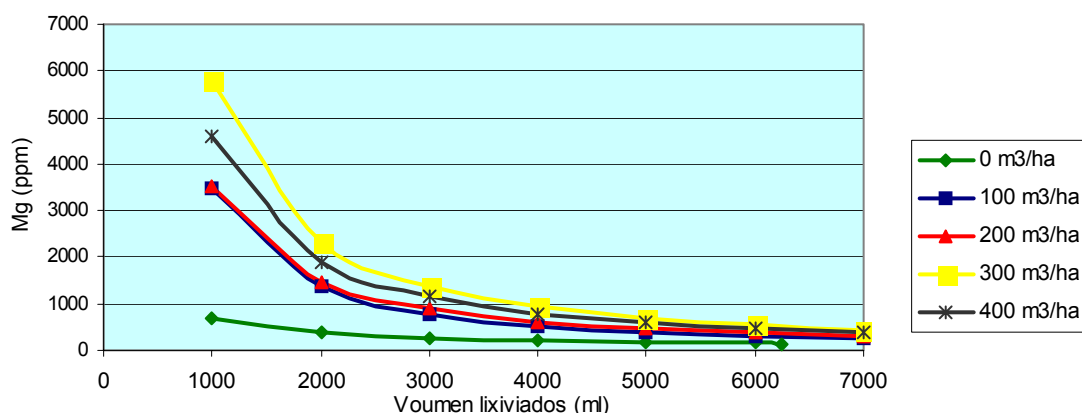
con valores superiores al inicial. Estos resultados indican que en los primeros días de tratamiento hubo procesos de disolución de sales de  $\text{Na}^+$ , pero que debido al proceso de colmatación ya mencionado, ese efecto no fue continuado, con lo cual el pH del agua de lavado empezó a dominar nuevamente.

El comportamiento del  $\text{Mg}^{+2}$  en los lixiviados del suelo 1 es muy variable, dentro de cada dosis y entre repeticiones, lo que sugiere que la vinaza pudo disolver algunos minerales en el suelo y liberar este ion. A pesar de todo, se observó una ligera tendencia del  $\text{Mg}^{+2}$  a disminuir en el lixiviado a medida que logró pasar una cantidad apreciable de agua a través de la columna.

La situación del suelo 2 es diferente debido a que no hubo percolación suficiente de aguas a través de las columnas. Como ya se mencionó antes, la formación de un sello superficial por efecto de la falta de dilución de la vinaza y la condición anaeróbica que se generó dieron lugar a la reducción del proceso de lavado y lixiviación de iones en los tres suelos, pero en forma crítica en éste, dada la carencia de poros de tamaño grande (meso y macroporos) por los que se pudiera mover el agua.

En el suelo 3, de carácter alcalino con bajo nivel de sodio intercambiable, las concentraciones de este elemento en los lixiviados tuvieron una tendencia similar a la encontrada para el suelo 1, pero con cantidades absolutas más bajas. En las figuras presentes en el anexo H se puede observar las tendencias particulares para cada dosis con sus respectivas repeticiones.

Figura 49. Comportamiento del  $\text{Mg}^{+2}$  en los lixiviados del suelo 3.



Fuente: El Autor, 2005.

En la figura 49 se observa que en general el  $\text{Mg}^{+2}$  tendió a salir del perfil del suelo a medida que se efectuaba el lavado; sin embargo su comportamiento no está en



función de la dosis aplicada, ya que no se lavó una mayor concentración de este catión conforme se aumentó la vinaza aplicada. Solo se encontró una correspondencia con el testigo, ya que en éste se presentó la menor cantidad de  $Mg^{+2}$  desplazado.

Así mismo, se encontró que en el suelo 3, la vinaza en cualquiera de las dosis aplicadas dio lugar a un aumento en el pH de los lixiviados posiblemente como consecuencia de la disolución de minerales como fosfatos de calcio y/o carbonatos.

La conductividad eléctrica en los lixiviados del suelo 3 presentó una tendencia similar a la del suelo 1, es decir, la concentración de sales disminuyó con los lavados hechos al suelo.

A medida que las sales se van lavando el color de los lixiviados cambia. Inicialmente son de color oscuro debido a la presencia de materiales degradados provenientes de la vinaza, sulfatos en solución y partículas de suelo. Los colores claros son un buen indicador de que los iones dispersantes han salido. En la figura 50 se observa este comportamiento.

Figura 50. Coloración típica de los lixiviados obtenidos en los tratamientos con vinaza.



En orden descendente  
de izquierda a derecha.

Fuente: El Autor, 2005.

La siguiente Figura presenta los lixiviados obtenidos de las columnas a las que se aplicó solamente agua de pozo. De manera similar a los tratamientos con vinaza, la coloración inicial va disminuyendo en tonalidad a medida que aumenta el volumen percolado. Esta coloración obedece a los materiales colorantes del suelo que son arrastrados por el agua. Cabe resaltar que el agua de pozo que se usó es incolora.

Figura 51. Coloración típica de los lixiviados obtenidos de las columnas testigo a las que se le aplicó agua de pozo.



**En orden descendente  
de izquierda a derecha.**

Fuente: El Autor, 2005.

Figura 52. Comparación de las coloraciones finales típicas obtenidas entre tratamiento con vinaza Vs. testigo.



**Lixiviado final proveniente de tratamiento  
con vinaza**

**Lixiviado final proveniente de los  
testigos**

Fuente: El Autor, 2005.

Los resultados sugieren que no es tan importante la dosis como la división de la misma en varias fracciones para evitar el sellado o la formación de costras en la superficie. Esto indica que se debe proponer como práctica corriente de manejo de vinazas su fraccionamiento en volúmenes considerables de agua para conseguir

una mejor reacción en el suelo. Fraccionar la dosis a aplicar y disolverla en 4 o 5 volúmenes de agua puede ser lo indicado para conseguir una buena reacción en el suelo.

En cuanto a la carga contaminante por materia orgánica en la vinaza, el presente estudio no arroja resultados concluyentes debido a las siguientes causas:

- Debido a la baja conductividad hidráulica que se presentó en los suelos, los tiempos de recolección de muestras de lixiviados fueron demasiado largos para juntar muestras representativas y que no se degradaran con el paso del tiempo, con el fin de obtener datos confiables de DBO y DQO, a lo cual hay que sumar la descomposición de la materia orgánica en condiciones de reducción. Se cuenta con pocos datos, que corresponden a los primeros volúmenes recolectados de muestra.
- El perfil de suelo que atravesó la vinaza en cualquiera de los tratamientos corresponde parcialmente (40 cm superficiales) al perfil de un suelo en recuperación en campo, ya que la tubería para drenar los terrenos agrícolas generalmente se instala a una profundidad mayor a 1,50 metros. Por tal motivo los resultados obtenidos no son representativos de una situación en campo y no reflejan la carga contaminante que se pueda aportar a cuerpos de agua subterráneos por efecto de la adición de la vinaza; ya que es de esperar que a mayor longitud de suelo a atravesar, menor debe ser la carga contaminante a la salida del perfil; a ello se suman los materiales orgánicos dispersos por acción de Na, que son solubles en agua y que tienen capacidad de reaccionar en el suelo por fenómenos de cambio.

De cualquier manera, las mediciones de DQO inicial para la dosis de aplicación de 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza fue de 67853 ppm, mientras que para la de 100 m<sup>3</sup>/ha fue de 32498 ppm.

La DQO aportada por el agua usada en el tratamiento testigo, tuvo un valor de 69 ppm para el primer volumen obtenido de lixiviados.

En el suelo 1 se registró un valor de DQO de 44.275 ppm para el primer volumen de lixiviados que se obtuvo de la aplicación de 400 m<sup>3</sup>/ha de vinaza. Para la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha este valor fue de 27.127 ppm. Luego de efectuarse los lavados, la DQO para el último volumen de lixiviados fue de 2.727 ppm en la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha. Esto indica que la carga orgánica se queda en el suelo en donde es sujeta a acción de microorganismos de diverso tipo.

El primer volumen obtenido de lixiviados en el suelo 3 registró un valor de DQO de 33.081 ppm para la dosis de aplicación de 400 m<sup>3</sup>/ha en tanto que para la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha se obtuvo un valor de 18.035 ppm. Para esta misma dosis se registró un valor de DQO de 519 ppm para el último volumen recolectado de lixiviados.

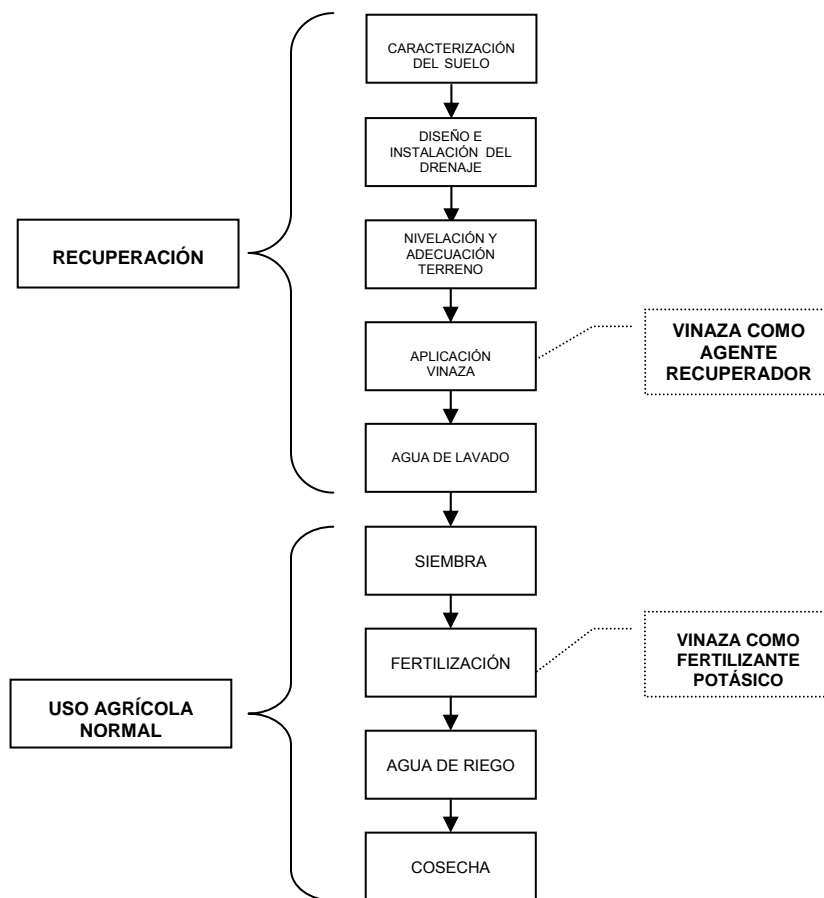
Debido a la textura de este suelo, los microorganismos pudieron actuar más activamente descomponiendo la materia orgánica que ingresó en la vinaza, a diferencia de la formación de los ácidos grasos que se forman bajo condiciones anaerobias y que también suman a la hora de la determinación de la materia orgánica.

Los valores mencionados anteriormente son altos, sin embargo se observa que en los primeros 40 cm. de suelo se obtiene una reducción de la materia orgánica presente en los primeros lixiviados cercana al 34% para el suelo 1 y del 51% para el 3. Estas concentraciones disminuyen paulatinamente por efecto de la dilución generada por la aplicación del agua de lavado. De igual manera, tal como se discutió antes, la aplicación de la vinaza debe hacerse fraccionada con el fin de permitir que su efecto recuperador se manifieste de una mejor manera sobre la conductividad hidráulica del suelo; razón por la cual los valores de DQO y DBO iniciales deben ser aún menores gracias a la mayor dilución de la vinaza aplicada. Esto trae como consecuencia lógica la disminución de la carga contaminante medida luego de que la vinaza haya pasado a través del perfil del suelo, dependiendo claro está, de la cantidad de materia orgánica presente en él.

## 4. APLICACIÓN EN CAMPO

Es importante resaltar que la recuperación del terreno parte del hecho que la vinaza se utiliza como enmienda y no como fertilizante, ya que se supone que el terreno no posee ningún tipo de cultivo debido a su pobre capacidad de producción. En la siguiente figura se presenta el modelo de aplicación a seguir en campo.

Figura 53. Secuencia del modelo de aplicación de vinaza en campo.



Fuente. El Autor, 2005.

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.

Abarca análisis químico y físico, así como estudios de freaticimetría y levantamientos topográficos:

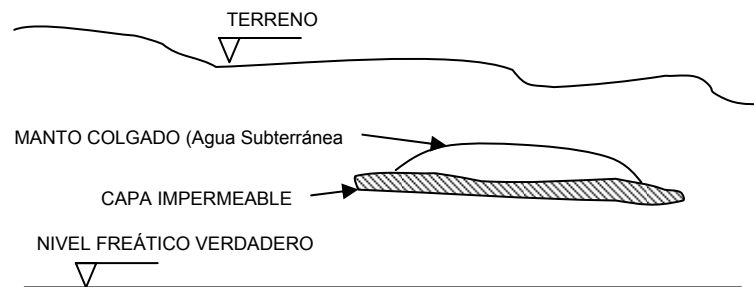
**4.1.1 Caracterización química.** Se realiza con el fin de establecer el grado de afección del suelo y de determinar las zonas que requieren tratamiento. Nótese que no todas las zonas pueden necesitar el mismo tratamiento, ya que el área afectada puede presentar diferentes concentraciones de sales a lo largo de su extensión.

**4.1.2 Caracterización física.** Para un buen diseño del sistema de drenaje debe realizarse la determinación de la textura del suelo, densidad aparente y real, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, estabilidad de agregados, resistencia a la compactación, penetrabilidad y conductividad hidráulica.

**4.1.3 Estudios freatimétricos.** Para un ataque correcto al problema de drenaje interno de los terrenos agrícolas salinos, es necesario conocer el comportamiento y alturas del nivel freático (NF) en diferentes periodos climáticos durante el año. Esta información se obtiene mediante lecturas periódicas de los niveles del agua en una red freatimétrica, es decir, aquella constituida por pozos de observación y/o piezómetros ubicados a lo largo del área bajo tratamiento. Con las lecturas de los niveles se elabora un plano de curvas de igual profundidad de nivel freático o plano de Isobatas, para cada época del año, se observan las líneas de flujo y las curvas de igual cota del NF. A partir de éste plano se realiza el análisis para determinar la necesidad y factibilidad de realizar la obra de drenaje.

De igual manera los estudios freatimétricos permiten evaluar la existencia de mantos freáticos colgados que puedan llegar a distorsionar los resultados de los estudios freatimétricos.

Figura 54. Mantos freáticos colgados.



Fuente: Gómez, Tenorio y Cruz, 1988.

**4.1.4 Levantamiento topográfico.** Su realización es imprescindible para evaluar la cantidad de tierra a remover en la instalación de la tubería, para saber hacia

donde se evacuarán las aguas drenadas y para conocer las posibilidades de aprovechamiento de la pendiente del terreno para movilizar el agua por gravedad.

#### **4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE.**

La recuperación de suelos afectados por sales involucra el lavado de las sales disueltas que tenga en exceso, por lo tanto el componente principal en el proceso de recuperación por desplazamiento del agente contaminante, es el drenaje. Con la información obtenida de la caracterización del suelo se procede a diseñar el sistema de drenaje en cuanto a determinación de los caudales de flujos subterráneos que deben evacuarse, espaciamiento entre tuberías, profundidades, diámetros y materiales a usar.

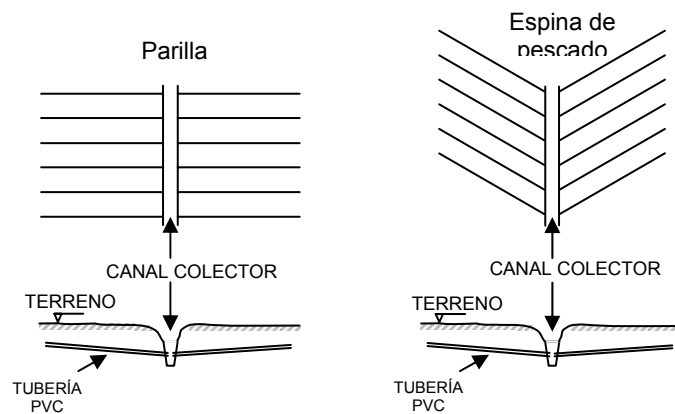
Existen varias fórmulas matemáticas para el cálculo de los parámetros anteriores, en el anexo J se presenta un ejemplo de cálculo de un sistema de drenaje.

**4.2.1 Drenaje.** El fin del drenaje es el abatimiento del nivel freático, sin embargo, en la práctica sucede que canales diseñados para evacuar agua superficial sirven para eliminar agua freática, así que los sistemas de drenaje que se tienen son:

- Sistemas abiertos. Los canales para abatir el nivel freático así como los canales colectores son zanjas abiertas de sección trapezoidal.
- Sistema subterráneo entubado. Los drenes entubados así como los colectores consisten en tuberías enterradas. El agua penetra por uniones o por perforaciones hechas en la tubería.
- Sistema mixto. Es una combinación de los dos anteriores, siendo lo más común encontrar que el abatimiento del nivel freático se hace por medio de tubería enterrada mientras que los colectores son canales abiertos. Por lo general son los más utilizados.

En la siguiente figura se encuentra el esquema en planta y de frente de dos de las disposiciones más usadas de los sistemas mixtos.

Figura 55. Esquemas de sistemas de drenaje agrícola.



Fuente: Gómez; Tenorio y Cruz, 1988.

#### 4.2.2 Materiales del drenaje interno.

- **Tubería.** El material más usado es el PVC corrugado, ya que son tubos flexibles, livianos, fáciles de transportar y de instalar (un rollo de 150 metros puede ser cargado por un solo hombre), tienen una alta resistencia a la presión del terreno, son prácticamente irrompibles y son resistentes a la corrosión y a los agroquímicos.
- **Filtros.** Es un material que se coloca alrededor del tubo para facilitar la entrada del agua del suelo, evitando el ingreso de partículas que puedan taponar el tubo o las perforaciones por donde entra el agua y que además mejoren la permeabilidad a los alrededores del tubo con lo que se facilita la entrada de agua a la tubería. Pueden ser:
  - Voluminosos: como grava de 1/8" a 1", se debe colocar envolviendo la tubería en una capa de 5 a 15 cm, de acuerdo a las características del suelo, es decir, para suelos con baja permeabilidad se coloca la capa más gruesa y de mayor diámetro.
  - Cintas: como su nombre lo dice, son unas cintas en fibra de vidrio que se colocan encima del tubo.
  - Pre-envueltos: consisten en tejidos de nylon, vinilo o fibras sintéticas que envuelven el tubo. Estos materiales se colocan desde fábrica, permitiendo una mayor eficiencia a la hora de la instalación ya que se instala tubería y filtro al mismo tiempo.
- **Cajas de control o buzones.** Sirven para controlar el funcionamiento de la red de tuberías, para cambiar el diámetro, dirección y pendiente de la



tubería. Se construyen con paredes de ladrillo; la base y tapa es en concreto.

#### **4.3 INSTALACIÓN DEL DRENAJE SUBTERRÁNEO ENTUBADO.**

Puede ser de tres tipos:

- Manual. Es un método que esta en decadencia por su elevado costo y poco rendimiento. Consiste en abrir una zanja a mano, colocar la tubería, el filtro y luego tapar.
- Sistema mixto. Se usa una retroexcavadora para abrir la zanja, se coloca la tubería a mano y la instalación del filtro y la tapada se hacen con la ayuda de la retroexcavadora.
- Zanjadora-entubadora. Es el procedimiento más usado en áreas agrícolas altamente desarrolladas, consiste en un tractor de orugas, que en la parte trasera lleva el mecanismo excavador y colocador de la tubería. La excavación se realiza por medio de una cadena continua, provista de unas cuchillas que extraen la tierra y la colocan al lado de la zanja que va abriendo. Detrás del mecanismo de excavación viene una caja metálica que penetra en el suelo y que coloca la tubería. Las zanjadoras están provistas de una tolva para la colocación de la gravilla, la cual envuelve la tubería.

Figura 56. Zanjadora-entubadora para instalación de tubería de drenaje agrícola.



Fuente: García Ocampo, 2005.

#### 4.4 NIVELACIÓN Y ADECUACIÓN DEL TERRENO.

Luego de la construcción del sistema de drenaje, es necesario efectuar la nivelación y emparejamiento del terreno a tratar con el fin de lograr una aplicación uniforme de la Vinaza y del agua de lavado. Luego se pueden realizar las labores de arada, con el fin de mejorar la penetración de la Vinaza en el suelo.

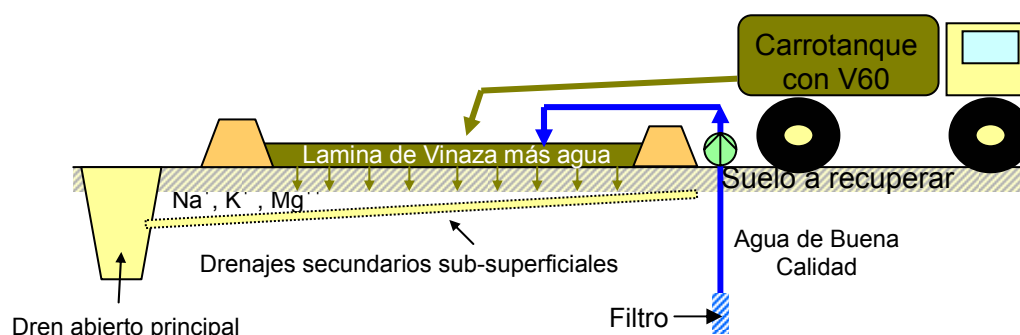
#### 4.5 APLICACIÓN DE LA VINAZA.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación de la vinaza debe realizarse en forma fraccionada para obtener una mejor recuperación del suelo. Tomando en cuenta que para recuperar un suelo salino-sódico, la dosis de vinaza concentrada a aplicar es de  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ , la forma de hacerlo es en 4 dosis de  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$  cada una, junto con una lámina de agua adicional a la vinaza, es decir, buscando la acción de una cabeza hidráulica sobre el suelo que facilite la penetración y flujo de la mezcla líquida hasta la profundidad que se desea tratar. Para esto es necesario además de la adecuación del terreno, construir pequeños diques para su contención. Generalmente la aplicación de la vinaza se puede realizar directamente a las piscinas por gravedad desde el carrotanque, o también descargándola a los canales de conducción de agua, en caso tal que los predios cuenten con este sistema. Sin embargo, en algunos casos se debe bombear.

Luego de que la primer fracción aplicada ha penetrado en el suelo, se debe dejar un tiempo prudencial (3 a 5 días\*) para que los microorganismos del suelo actúen y para evitar que sus productos gaseosos interfieran negativamente con el movimiento del agua al interior del suelo.

En la siguiente figura se presenta un esquema de la forma de aplicación de la vinaza mediante láminas de vinaza más agua de pozo.

Figura 57. Esquema aplicación de vinaza en campo.



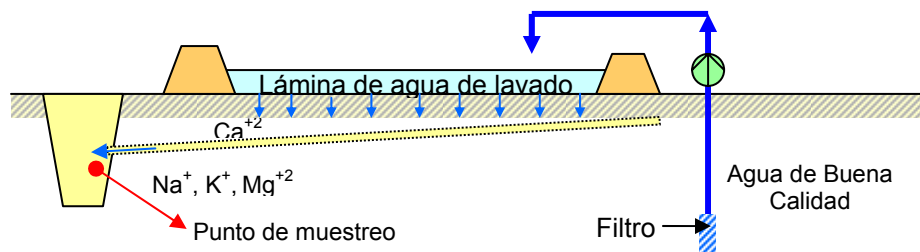
Fuente: El Autor, 2005.

\* Este valor deberá verificarse en estudio posterior.

#### 4.6 LAVADOS.

Los lavados se hacen también por inundación o por riegos fuertes continuados en los cuales se aplica una lámina de riego de 100 o más centímetros en muy corto tiempo, aprovechando los diques ya construidos. Igualmente debe esperarse a que se agote el primer volumen de lavado para luego agregar el siguiente. No debe mantenerse una cabeza hidráulica permanente.

Figura 58. Esquema de lavado en campo.



Fuente. El Autor, 2005.

#### 4.7 MONITOREOS DE LAS AGUAS PERCOLADAS.

Es recomendable la medición de algunas propiedades químicas (CE, pH,  $\text{Na}^+$ ) de las aguas drenadas para verificar la remoción de las sales y determinar la finalización del lavado (cuando no se producen cambios en los parámetros de chequeo).

#### 4.8 ANÁLISIS DE SUELOS.

Una vez finalizado el proceso de recuperación se debe realizar un nuevo análisis de suelos con el fin de evaluar la recuperación del suelo y determinar las necesidades de fertilización que requiere el terreno para la siembra de un determinado tipo de cultivo, ya que en el proceso de lavado se pueden perder todos o casi todos los nutrientes.

#### 4.9 SIEMBRA.

Cuando los análisis de suelos indiquen que la recuperación es un hecho se puede proceder a la siembra de la especie o especies seleccionadas. Si la recuperación es incompleta, el grado de tolerancia de una especie dada permitirá decidir su siembra. El proceso de rehabilitación o recuperación termina cuando el monitoreo indique que las sales, el  $\text{Na}^+$  o cualquier ión en exceso ha salido del suelo.

#### **4.10 MONITOREO DE SUELOS.**

Es necesario después de cada cosecha, en el caso de cultivos semestrales, o cada seis meses, en el de los anuales, realizar análisis de chequeo de los suelos (monitoreo), para verificar la influencia del drenaje y del tratamiento, y establecer las acciones correctivas a que hubiera lugar.

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Esta evaluación económica se trata de la comparación de los costos generados al usar vinaza concentrada y otras enmiendas tradicionales en la recuperación de suelos salino-sódicos como lo son: el azufre y el yeso agrícola. Primero se establecieron los costos comunes a todas las enmiendas, es decir, los estudios de suelos y la construcción del sistema de drenaje. Luego se determinan los costos particulares de cada agente recuperador. La evaluación se hace para una hectárea de terreno.

De acuerdo a lo visto en el capítulo 4 del presente trabajo, los costos estimados del tratamiento son los siguientes:

### 5.1 COSTOS COMUNES DEL TRATAMIENTO

Debido a que el cálculo del dimensionamiento de un sistema de drenaje involucra el uso de variables que deben ser medidas en campo y de las cuales no se dispone en este estudio, se decidió usar los datos del sistema de drenaje instalado en la Hacienda Guadualito ...Ver sección 1.7.2... en los lotes 14-2 y 15-3 ...Ver anexo K... los cuales representan el peor escenario posible (más costoso) para un sistema de drenaje, ya que según el Ingeniero Agrícola Alfonso Ortigón\*, el promedio de inversión aceptado por los cañicultores del Valle del Cauca para un sistema de este tipo es de \$3'000.000 por hectárea.

Las cantidades unitarias, diámetros de tubería, accesorios y canales abiertos se obtuvieron de dividir la totalidad de tubería y accesorios usados en la superficie que abarca dichos lotes. El drenaje instalado es un diseño en espina de pescado con tubería secundaria de 4" y principal de 6".

El costo del estudio de freaticimetría está basado en una cotización del Ing. Ortigón. El valor de la tubería, de los accesorios y de su instalación corresponden a los cotizados por la firma Drenajes y Construcciones E.U. ...Ver anexo L...

Los valores restantes se obtuvieron mediante llamadas telefónicas a las diferentes empresas que ofrecen servicios de alquiler de maquinaria agrícola y de construcción.

---

\* Este Ingeniero, asesor en sistemas de riego y drenaje de la ciudad de Cali, Valle del Cauca fue enfático al manifestar que los cañicultores de la región no tienen la voluntad de invertir sumas mayores a los \$3.000.000/ha. Para este sector económico no resulta rentable una inversión mayor en razón de los ingresos obtenidos por la venta de tonelada de caña por hectárea.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de estos gastos.

Tabla 24. Costos estimados por hectárea del sistema de drenaje agrícola.

#	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	\$/ha	\$	%
1	Análisis Químico del suelo	Un	1	60.000	60.000	0,69
2	Análisis Físico del suelo	Un	1	140.000	140.000	1,61
3	Estudios de fratiimetría	Un	1	60.000	60.000	0,69
4	Obrero Aux Freatimetría	Día/ Obrero	15	12.717	190.750	2,19
5	Levantamiento Topográfico	Hr.	2	31.250	62.500	0,72
6	Tubería P.V.C. con filtro de 4"	m.l	187	17.962	3'358.894	38,51
7	Tubería P.V.C. con filtro de 6"	m.l	48	41.132	1'974.336	22,64
8	Tapones de P.V.C. de 4"	Un	2	3.337	6.674	0,08
9	Tapones de P.V.C. de 6"	Un	1	9.955	9.995	0,11
10	Salidas de P.V.C. de 6"	Un	1	86.002	86.002	0,99
11	Instalación Tubería de 4"	m.l.	187	10.500	1'963.500	22,51
12	Instalación Tubería de 6"	m.l.	48	12.000	576.000	6,60
13	Tapada de zanjás	Hr	2	47.080	94.160	1,08
14	Construcción diques pequeños	Hr	1	47.080	47.080	0,54
15	Construcción canales	Hr	1	47.080	47.080	0,54
16	Nivelación terreno	Hr	1	45.000	45.000	0,52
<b>TOTAL</b>					<b>8'721.931</b>	<b>100</b>

Un: Unidad; Hr: Hora; m.l: metro lineal.

Fuente: El Autor, 2005.

## 5.2 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON VINAZA60.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, la dosis recomendada para recuperar suelos salino-sódicos con características iniciales iguales o menores al suelo en estudio, en cuanto a contenido de  $\text{Na}^+$  intercambiable y soluble y de Conductividad eléctrica, es de  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$  ( $\text{PSI} = 37,685\%$ ,  $\text{CEe} = 10,28 \text{ dS/m}$ , textura franco arcillo limosa y  $\text{CIC} = 33,70 \text{ Cmol (+) /Kg}$ ). La vinaza concentrada tiene una densidad de  $1300 \text{ Kg/m}^3$  por tal motivo, la masa que corresponde a esta dosis es de  $260.000 \text{ Kg}$ . Actualmente el precio de venta de este subproducto en Sucromiles es de  $\$30/\text{Kg}$  a granel.

El precio de transporte en carrotanque oscila entre  $\$20$  a  $\$30/\text{kg}$  para los destinos que no superan los  $100 \text{ Km}$  de distancia\*.

Para el agua de aplicación de la vinaza, el criterio que se tuvo en cuenta para el caso experimental en columnas fue el de adicionar un volumen total de vinaza más agua, equivalente a 2 veces la porosidad del suelo. Sin embargo, en campo se debe adicionar el agua necesaria para movilizar la vinaza hasta la profundidad que se desea recuperar, lo cual puede resultar complicado de determinar. De cualquier forma, de acuerdo a la concentración final de la dosis de  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$  la cual fue  $5,10\%$  de sólidos  $\text{m/m}$ , se tiene que la cantidad de agua a adicionar para lograr esta concentración es de  $550 \text{ m}^3/\text{ha}$ , lo que implica un total de  $2200 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

En cuanto a la cantidad de agua de lavado, de los análisis hechos a los lixiviados, se observa que en promedio, para la dosis recomendada, los valores de remoción de  $\text{Na}^+$  se estabilizaron luego de la percolación de  $6 \text{ litros}$  de lixiviados. Para obtener este volumen de lixiviados fue necesario agregar en promedio  $11.8 \text{ litros}$  de agua; sin embargo, se debe tener en cuenta que el suelo usado en el estudio estaba totalmente seco y además por los problemas de colmatación ya mencionados, se tuvo un tiempo considerable de retención dentro de la columna, lo que se tradujo en pérdidas de agua por evaporación. De cualquier forma, en la sección 1.5.1 se mencionó la formula para determinar la lámina de agua de lavado requerida para remover las sales del perfil del suelo, en ésta, se hace uso del factor  $K$  que refleja el contenido volumétrico saturado de agua del suelo (luego de aplicar el agua) y la eficiencia de lavado según el tipo de suelo, que para el caso de suelos franco arcillosos  $K = 0,3$ , lo que significa que, en este caso, para obtener un volumen de  $6 \text{ litros}$  de lixiviados, en condiciones de suelo saturado, se necesita aplicar un  $30\%$  más de agua respecto del volumen final, es decir  $7,8 \text{ litros/columna}$ .

Teniendo en cuenta que el área de la columna de  $4''$  de diametro es de  $0,0089 \text{ m}^2$ ; los  $7,8 \text{ litros}$  equivalen a  $867,43 \text{ l/m}^2$ , que corresponden a  $8674,3 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

---

\* Datos promedio de las tarifas cobradas por los transportadores que prestan servicios a Sucromiles S.A.

Adicionalmente la salinidad final a la que llego el suelo salino-sódico luego de la aplicación de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada fue de 3,12 dS/m, así que si se desea plantar caña de azúcar en este terreno, es necesario reducir este nivel de sales hasta una conductividad eléctrica menor a 1,7 dS/m ...Ver sección 1.4.2.1... para lo cual es necesario aplicar una lámina de agua de lavado de 22 cm. que equivale a 2.200 m<sup>3</sup>/ha. Esta cantidad de agua corresponde al cálculo hecho a partir de la formula vista en la sección 1.5.1 para una altura de suelo a recuperar de 40 cm y un K = 0,3.

Por lo tanto al sumar los volúmenes anteriores de lavado, se tiene un total de agua de lavado de 10.874,3 m<sup>3</sup>/ha (Aprox = 11.000 m<sup>3</sup>/ha).

El precio del agua, corresponde al valor que paga Sucromiles por cada m<sup>3</sup> de agua que extrae de los pozos, éste costo incluye todos los gastos e infraestructura del sistema de bombeo.

En la siguiente tabla se encuentra el resumen de los costos

Tabla 25. Costos estimados por hectárea de terreno salino-sódico tratado con Vinaza60.

#	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/Unidad)	\$	%
1	Vinaza Concentrada	Kg	260.000	30	7,800.000	54,86
2	Transporte Vinaza	Kg	260.000	25	5,200.000	36,58
3	Inundación (personal supervisando)	Hr-H	15	1986,97	29.805	0,21
4	Agua de aplicación	m <sup>3</sup>	2524	86,32	217.910	1,34
5	Agua de Lavado	m <sup>3</sup>	11.000	86,32	949.520	6,68
6	Lavado (supervisión)	Hr-H	24	1986,97	47.688	0,34
<b>TOTAL</b>					<b>14,244.923</b>	<b>100</b>

Hr-H: Hora-hombre

Fuente: El Autor, 2005.



### 5.3 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON YESO AGRÍCOLA.

La dosis de aplicación del Yeso fue calculada teniendo en cuenta las características iniciales del suelo 1 (salino-sódico) y a la tabla de “cantidades de Yeso y Azufre necesarias para sustituir las cantidades indicadas de sodio intercambiable” del manual 60 del Laboratorio de salinidad de los E.U.A. El calculo es el siguiente:

$$\text{Miliequivalentes de Na}^+ \text{ a remover} = \frac{\text{PSI inicial} - \text{PSI final}}{100} \times \text{CIC}$$

$$\text{Miliequivalentes de Na}^+ \text{ a remover} = \frac{37,68 - 5}{100} \times 33.70 \text{ cmol/kg}$$

$$\text{Miliequivalentes de Na}^+ \text{ a remover} = 11,01 \text{ cmol/kg}$$

De la tabla en mención se tiene que para recuperar una profundidad de 30 cm se requieren 46,2 Ton. de Yeso o 9.79 Ton de Azufre. El costo de transporte para dobletroque o tractomula con estacas esta en promedio a \$30/kg para distancias no mayores a 100 km.

La cantidad de agua a usar corresponde a datos suministrados por el Dr, Álvaro García\*, de acuerdo a las experiencias de manejo de suelos salinos que él ha tenido.

Tabla 26. Costos por hectárea del tratamiento con Yeso Agrícola.

#	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/Unidad)	\$/ha	%
1	Yeso	Kg	46.200	110	5'082.000	67,31
2	Transporte Yeso	Kg	46.200	30	1'386.000	18,36
3	Descargue del Yeso en el terreno	Jornal	1	15.000	15.000	0,20
4	Aplicación Yeso	Máquina	1	80.000	80.000	1,06
5	Riego (personal supervisando)	Hr-h	4	1986,97	7.947,88	0,11
6	Agua de solubilización	m <sup>3</sup>	1000	86,32	86.320	1,14
7	Agua de Lavado	m <sup>3</sup>	10000	86,32	863.200	11,43
8	Lavado (supervisión)	Hr-h	15	1986,97	29.804,55	0,39
<b>TOTAL</b>					<b>7'550.277,43</b>	<b>100</b>

Hr-h: Hora-hombre

Fuente: El Autor, 2005.

\* Ingeniero Agrónomo ph. D. Especialista en manejo de suelos afectados por problemas de sales.

#### 5.4 COSTOS DEL TRATAMIENTO CON AZUFRE AGRÍCOLA.

Para la estimación de los costos del tratamiento con ésta enmienda se siguieron los mismos lineamientos del punto anterior. En la siguiente tabla se encuentran resumidos.

Tabla 27. Costos por hectárea del tratamiento con Azufre Agrícola.

#	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$/Unidad)	\$/ha	%
1	Azufre	Kg	9.790	900	8`811.000	78,57
2	Transporte Azufre	Kg	9.790	30	293.700	2,62
3	Descargue del Azufre en el terreno	Jornal	1	15.000	15.000	0,37
4	Aplicación Azufre	Máquina	1	80.000	80.000	1,98
5	Riego (personal supervisando)	Hr-h	4	1986,97	7.947,88	0,20
6	Agua de solubilización	m <sup>3</sup>	1000	86,32	86.320	0,54
7	Agua de Lavado	m <sup>3</sup>	10000	86,32	860.320	14,99
8	Lavado (supervisión)	Hr-h	15	1986,97	29.804,55	0,74
<b>TOTAL</b>					<b>10`186.972,43</b>	<b>100</b>

Hr-h; Hora-hombre

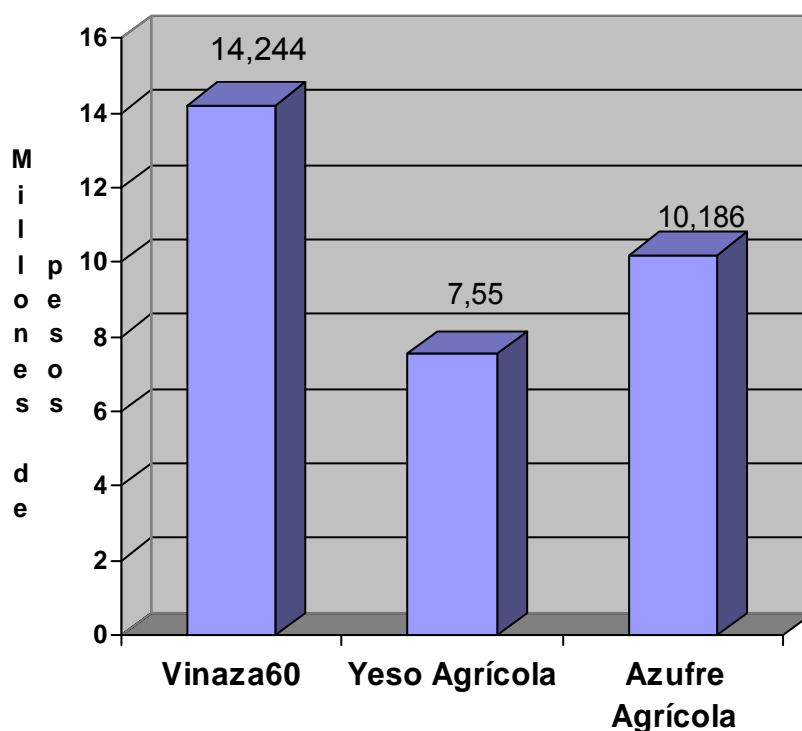
Fuente: El Autor, 2005.

#### 5.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS TRES ENMIENDAS.

Como se ve en la figura 59, la inversión inicial para recuperar suelos salino-sódicos haciendo uso de la vinaza concentrada es mucho mayor que la de las otras dos enmiendas, exactamente 188,30% más cara respecto al Yeso y 59.23% respecto al Azufre. Sin embargo, tal como se anotó en la introducción de la presente investigación, la recuperación tradicional de suelos de esta naturaleza mediante el uso del Yeso y/o Azufre es demasiado larga ya que puede llegar a alcanzar periodos de hasta 5 años desde el inicio de la aplicación de la enmienda. Por este motivo, la simple comparación de la inversión inicial entre las enmiendas no es suficiente para establecer un criterio de selección entre la recuperación tradicional y la recuperación con vinaza.

A continuación se presenta un análisis tendiente a evaluar los costos en que se incurre al tener una hectárea de tierra salino-sódica sin hacer uso de ella en el campo agrícola, es decir, sin aprovecharla mediante algún tipo de cultivo.

Figura 59. Costo de recuperación de suelos salino-sódicos usando tres diferentes enmiendas.



Fuente: El Autor, 2005.

El hecho de tener una tierra improductiva que tenga un uso agrícola potencial acarrea los dos siguientes rubros básicos:

- Pago de impuesto predial: de acuerdo a la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar (PROCAÑA)\*, este gasto tiene un valor promedio de \$120.000 por hectárea de terreno.
- Pérdida de ingresos por ventas de un cultivo dado, en este caso, teniendo en cuenta las condiciones de la zona, se usa como ejemplo la caña de azúcar, cuyos ingresos por ventas están valoradas por la misma fuente en \$29.928 por tonelada de caña. Lo que equivale a \$298.811,35 de TCH/mes. ...Ver tabla 28...

Tomando como base el ya mencionado caso de Guadualito, y específicamente los datos de producción de caña cultivada luego de que se trataron los terrenos con Vinaza10, se tienen las siguientes producciones:

\* Memorias del seminario de costos en el cultivo de la caña de azúcar para el año 2005.

Tabla 28. Resumen de producciones de caña de azúcar cultivada en terrenos salino-sódicos tratados y recuperados con Vinaza<sup>10</sup> .

AÑO	TCH/Cosecha	TCH/Año	\$/TCH
0	0	0	0
1	151,31	129,69	3.881.490,58
2	138,51	127,86	3.826.455,95
3	143,71	132,66	3.970.110,35
4	130,78	120,72	3.612.908,16
5	95,48	88,14	2.637.715,79
PROMEDIO			3.585.736,17

Fuente: Informe de seguimiento caso Guadualito, 2001.

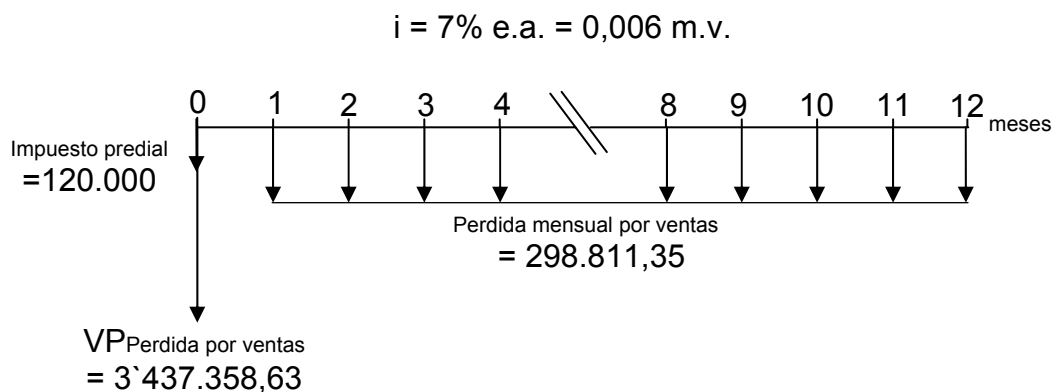
Como se explicó en el capítulo 4, el proceso de recuperación de un terreno salino-sódico incluye un sistema de drenaje, cuyo diseño parte de la evaluación de unos parámetros químicos y físicos de los suelos a tratar, en el caso del estudio freaticométrico se requiere de hacer mediciones durante dos periodos climáticos con el fin de obtener resultados confiables. Dadas las condiciones climáticas de nuestro país, el período mínimo de duración de este estudio es de seis meses, a los cuales se debe adicionar el tiempo de entrega del diseño del sistema de drenaje y la construcción de éste; lo que puede tardar dos meses más. La caracterización química, física y el levantamiento topográfico son actividades que se derrollan en paralelo (al mismo tiempo) al estudio freaticométrico, por lo cual no deben generar periodos de tiempo adicionales. Este tiempo es común al uso de cualquiera de las tres enmiendas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, el uso de vinaza arrojó resultados positivos para el tratamiento de suelos salino-sódicos luego de 124 días, lo que equivale a 4 meses aproximadamente. Es decir, en total 12 meses, este es el tiempo establecido como periodo de recuperación haciendo uso de vinaza concentrada para la presente evaluación económica.

En el caso del Yeso y el Azúfre, como ya se dijo, se establecen tiempos de recuperación de 5 años, equivalentes a 60 meses. En total 68 meses al sumarle el periodo de diseño y construcción del sistema de drenaje.

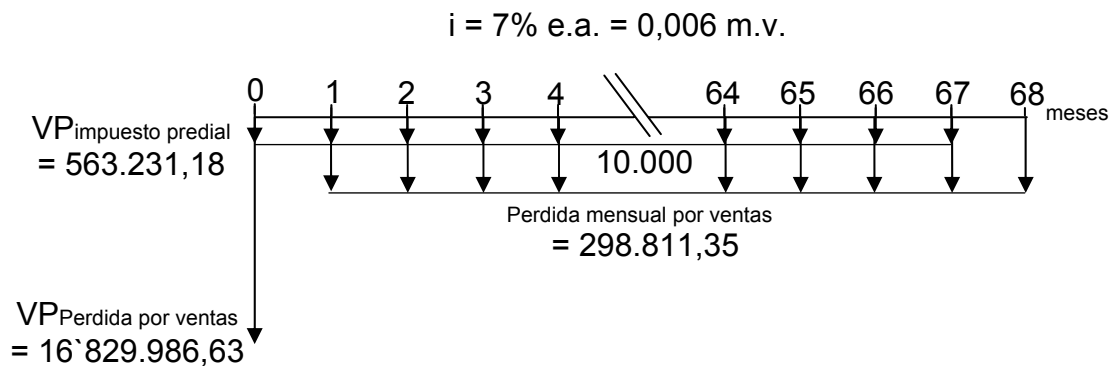
En razón de las consideraciones anteriores se tienen los siguientes flujos de caja:

Figura 60. Flujo de caja para costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación con Vinaza60.



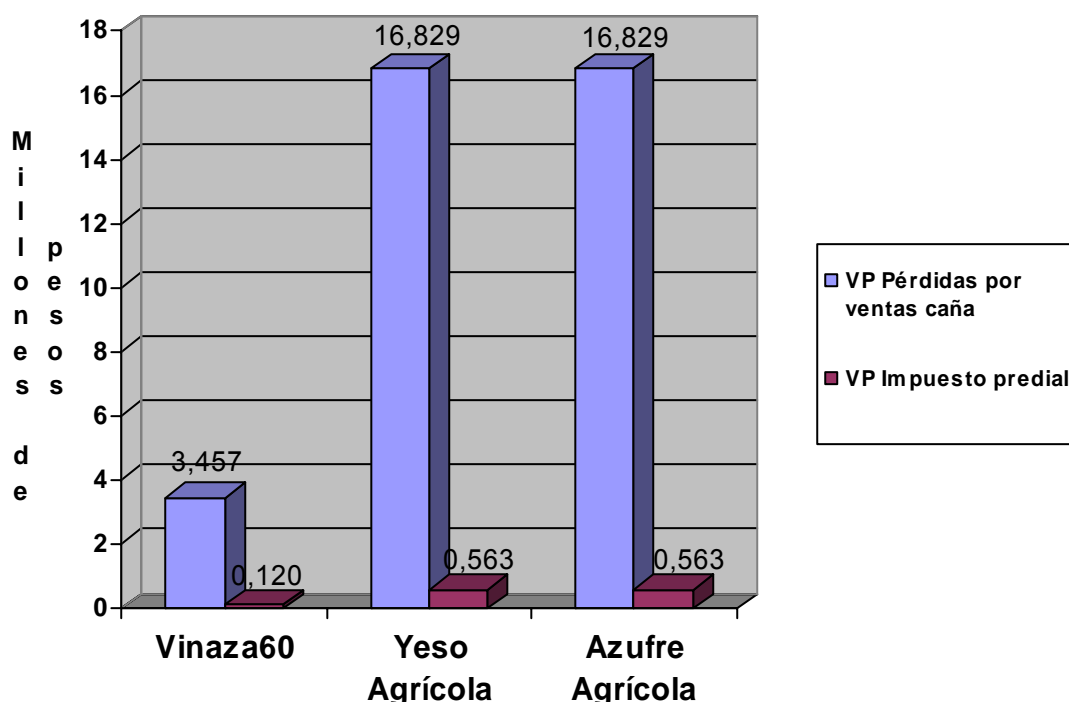
Fuente: El Autor, 2005.

Figura 61. Flujo de caja para costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación con Yeso y/o Azufre Agrícola.



Fuente: El Autor, 2005.

Figura 62. Valor presente de costos de tierra improductiva durante el periodo de recuperación para tres enmiendas diferentes.



Fuente: El Autor, 2005.

De la figura anterior se puede observar que la diferencia entre los valores por pérdidas por ventas de caña para el tratamiento con Vinaza60 y el Yeso y/o Azufre es de \$13'372.628,44 y para el impuesto predial de \$443.231,18 a favor de la V60. Es decir, al usar Vinaza60 como agente recuperador de suelos salino-sódicos se ahorra una suma de \$13'815.859 que corresponde al dinero gastado y dejado de recibir durante el período de recuperación del terreno usando Yeso y/o Azufre Agrícola.

Esta suma de dinero equivale al 97,17% del costo del tratamiento usando Vinaza60, lo que quiere decir, que la inversión del tratamiento mediante el uso de esta enmienda se recupera aproximadamente en cinco (5) años teniendo como fuente de ingreso el cultivo de la caña de azúcar. Es decir, a pesar de tener una inversión inicial más alta con respecto a las otras enmiendas; el costo que representa mantener la tierra tanto tiempo sin aprovechamiento agrícola en suelos tratados con Yeso y/o Azufre prácticamente equivale al costo del tratamiento con Vinaza, además de ésto, su costo se ha pagado justo cuando la tierra tratada con Yeso y/o Azufre empieza a ser productiva y a generar ingresos.

Adicionalmente, la experiencia llevada a cabo en Guadualito, no registra el uso de nuevos tratamientos en pro de combatir las condiciones salino-magnésicas de sus suelos<sup>\*</sup>; en contraste de terrenos tratados con Yeso y/o Azufre en los cuales ha sido necesario agregar nuevas dosis de estas enmiendas para complementar el tratamiento.

---

<sup>\*</sup> Conversación el día 18 de Noviembre de 2005 con Francisco Echeverry, Ingeniero Agrónomo de Garcés & Eder, compañía administradora de la Hacienda Guadualito.

## 6. CONCLUSIONES

En el suelo *Typic Pellustert* de condición inicial salino-sódica, las dosis de 200, 300 y 400 m<sup>3</sup>/ha no presentaron diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de confiabilidad del 95%.

La aplicación de 200m<sup>3</sup>/ha de Vinaza60 es suficiente para causar cambios favorables en el suelo, originando el desplazamiento y lixiviación del sodio intercambiable y soluble.

El uso de la Vinaza60 en la recuperación de suelos salino-sódicos da lugar a una Conductividad Eléctrica residual, cuyo valor está por encima del nivel crítico de salinidad para un suelo normal.

Al eliminar la condición sódica en el terreno tratado con vinaza, puede cultivarse especies tolerantes a estos niveles de salinidad de acuerdo a la tolerancia a la salinidad de una especie vegetal determinada, sin necesidad de efectuar lavados para eliminar las sales remanentes.

En el suelo salino-sódico tanto en la concentración de magnesio intercambiable como en el porcentaje de magnesio intercambiable (PMgl), se observa un aumento que es máximo para la dosis de 100 m<sup>3</sup>/ha, luego de la cual hay descensos pero con valores siempre superiores al testigo.

En este mismo suelo se encontraron diferencias significativas con un nivel de confiabilidad del 95%, entre el tratamiento testigo y los tratamientos superiores a 200 m<sup>3</sup>/ha para el potasio. Este suelo presenta originalmente una concentración alta de potasio (3,65 Cmol kg<sup>-1</sup>)\* y alcanza valores de 10,36 Cmol kg<sup>-1</sup> cuando se aplicaron 400 m<sup>3</sup>/ha de Vinaza60, condición que puede no resultar conveniente ya que el potasio en algunos suelos puede actuar en forma similar al sodio, ocasionando desbalances nutricionales o toxicidades a la planta así como también dispersando el suelo.

---

\* La unidad Cmol (centimol) se expresó conforme a los resultados reportados por el laboratorio de suelos de Corpoica según anexo F.



Dadas las conclusiones anteriores y las recomendaciones realizadas en el siguiente capítulo, se estableció una técnica y metodología de aplicación en campo para la recuperación o remediación de suelos salino-sódicos; ya que, de acuerdo a los resultados obtenidos, solamente este suelo responde de manera positiva a la acción de la Vinaza60.

En el suelo ***Udic Pellustert*** de condición salino-magnésica, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre testigo y tratamientos para muchas de las variables evaluadas, por lo que se concluye que la Vinaza60 no tuvo un efecto de mejoramiento con las dosis usadas en este suelo.

En el suelo ***Udic Pellustert*** de condición inicial ligeramente salina y alcalina, la Vinaza60 tuvo efectos interesantes dando lugar a la disminución del sodio intercambiable pero con un aumento relativo del potasio, no tan marcado como en el suelo salino sódico.

Una aplicación excesiva de Vinaza60 como la dosis de 400 m<sup>3</sup>/ha dió lugar a un aumento marcado en la concentración de Potasio en el suelo, así que dosis mayores a ésta serían contraproducentes debido a los efectos de salinización y de acumulación de otros elementos deletéreos en el suelo.

El agua adicionada en la aplicación de la Vinaza60 es el mecanismo de transporte para hacer que ésta llegue hasta la profundidad que se desea recuperar. De acuerdo a los resultados obtenidos, el volumen de agua a adicionar es 2.524 m<sup>3</sup>/ha.

Los resultados obtenidos indicaron que al aplicar Vinaza60 bajo una condición de cabeza hidráulica permanente, se favoreció la descomposición anaeróbica de la materia orgánica aportada por ésta, mediante reacciones químicas de reducción en el suelo.

La reducción química de la materia orgánica da lugar a la generación de gases, ácidos grasos y alcoholes, lo que sugiere un efecto negativo sobre el proceso de recuperación del suelo y particularmente sobre el movimiento gravitacional del agua, ya que los productos mencionados pueden actuar como colmatantes en los poros del suelo. En virtud de ello, se ha generado una serie de recomendaciones en el siguiente capítulo.

La propuesta de aplicación de las dosis de Vinaza60 en forma fraccionada y espaciada en el tiempo la una de la otra, busca:

- Disminuir la cantidad de sustrato que los microorganismos del suelo pueden asimilar, y no permitir que se formen capas de vinaza que actúen como colmatantes del suelo.
- Permitir que los gases formados en el suelo por degradación de la materia orgánica de la vinaza puedan escapar a la atmósfera más fácilmente y no interfieran negativamente en el movimiento del agua durante el proceso de percolación.
- Favorecer reacciones de oxidación (bajo condiciones aerobias) y no de reducción (condiciones anaérobias), bajo las cuales se descomponen los materiales fermentables de la Vinaza60 y se producen sustancias como ácidos valérico, butírico, propiónico y alcoholes que pueden llegar a ser tóxicos para las plantas; además de la producción de malos olores en los lixiviados obtenidos.
- Aportar una menor cantidad de materia orgánica medida en términos de DBO y DQO.

Se destaca el hecho que la vinaza, por su composición electrolítica y acidez, puede actuar como una enmienda que permite la recuperación del suelo en muy corto tiempo, eliminando el lucro cesante que puede ser de 3 a 5 años por los sistemas de recuperación tradicionales, ya que la constante de solubilización del Yeso (2,41 gr/cc a 20°C) es muy baja y la oxidación del Azufre bajo la acción de los microorganismos del suelo es muy lenta.

A pesar de que la inversión inicial para el tratamiento con Vinaza60 respecto de los sistemas tradicionales de recuperación de suelos salino-sódicos con Yeso y/o Azufre Agrícola es más alta en 188,30% y 59.23% respectivamente, el valor del lucro cesante en éstos puede llegar a ser el equivalente del costo del tratamiento mediante el uso de Vinaza60.

El análisis económico muestra que el uso de la V60 como agente recuperador presenta una mejor viabilidad económica para los cañicultores que los sistemas tradicionales de tratamiento.

## 7. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos sugieren que la Vinaza60 diluida en bajos volúmenes de agua puede causar la formación de un sello en diferentes niveles del perfil del suelo, lo que trae como consecuencia retardos en el tiempo de recuperación del suelo. Por lo tanto, se debe evaluar si al fraccionar la dosis de 200 m<sup>3</sup>/ha de Vinaza60 en varias dosis puede evitar estos problemas mejorando la acción recuperadora de la vinaza sobre el suelo, en especial, las condiciones físicas finales del suelo y así obtener una mejor conductividad hidráulica que permita evacuar más eficientemente las sales desplazadas.

De igual manera, es conveniente evaluar la aplicación de Vinaza60 en campo o en condiciones de laboratorio para determinar el tiempo que se debe dejar entre aplicación y aplicación de las fracciones de la dosis para que los microorganismos reaccionen bajo condiciones aerobias.

A pesar de los colores y olores finales que presentaron los suelos tratados indicaron la ocurrencia de reacciones químicas de reducción, es conveniente determinar si debe esperarse a que se agote cada lamina de lavado antes de aplicar la siguiente, en vez de mantener una condición de lavado bajo régimen de inundación permanente, ya que esto por los resultados obtenidos se presume como una práctica contraproducente para la recuperación de los suelos.

Debido a la conductividad eléctrica residual que deja el uso de la Vinaza60 en la recuperación de suelos salino-sódicos, es necesario efectuar lavados adicionales con el fin de reducir aún más la salinidad remanente a los niveles de tolerancia del cultivo que va a ser sembrado en dicho terreno.

Dada la importancia que recientemente ha adquirido la vinaza a razón de la producción de alcohol carburante, conviene planear investigaciones tendientes a aclarar la dinámica de comportamiento de uno de sus principales componentes, como lo es el potasio, en los distintos tipos de suelos del Valle del Cauca. Se deben incluir consideraciones sobre la capacidad de restricción de potasio de los suelos y los balances nutricionales que lo involucran. Cabe anotar que, dadas las características de carga eléctrica, valencia y radio hidratado de este ion, altas concentraciones pueden llegar a causar efectos similares a los del sodio en cuanto al deterioro físico del suelo manifestado en expansión y dispersión de las arcillas.

presentes. Por lo que se debe vigilar el uso de la Vinaza60 en suelos afectados y que contengan altas concentraciones de potasio.

Es aconsejable realizar la determinación, mediante estudios de flujo de materiales en medios porosos, de la cantidad de agua necesaria a adicionar a la Vinaza60 para que permanezca solamente en la capa de terreno que se desea recuperar y se degrade al máximo en esta zona, antes de aplicar los lavados de las sales remanentes. Esto con el fin de disminuir la carga contaminante que pueda llegar a entrar en contacto con las aguas subterráneas.

En concordancia con lo anterior es conveniente evaluar la aplicación de Vinaza60 en campo con el fin de evaluar las cargas contaminantes reales que pueden llegar hasta el nivel freático.

Teniendo en cuenta la concentración de magnesio intercambiable como el porcentaje de magnesio intercambiable (PMgl) obtenido luego de la aplicación de la Vinaza60 en el suelo salino-sódico, es recomendable vigilar el comportamiento de este elemento durante el proceso de recuperación para no ocasionar problemas asociados a concentraciones elevadas de este elemento.

Se recomienda realizar otros estudios sobre varios tipos de suelos y estadísticamente significativos con el fin de encontrar una ecuación, de manera análoga a la que existe en el caso del uso de Yeso y Azufre Agrícola, por medio de la cual se pueda calcular la dosis de aplicación de Vinaza60 para recuperar suelos salino-sódicos de acuerdo a sus características particulares de concentración de sodio y salinidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BECKETT, P. Potassium-Calcium exchange equilibria in soils: specific adsorption. Sociedad americana de la ciencia del suelo, 1964.

BERNSTEIN, L. y PEARSON, G.A. Influence of exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. Soil Sci, 1956.

BLAKE, C.D. Fundamentals of modern agriculture. Sydney University press, 1988.

BOHN, H; McNEAL, B. y O'CONNOR, G. Soil chemistry. Wiley-Interscience, 1979.

CERDA, A; BINGAHAM, F.T. y HOFFMAN G.J. Interactive effect of salinity and phosphorous on sesame. Sociedad americana de la ciencia del suelo, 1977.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS E.U. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, traducción del manual 60. México: Limusa, 1980.

Enciclopedia Temática MEGA 2000, sección medio ambiente. Colombia: Norma, 2000.

EHLIG, C.F. effects of salinity in four varieties of table grops grown in sandculture. American Society of horticultural science, Vol 76. 1960.

FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. 1994.

GARCÍA OCAMPO, Álvaro. Problemática de los suelos salinos, su diagnóstico, recuperación y prácticas de manejo. Conferencia del Curso Internacional de drenaje y tierras agrícolas. Palmira, 1988.

\_\_\_\_\_. Sodic soils reclamation using vinasses. En: International symposium on salt-affected lagoon ecosystems. España, 1995.

\_\_\_\_\_; ECHEVERRY, F y PATIÑO, F. Manejo de suelos afectados por salinidad: el caso de la Hacienda Guadualito. En: Técnicaña No. 7. Volumen I, septiembre 1999.

GERALDSON, C.M. The control of black Herat of celery. Proceedings, american society of horticultural science, Vol 63.

GONZALEZ, A. Aproximación al origen de los suelos afectados por sales y/o sodio en el Valle del Cauca. En: Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1979.

GÓMEZ G, Carlos. Distribución del magnesio en los suelos del Valle del Cauca. En: Memorias del VI congreso colombiano de la asociación de técnicos de la caña de azúcar, Volumen 1. Técnicaña. 2003..

GÓMEZ, J; TENORIO, M y CRUZ, R. Universidad Nacional de Colombia, CVC. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Curso taller, Palmira. 1988.

GONZALEZ, A. Aproximación al origen de los suelos afectados por sales y/o sodio en el Valle del Cauca. En: Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1979..

GONZALEZ, A.; PLA, S. I. and GARCÍA O, A. Effect of high bicarbonate waters on the physical conditions of some Colombian soils. En: Book of Abstracts Remade Lands 2000, International Conference on the remediation and management of Degraded Lands. Fremantle, Western Australia, 30 November-2 December, 2000.

HOFFMAN, G.J. Guideleness for reclamation of salt-affected soils: En: Inter american salinity and water marragement technology conference. México: 1981.

\_\_\_\_\_. Sodic soils reclamation using vinasses. En: International symposium on salt-affected lagoon ecosystems. España, 1995.

GERALDSON, C.M. The control of black Herat of celery. Proceedings, american society of horticultural science, Vol 63.

GONZALEZ, A. Aproximación al origen de los suelos afectados por sales y/o sodio en el Valle del Cauca. En: Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1979.

GÓMEZ G, Carlos. Distribución del magnesio en los suelos del Valle del Cauca. En: Memorias del VI congreso colombiano de la asociación de técnicos de la caña de azúcar, Volumen 1. Tecnicaña. 2003..

GÓMEZ, J; TENORIO, M y CRUZ, R. Universidad Nacional de Colombia, CVC. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Curso taller, Palmira. 1988.

GONZALEZ, A. Aproximación al origen de los suelos afectados por sales y/o sodio en el Valle del Cauca. En: Manejo de suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1979..

GONZALEZ, A.; PLA, S. I. and GARCÍA O, A. Effect of high bicarbonate waters on the physical conditions of some Colombian soils. En: Book of Abstracts Remade Lands 2000, International Conference on the remediation and management of Degraded Lands. Fremantle, Western Australia, 30 November-2 December, 2000.

HOFFMAN, G.J. Guideleness for reclamation of salt-affected soils: En: Inter american salinity and water marragement technology conference. México: 1981.

IGAC, subdirección agrológica. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: 1990

KUNIN, R. Elements of ion exchange. U.S.A: Reinhold, 1960.

LÓPEZ, Yamel. Relaciones hídricas en el contenido agua-suelo-planta-atmósfera. Palmira: Dipal, 2000.

MAAS, E.V. y HOFFMAN G.J. Crop salt tolerance current assessment. Sociedad americana de ingeniería civil. 1977

MARANO, R. P; PILATTI M. A. y ORELLANA J. A. Estudio del efecto de la calidad del agua subterránea para riego, en el centro de santa fe, sobre propiedades del suelo mediante simulación física. Argentina: UNL.  
<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/congreso/9marano.pdf>

MARULANDA, E. Efecto de la concentración de electrolitos del agua de riego en la recuperación de suelos sódicos. Palmira: Tesis de grado Ph.D., Universidad Nacional, 1992.

MICHALSON, A.W. What's new, practical and important in ion exchange. En: Chemical Engineering, U.S.A. March 18, 1963.

MONTGOMERY, D.C. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica (Traducción al español de la versión en inglés Design and Analysis of Experiments). 2005.

MORALES, Angélica. Composición orgánica de la Vinaza concentrada. Cali: Tesis de maestría en Ingeniería Química, Universidad del Valle, 2001.

PATÍÑO, S. Evaluación económica de la aplicación de Vinaza concentrada en la fertilización de caña de azúcar. Cali: Tesis de grado, Universidad de San Buenaventura, 2003.

REEVE, R.C. y BOWER C.A. Use of high-salt waters as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. Sociedad americana de la ciencia del suelo, 1960.

\_\_\_\_\_ y DOERING, E.J. Field comparison of the high salt-water dilution reclaiming sodic soils. 6<sup>th</sup> international committee on irrigation and drainage. New Delhi, 1966.

ROHM AND HAAS COMPANY. Ion exchange with the Amberlite IR-120 exchange resins. U.S.A: 1974.



SÁNCHEZ, A.L y GARCÍA OCAMPO, A. Efecto del magnesio intercambiable sobre la producción, rendimiento y longevidad de la caña de azúcar. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 2000.

SHAINBERG, I. Y LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. U.S.A: Hilgardia, 1984.

\_\_\_\_\_, y OSTER, J.D. Quality of irrigation water. Publication No.2, Volcanic center. Israel. 1978.

TORRENTE T, Armando. Características físicas e hidrodinámicas en suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Río Cauca. Colombia: 2003. Tesis Ph.D.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture handbook No.436. Soil survey staff. Soil conservation service. USA: 1983.

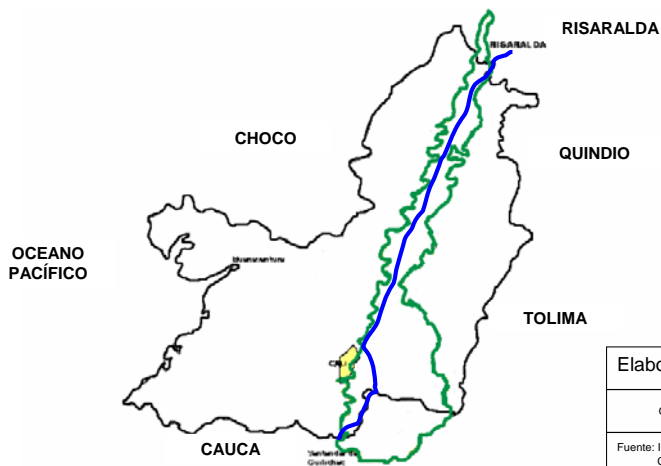
De internet:

[http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/0/LCG2110/lcg2110e\\_V.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/0/LCG2110/lcg2110e_V.pdf)  
[http://www.cenicana.org/clima/datos\\_diarios.php](http://www.cenicana.org/clima/datos_diarios.php) (Datos para la estación del CIAT, Palmira)  
<http://mafalda.univalle.edu.co/~aupec/AUPEC/octubre96/salinos.html>  
<http://www.minminas.gov.co/minminas/pagesweb.nsf/0/6ac90c0c61c39de005257005004e2edc>.  
<http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/degra.htm>  
[www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org).  
<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/congreso/9marano.pdf>  
[http://ecologia.unex.es/siamex/temasfisico/suelo/lossuelos\\_propiedades.htm](http://ecologia.unex.es/siamex/temasfisico/suelo/lossuelos_propiedades.htm)

**ANEXOS**

## **ANEXO A. ÁREA CULTIVABLE DEL VALLE DEL RÍO CAUCA**

## DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA




Área cultivable del Valle del Río Cauca : 311.704 ha

Elaborado por:

Octavio Trujillo

Fuente: IGAC y Cámara de Comercio de Cali

Área cultivable del Valle del Río Cauca 

## **ANEXO B. CRECIENTE GENERACIÓN DE VINAZA EN EL VALLE DEL CAUCA**

**Apartes del artículo publicado en la página de internet de El Tiempo:  
EL TIEMPO.COM/ECONOMÍA/OCTUBRE 29 DE 2005**

**En el valle geográfico del río Cauca son 5 los ingenios que se le midieron a construir destilerías**



**En la planta de Incauca la inversión inicial** era de 15 millones de dólares, pero la cifra subió a 25 millones de dólares por los planes de manejo ambiental exigidos por las autoridades. Carlos Ortega / EL TIEMPO

Lo hicieron con equipos importados desde la India. La primera, la de Incauca, fue inaugurada el viernes pasado.

Esa planta sacará 300.000 litros por día y una vez en producción, generará 40 empleos directos. Durante su construcción empleó 400 personas. La inversión inicial de 15 millones de dólares se elevó a 25 millones por los planes de manejo ambiental exigidos por las autoridades.

“El proceso de manejo de vinazas para transformarlas en material de compostaje y el manejo de los residuos sólidos de la fábrica, así como el de las aguas residuales, elevó el costo de la destilería”, señaló el vicepresidente de la fábrica, Eduardo Moreno.

La destilería del ingenio Providencia empezará a funcionar cuatro días después de que arranque la de Incauca. Producirá 250.000 litros diarios.

De 14 millones de dólares previstos, tuvieron que invertir 21 millones. Para la importación de equipos destinaron 7 millones; para obras civiles, 7 millones más, y el resto se fue en la parte ambiental.

Con las vinazas, residuo contaminante que deja la producción de alcohol, los ingenios producirán abonos. El superintendente general de fábrica de Providencia, Adolfo León Vivas, dice que junto con el del Incauca, sacarán 400 toneladas diarias de compost.

En el Ingenio Risaralda producirán 75.000 litros diarios y las primeras pruebas están programadas para noviembre. Aquí la inversión pasó de 8,5 millones de dólares a 13,3 millones, también por la parte ambiental.

La planta del ingenio Mayagüez tendrá capacidad para producir 250.000 litros de alcohol por día. Pero se hará en dos etapas, en la primera sacará 150.000 litros de alcohol deshidratado.

El director de la división de destilería del ingenio, Mauricio Guevara, dijo que en este montaje se han generado 1.200 empleos y una vez empiece a operar la planta se crearán 30 directos. Se tiene previsto comenzar a operar a finales de diciembre.

En Manuelita se contempla iniciar operaciones el 22 de diciembre. Aquí también se insistió en contar con una tecnología limpia por lo que la inversión inicial pasó de 14 millones de dólares a 20 millones. Producirá 250.000 litros por día.

Según el director de Hidrocarburos del Ministerio de Minas, Julio César Vera, hay otros proyectos que están en curso.

El del Meta a cargo de la firma colombiana Petrotesting ya tiene el cierre financiero.

El de la Hoya del Río Suárez entrará en el 2007, producirá 300.000 litros y también se encuentra bastante avanzado. Carlos Ardila Lülle, presidente de la organización Ardila Lülle aceptó la petición del presidente Álvaro Uribe. Invertirá en este proyecto donde pequeños cultivadores de caña panelera de Boyacá y Santander también quieren construir una planta a partir de 50.000 hectáreas cultivadas.

En Boyacá hay uno más que utilizará la remolacha y otro en Cesar a partir de yuca tendrá una capacidad de 200.000 litros por día.

Sin embargo Vera reconoce que por razones de logística y falta de las vías de transporte, podrán quedar unos sitios descubiertos especialmente en la zona de los antiguos territorios nacionales.

Frank Kanayed, presidente de la junta directiva de la petrolera Petrotesting, sostuvo que el tres de septiembre pasado firmaron el contrato con una firma italiana para realizar los planos de la ingeniería básica para la planta del Meta y cuya construcción, que demandará inversiones del orden de los 7 millones de dólares, comenzará en febrero del 2006.

El directivo calculó que a más tardar en noviembre del próximo año estarán sacando la primera producción de alcohol de 20.000 litros por día con los que abastecerá Bogotá y Villavicencio.

“Nosotros somos una empresa eminentemente petrolera, pero la idea de participar en este proyecto nació del compromiso social de la compañía para apoyar la sustitución de cultivos ilícitos y la generación de empleo para el país”, dijo Kanayed desde Brasil.

El cronograma del alcohol carburante

1. **El Congreso de la República** aprobó en el año 2001 la Ley 693 mediante la cual se dictaron las normas sobre el uso de alcohol carburante para reducir las emisiones contaminantes.
2. **Se expide la Ley 788** del 2002 en la que se estimula la producción de etanol mediante la exención del IVA y exoneraciones al impuesto global y a la sobretasa a la gasolina.
3. **El Ministerio de Minas** expidió las resoluciones 180836 de julio 25 de 2003 y la 181088 del 23 de agosto del 2005 para establecer la estructura de precios de la biogasolina.
4. **Se ordena la distribución** de gasolina oxigenada a partir del primero de noviembre del 2005 en las ciudades de Cali, Pereira, Armenia y Manizales. Resolución 181069 de 2005.
5. **A partir de enero del 2006** la mezcla de etanol y gasolina comenzará a venderse en Bogotá y gradualmente en el resto del país a medida que vayan entrando nuevas plantas.

**MAURICIO ROMERO**  
**Redactor de EL TIEMPO**

## ANEXO C. EJEMPLO DEL USO DE LA ECUACIÓN DEL EFECTO OSMÓTICO SOBRE LAS PLANTAS

Ejemplo para la Caña de Azúcar:

De la siguiente tabla se toman los valores correspondientes a los parámetros A y B:

TOLERANCIA A LAS SALES DE ALGUNOS CULTIVOS			
CULTIVO	NIVEL CRÍTICO DE SALINIDAD (A)	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN EL RENDIMIENTO POR UNIDAD DE AUMENTO EN LA SALINIDAD MÁS ALLÁ DEL NIVEL CRÍTICO (B)	CLASIFICACIÓN
Alfalfa	2	7,3	MS
Algodón	7,7	5,2	T
Arroz	3	12	MS
Brocoli	2,8	9,2	MS
Cebolla	1,2	16	MS
Caña de Azúcar	1,7	5,9	MS
Fresa	1	33	MS
Maíz Dulce	1,7	12	MS
Maíz Dulce	1,7	12	MS
Papa	1,7	12	MS
Remolacha Azucarera	7	5,9	T
Soya	5	20	MT

MS: Muy Susceptible   S: Susceptible   T: Tolerable   MT: Muy Tolerable

Tomado de Maas y Hoffman (1977)

A= 1,7 dS/m

B= 5,9 %

CEe= 3,12 dS/m de Análisis de suelo luego de la aplicación de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada en el suelo salino-sódico.

$$Y=100- [B(CEe-A)]$$

en donde,

**Y (%)** = Producción relativa del cultivo

**CEe (dS/m)** = Conductividad eléctrica del extracto de saturación

**B (%)** = Porcentaje de disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad por encima del nivel crítico A.



**A (dS/m)** = Valor crítico de salinidad o salinidad máxima permisible sin que ocurra reducción en los rendimientos.

De lo anterior se tiene que:

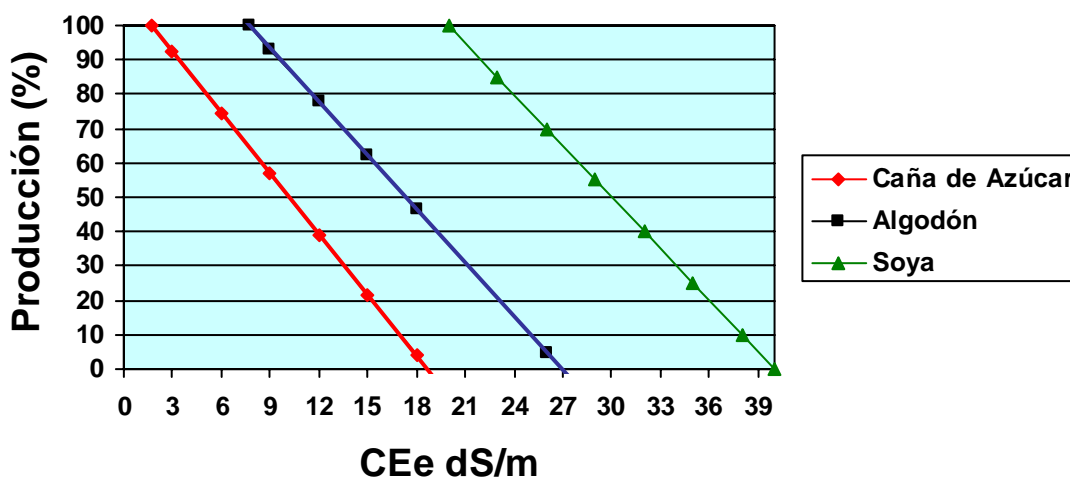
$$\begin{aligned}
 Y &= 100 - [5,9 (3,12 \text{ dS/m} - 1,7 \text{ dS/m})] \\
 Y &= 100 - (5,9 \times 1,42) \\
 Y &= 100 - 8,37 \\
 Y &= 91,62\%
 \end{aligned}$$

Este resultado indica que de cultivarse caña de azúcar en un terreno cuya salinidad esta representada en una CEE de 3,12 dS/m, tendría una producción máxima del 91,62% respecto del 100% que tendría al cultivarse en un terreno cuya CEE sea menor a 1,7 dS/m. Es decir, tomando como base una producción promedio de caña de 130 TCH\* en terrenos normales, la máxima producción esperada en el terreno salino sería de:

$$130 \text{ TCH} \times 0,9162 = 119,10 \text{ TCH}$$

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos haciendo uso de esta ecuación para tres cultivos diferentes y para varias conductividades eléctricas del suelo.

Figura anexo C. Representación del efecto osmótico en relación con la producción obtenida a diferentes salinidades del suelo para tres cultivos.



Fuente: El Autor, 2005.

\* TCH: Toneladas de caña por hectárea.

**ANEXO D. TOLERANCIA RELATIVA DE CIERTOS CULTIVOS A LA SATURACIÓN DE SODIO INTERCAMBIABLE EN EL SUELO.**

<b>SENSIBLES</b>	<b>SEMITOLERANTES</b>	<b>TOLERANTES</b>
<b>PSI &lt; 15</b>	<b>PSI = 15-40</b>	<b>PSI &gt; 40</b>
Aguacate	Arroz	Alfalfa
Frutales deciduos	Avena	Algodón
Nueces	Cebolla	Cebada
Habichuela	Centeno	Pasto Bermuda
Algodón (germinación)	Caña de Azúcar	Pasto Rhoades
Maíz	Espinaca	Pasto Pará
Arveja	Festuca alta	Remolacha
Toronja	Lechuga	Remolacha azucarera
Naranja	Ryegrass	
Tangelo	Sorgo	
Durazno	Trigo	
Frijol Mungo	Trébol Ladino	
Lenteja	Rábano	
Maní	Zanahoria	
Cauipí		
Rosas		
Crisantemo		
Ayers y Westcott, 1985. (Adaptado de Abrol, 1982 FAO-UNESCO, 1985 y Pearson, 1960)		

**ANEXO E. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS SUELOS DE ESTUDIO**  
DE ACUERDO A: SOIL TAXONOMY, A BASIC SYSTEM OF SOIL CLASSIFICATION FOR  
MAKING AND INTERPRETING SOIL SURVEYS. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.  
AGRICULTURE HANDBOOK No.436, 1983.

mostly on slopes on which water never stands. They have water continuously available to plants long enough during a growing season for crops that are somewhat tolerant of drought to mature, but their cracks are open for extended periods that come either once or twice a year. If the cracks open and close only once each year, the soil temperature regime usually is isothermic or warmer. These soils mostly supported a closed vegetation of grass or savanna, and the dark epipedon is considered normal. Evidences of an argillic horizon at some depth suggest that an ancient soil over time developed such fine texture that a Vertisol formed in it.

Cracks that are open less than 150 days a year, cumulative, in most years are considered to indicate a more humid environment than that of Typic Chromusterts and are the basis for definition of udic subgroups.

**Entic Chromusterts.**—These soils are like Typic Chromusterts except the upper horizons that have a color value, moist, less than 3.5 and a color value, dry, less than 5.5 either are absent or are <30 cm thick in more than half of each pedon. These soils are rare in the United States.

**Paleustollic Chromusterts.**—These soils are like Typic Chromusterts except they have blocky or prismatic structure within 1 m of the soil surface, and there are clay skins on ped faces that have a color value lower than that in the interiors of the peds. In addition, their surface horizons that have a color value, moist, less than 3.5 and a color value, dry, less than 5.5 either may be absent or may be <30 cm thick in more than half of each pedon. These soils are rare in the United States. Their slopes are gentle, and most of the soils are used for grazing. These soils are thought to be former Paleustolls that through time developed such fine texture that a Vertisol formed in the Paleustoll.

**Udic Chromusterts.**—These soils are like Typic Chromusterts except that the cracks are open from 90 to 150 days, cumulative, in most years or the mean annual soil temperature is lower than 15° C, or both. These soils are extensive in the southern Great Plains and most of them are cultivated. They are intergrades between Chromuderts and Chromusterts.

**Udorthentic Chromusterts.**—These soils are like Typic Chromusterts except that the cracks are open from 90 to 150 days, cumulative, during most years or the mean annual soil temperature is lower than 15° C, or both. Their upper horizons that have a color value, moist, less than 3.5 and a color value, dry, less than 5.5 either are absent or are <30 cm thick in more than half of each pedon. These soils are not extensive in the United States. Most of them are cultivated. They are intergrades between Udorthents and Chromusterts.

## Pellusterts

These are the Usterts that are dominantly gray to black in all subhorizons throughout the upper 30 cm in more than half of each pedon. The low chroma, except for some mottles of high chroma, generally extends to a considerable depth. The upper horizons may range from black to gray. Most of these soils are level or in

depressions. They were mostly considered Rendzina soils in the 1938 classification and Grumusols after 1951.

### Definition

Pellusterts are the Usterts that have a chroma, moist, less than 1.5 dominant in the matrix of all subhorizons in the upper 30 cm in more than half of each pedon.

Pedon 127 is a Udic Pellustert because the cracks are open less than 150 cumulative days in most years. It is otherwise like the Typic Pellusterts.

### Distinctions between Typic Pellusterts and other subgroups

Typic Pellusterts are the Pellusterts that

- Have a color value, moist, less than 3.5 and a value, dry, less than 5.5 throughout the upper 30 cm in more than half of each pedon;
- Have cracks that remain open for more than 150 cumulative days during each year and have a mean annual soil temperature that is 15° C or higher; and
- Do not have within 1 m of the soil surface prismatic or blocky structure accompanied by clay skins on ped faces that have a color value lower than that in the matrix.

*Entic Pellusterts* are like Typic Pellusterts except for a.

*Udic Pellusterts* are like Typic Pellusterts except for b.

*Udorthentic Pellusterts* are like Typic Pellusterts except for a and b.

### Description of subgroups

**Typic Pellusterts.**—The central concept or typical subgroup of Pellusterts is fixed on soils that are nearly level except for their gligal microrelief. The poly-pedons are virtually flat. Water stands in the micro-depressions during rainy seasons. Many of the soils are in closed depressions or on gentle concave slopes. They have water that is continuously available to plants long enough to mature the crops that are somewhat tolerant of drought, but their cracks are open for extended periods that come either once or twice each year. If the cracks open and close only once each year, the soil temperature regime usually is isothermic or warmer. These soils mostly supported a closed vegetation of grass or savanna, and the dark epipedon is considered normal. Evidences of an argillic horizon at some depth suggest that an ancient soil through time developed such fine texture that a Vertisol formed in it.

Cracks that are open less than 150 days, cumulative, in most years are considered to indicate a more humid environment than that of Typic Pellusterts and are the basis for definition of udic subgroups.

The Typic Pellusterts are not the most common Pellusterts in the United States, but they furnish a basis for the definition of other subgroups. They are moderately extensive soils in parts of Texas and Puerto Rico. Most of them are cultivated, and some are irrigated.

**Entic Pellusterts.**—These soils (plate 12C) are like Typic Pellusterts except the upper horizons that have a color value, moist, less than 3.5 and a color value, dry, less than 5.5 either are absent or are <30 cm thick in more than half of each pedon. They are not extensive in the United States except in parts of Texas. Some of them are cultivated and many are used for grazing.

**Udic Pellusterts.**—These soils are like Typic Pellusterts except that the cracks are open from 90 to 150 days, cumulative, in most years or the mean annual soil temperature is lower than 15° C, or both. These soils are intergrades between Pelluderts and Pellusterts. They are extensive in the southern Great Plains in the United States, and most of them are cultivated.

**Udorthentic Pellusterts.**—Soils in this subgroup are like Typic Pellusterts except that the cracks are open from 90 to 150 days, cumulative, in most years or the mean annual soil temperature is lower than 15° C, or both; the upper horizons that have a color value, moist, less than 3.5 and a color value, dry, less than 5.5 either are absent or are <30 cm thick in more than half of each pedon. These soils are not extensive in the United States. Most of them are nearly level, but some have moderate slopes. Many are cultivated and the others are used for grazing.

## Xererts

Xererts (plate 12D) are the Vertisols, most of them in Mediterranean climates, that have cool wet winters and warm, dry summers. They have cracks that close and open regularly once each year and remain open for more than 2 of the 3 months following the summer solstice in more than 7 out of 10 years. Their temperature regime is thermic or mesic but not isothermic or isomesic. They are associated geographically with Xeralfs and Xerolls for the most part. Xererts are moderately extensive in parts of California. If not irrigated, they are used for small grains and grazing. Under irrigation they may be used for a variety of crops. Most Xererts in the United States had, before they were cultivated, a vegetation of annual grasses and forbs and a few woody shrubs in some places.

## Definition

Xererts are the Vertisols that have cracks that open and close once each year and remain open for 60 consecutive days or more during the 90 days after the summer solstice in more than 7 out of 10 years but are closed for 60 consecutive days or more during the 90 days following the winter solstice, and have a mean annual soil temperature lower than 22° C and mean summer and mean winter soil temperatures at a depth of 50 cm that differ by 5° C or more.

## Key to great groups

DAA. Xererts that have a dominant chroma, moist, of 1.5 or more in the matrix of some subhorizon in the upper 90 cm in more than half of each pedon.

Chromoxererts, p. 381

DAB. Other Xererts.

Pelloxererts, p. 382

## Chromoxererts

These are Xererts (plate 12D) that have a readily visible color (in the technical sense, that is, other than black, gray, or white) in the matrix of some or all subhorizons in the upper 90 cm and present in more than half of each pedon. Commonly, the horizons that have chroma of 2 or more extend to a depth >30 cm. The Chromoxererts are moderately extensive on gentle to moderate slopes in California. They are rare elsewhere in the United States. They were considered Grumusols in the 1951 modification of the 1938 classification but had no clear place in the original classification.

## Definition

Chromoxererts are the Xererts that have a subhorizon in the upper 90 cm that has a dominant chroma of 1.5 or more in the matrix and is present in more than half of each pedon.

Pedon 128 is an example of the central concept or typic subgroup of Chromoxererts.

## Distinctions between Typic Chromoxererts and other subgroups

Typic Chromoxererts are the Chromoxererts that

- Do not have distinct or prominent mottles (these terms refer to contrast, not size) within 50 cm of the soil surface in more than half of each pedon;
- Have a color value, moist, less than 3.5 and a value, dry, less than 5.5 throughout the upper soil to a depth of 30 cm in more than half of each pedon; and
- Do not have, within 1 m of the soil surface, prismatic or blocky structure accompanied by clay skins on ped faces that have a color value lower than that in the matrix.

*Aquic Chromoxererts* are like Typic Chromoxererts except for a.

*Entic Chromoxererts* are like Typic Chromoxererts except for b.

*Palexerollic Chromoxererts* are like Typic Chromoxererts except for c.

## Description of subgroups

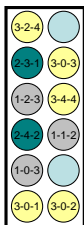
**Typic Chromoxererts.**—The central concept or typic subgroup of Chromoxererts is fixed on soils that are mostly on slopes on which water never stands. Most of them supported a closed vegetation of grass, and the dark epipedon is considered normal.

Mottles of moderate or high contrast are a characteristic shared with the wetter Xererts and are the basis for definition of aquic subgroups. Evidences of an argillie horizon at some depth suggest that an ancient soil through time developed such fine texture that the Vertisol formed in it.

The Typic Chromoxererts are extensive in California. They occur in the United States mostly in states bordering the Pacific Ocean. Their slopes range from gentle to strong. Where slopes are suitable, many of these soils are used to produce small grains and a few are irrigated. Many are used for grazing.

**Aquic Chromoxererts.**—Soils in this subgroup have distinct or prominent mottles within 50 cm of the soil

## **ANEXO F. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS COLUMNAS EXPERIMENTALES**



Vista en planta organizacion aleatoria de unidades experimentales (columnas)

Elaboró: Carlos Andrés Rojas

Convenciones :



Suelo-Dosis-Repetición

Columnas para medición de evaporación

SIN ESCALA

**ANEXO G. RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO CARACTERÍSTICAS  
FINALES DE LOS SUELOS.**



Nombre: **Suconmiles**  
Finca: **Suconmiles**  
Tel / Fax: **Ing. Carlos Rojas.**  
Vereda: **Ing. Carlos Rojas.**  
Municipio: **Palmira**  
Dpto: **Valle del Cauca**

DD **20** MM **1** AA **2005**  
Fecha entrada: **7**  
Fecha de salida: **2**  
Material: **Suelos** ☒ **X** **Aguas** ☐  
Tipo de análisis: **Densidad Real y Aparente.**

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
M # 1	077		1:2.5																		
M # 2	078																				
M # 3	079																				

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	Sat <sub>H<sub>2</sub>O</sub> %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	D.R g/cc	Ca+MgK a.s.n.m.	Ca/Mg
		A	L	Ar																
M # 1	077																			
M # 2	078																			
M # 3	079																			

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido mínimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligera acidez. D: Moderadamente ácido. E: Muy ácido. F: Fuertemente ácido.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo		Nutrientes puros en Kg/ha			
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
M # 1	077	No menciona					
M # 2	078	No menciona					
M # 3	079	No menciona					

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

### Metodos de análisis

Acidez Interoambr: KCl 1N; M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado B y S: Fosfato monocalcio

Vo Bo Director



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Hacienda La Cabaña  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: Palmira  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
11 11 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☐ Aguas ☒  
Tipo de análisis: Completo + Boro-Hierro

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg Cmol <sup>+</sup> /kg	K	Na	ClCe	B	Cu	Fe mg/L	Mn	Zn
Pozo	040		12.5 7.5 A														0.02 F		0.4 F		

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	me/L			Cl <sup>-</sup>	Dureza <small>ppm de CaCO3</small>	TDS mg/L	CO3 <small>reacción</small>	a.s.n.m. (m)	Ca/Mg
		A	L	Ar										HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>							
Pozo	040				0,38		2,90	0,77	0,10	1,96	1,45 F		0,00	4,60 Ligera	0,41	0,40	183,5 Semiblanda	213				
									</													

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido inferior o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

040: Agua con pH alto; con restricción "ligera" por pH como peligro potencial de ocusión en sistemas de riego por goteo; sin restricción por concentración de sales solubles (C.E); baja en contenido de sodio soluble (RAS) por lo cual no ofrece peligro de causar problemas en los suelos y/o toxicidad en plantas susceptibles a esta condición; sin restricción aparente por concentración de SO<sub>4</sub>; sin restricción por sólidos solubles disueltos (TDS); por dureza: "Semiblanda" por lo cual no necesita acondicionarse si va a ser utilizada como vehículo de aplicación de agroquímicos; con restricción "ligera" por concentración de HCO<sub>3</sub>; sin ninguna restricción por concentración de Cloruros para utilización en equipos por aspersión y gravedad; sin restricción por concentración de Boro. Valor de Hierro soluble por debajo del límite permisible (< 5.0 mg/L) para plantas en suelos bien aireados.

### Metodos de análisis

Acidez Interactivo: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH<sub>4</sub> 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bo Director

Criterios para Interpretación: FAO, 1985; ICA, 1989.



Nombre: Sucremiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos  
Tipo de análisis: ☒ X ☐ Aguas  
Completo + Salinidad Parcel  
Textura por Bouyoucos

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Cmol <sup>(+)</sup> /Kg				B	Cu	mg/Kg		
													Mg	K	Na	ClCe			Fe	Mn	Zn
Suelo 1	688		8.1		2.31		224.8	793.0				15.18	3.60	3.49	12.70	34.97	0.74	4.4	10.9	40.0	5.1
1			E		C		E	E				A	B	E	E		A	A	D	A	A

**SOLUBLES**

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	Clor	Ca/MgX	a.s.n.m.	Ca/Mg
Suelo 1	688	A 17.65 L 51.46 Ar 30.88	10.28	65	8.75	2.16	0.08	143	61.23	37.685									
1		F Ar.L	E					E	E	E									

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN**

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido inferior a valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. E: Muy ácido. F: Fuertemente ácido.

**RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION**

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Suelo 1	688	No menciona					
1							

**OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

Cl/Cr:real: Extraída con Acetato de Sodio 11M, pH: 8.2  
688: Condición Salino - Sódica de la muestra analizada.  
Valores excesivos de Fósforo asimilable y azufre disponible.

**Metodos de análisis**

Acidez interior: KCl 1N; M.O:  
Walkley & Black; P: Bray II; Ca,  
Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monopotasio

Vo Bo Director

*[Firma]*



Nombre: Sucronilles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salmidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	Ci	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
1-0-1	689		9.3									13.71	5.39	3.66	15.65	39.41						
2			E									A	A	E	E							
1-0-2	691		9.3									12.61	4.85	3.41	14.12	34.99						
3			E									A	B	E	E							
1-0-3	692		9.3									12.67	4.37	3.88	16.41	37.33						
4			E									A	B	E	E							
1-0-4	693		9.3									15.71	5.93	3.65	16.29	41.58						
5			E									A	A	E	E							

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E ds/m	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl	Dureza	Clor	Ce+Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
1-0-1	689		4.16	65	4.38	1.66	1.38	47.69	27.44	41.733						37.50	5.22	1000	2.54
2			E						E	E									
1-0-2	691		6.06	65	5.93	2.18	1.28	74.93	37.21	41.90						33.70	5.12	1000	2.60
3			E						E	E									
1-0-3	692		8.45	65	5.00	1.96	1.76	109.00	58.43	54.90						29.890	4.39	1000	2.90
4			E						E	E									
1-0-4	693		4.07	65	4.69	1.04	1.62	40.88	24.15	39.966						40.76	5.93	1000	2.65
5			E						A	E									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "suficiente" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Observaciones y recomendaciones	Metodos de análisis
1-0-1	689	No menciona							Cl/Creil: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2	Acidez Intercamb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca: Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7
2		No menciona							689-694-692-693: Condición Salino - Sodica de las muestras analizadas.	Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado
1-0-2	691	No menciona								B y S: Fosfato monocalcico
3		No menciona								
1-0-3	692	No menciona								
4		No menciona								
1-0-4	693	No menciona								
5		No menciona								

Vo Bo Director



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
Fecha entrada: 20 10 2005  
Fecha de salida: 8 11 2005  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH 1:2.5	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1-1-1	694		9.1									12.88	7.09	7.30	12.84	40.11					
6			E									A	A	E	E						
1-1-2	695		9.0									14.34	7.89	4.19	11.40	37.82					
7			E									A	A	E	E						
1-1-3	696		8.2									25.65	16.84	1.88	12.29	56.66					
8			E									E	E	A	E						
1-1-4	697		8.5									17.01	9.73	4.86	6.66	38.26					
9			E									A	A	E	E						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza según OGC 28	ClCr Cmol/l-y/kg	Cat+Mg/K a.s.n.m.	Ca/Mg	
		A	L	Ar																	
1-1-1	694				4.56	65	5.63	2.37	3.04	40.86	20.43	42.958						29.89	2.74	1000	1.82
6					E						A	E									
1-1-2	695				2.62	65	6.25	1.64	0.90	32.16	16.19	43.685						26.09	5.31	1000	1.82
7					E						B	E									
1-1-3	696				5.39	60	14.06	10.92	0.94	40.88	11.57	32.3						38.05	22.60	1000	1.52
8					E						C	E									
1-1-4	697				3.41	65	7.50	4.03	2.08	39.79	16.57	30.635						21.74	5.50	1000	1.75
9					E						B	E									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido nitrógeno o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligera acidez. D: Moderada acidez. E: Fuerte acidez. F: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

### Metodos de análisis

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Observaciones
1-1-1	694	No menciona							Cl/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2
6									694-695-696-697: Condición Salino - Sodica de las muestras analizadas.
1-1-2	695	No menciona							
7									
1-1-3	696	No menciona							
8									
1-1-4	697	No menciona							
9									

Acidez intercambio: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH<sub>4</sub> 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bº-Director

*[Handwritten signature]*



Nombre: Suconmiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
Fecha entrada: 20 10 2005  
Fecha de salida: 8 11 2005  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH 1:2.5	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
1-2-1	698		8.0									17.44	10.54	6.35	1.86	36.19					
10			A									A	A	E	E						
1-2-2	699		8.1									17.34	9.72	5.90	2.31	35.27					
11			E									A	A	E	E						
1-2-3	700		7.8									16.57	8.27	6.70	0.54	32.08					
12			A									A	A	E	D						
1-2-4	701		7.8									16.92	9.22	7.64	0.48	34.26					
13			A									A	A	E	F						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	Dureza	CICr	Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup>	a.s.n.m.	Ca/Mg
		A	L	Ar																	
1-2-1	698				3.03	65	16.25	10.92	6.08	13.63	3.70	6.22						29.89	4.41	1000	1.65
10					E						F	D									
1-2-2	699				3.65	65	17.81	11.96	5.28	22.07	5.72	6.97						33.15	4.59	1000	1.78
11					E						D	D									
1-2-3	700				2.96	65	18.13	11.14	8.32	4.08	1.07	1.87						28.81	3.71	1000	2.00
12					E						F	F									
1-2-4	701				2.85	65	16.56	11.96	9.28	4.36	1.15	1.64						29.35	3.42	1000	1.84
13					E						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligero ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha					CIC/real: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2 698-699-700-701: Condiciones Salinas de las muestras analizadas.
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
1-2-1	698	No menciona						
10								
1-2-2	699	No menciona						
11								
1-2-3	700	No menciona						
12								
1-2-4	701	No menciona						
13								

Acidez Interchange: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olean modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bo Director

Vo Bo Director

*[Firma]*



Nombre: Suicromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	NºLab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
1-3-1	702	7.7	1:2.5									16.69	7.82	10.27	0.50	35.28					
14		A										A	A	E	F						
1-3-2	703	7.8										18.05	8.68	9.26	0.43	36.42					
15		A										A	A	E	F						
1-3-3	704	7.8										15.95	8.73	8.65	0.62	33.95					
16		A										A	A	E	C						
1-3-4	705	7.9										18.00	8.14	10.13	0.50	36.77					
17		A										A	A	E	F						

### SOLUBLES

Identif	NºLab	Textura %			C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl	Dureza	ClCr	Ca+Mg/K	B.S.N.M. (m)	Ca/Mg
1-3-1	702	A	L	Ar	3.21	65	16.25	10.40	14.72	3.27	0.90	1.64						30.44	2.39	1000	2.13
14					E						F	F									
1-3-2	703				3.25	65	18.44	12.48	11.36	4.63	1.18	1.47						29.35	2.89	1000	2.08
15					E						F	F									
1-3-3	704				3.65	65	20.00	15.60	12.96	8.72	2.07	2.15						28.81	2.85	1000	1.83
16					E						F	F									
1-3-4	705				3.04	65	15.31	9.36	13.28	3.54	1.01	1.84						27.18	2.58	1000	2.21
17					E						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido mínimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. E: Muy ácido. F: Fuertemente ácido.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	NºLab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha					Cl/Creal: Extrahida con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2 702-703-704-705: Condición Salina de los suelos analizados.
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
1-3-1	702	No menciona						
14								
1-3-2	703	No menciona						
15								
1-3-3	704	No menciona						
16								
1-3-4	705	No menciona						
17								

Acidez interaromb: KCl 1N; M. O.  
Waltley & Black; P: Bray II; Ca,  
Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bq Director

Aidez Intercomb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olesen modificado B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bc Director



Laboratorio de Suelos C.I. Palmira - 40 años  
Programa Nacional de Recursos Biotécnicos, Regional 5

Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		1:2.5			%		ppm		%													
1-4-1	706	8.0	A									15.82	6.79	12.77	0.48		35.86					
18												A	A	E	F							
1-4-2	707	7.7	A									17.19	7.68	10.41	0.59		35.87					
19												A	A	E	D							
1-4-3	708	7.8	A									16.32	7.65	11.52	0.42		35.91					
20												A	A	E	F							
1-4-4	709	7.8	A									16.26	7.50	6.75	0.43		30.94					
21												A	A	E	F							

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	satH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza <small>gr/60 CaCO3</small>	Cl/Cr <small>Cmol(°)/kg</small>	Ca+Mg/K <small>a.s.n.m.</small>	Ca/Mg <small>(m)</small>	
		A	L	Ar																	
1-4-1	706				3.67	65	18.13	10.92	22.72	3.27	0.86	1.77						27.18	1.77	1000	2.33
18					E						F	F									
1-4-2	707				4.92	65	31.56	20.28	20.48	4.36	0.86	2.09						28.26	2.39	1000	2.24
19					E						F	F									
1-4-3	708				3.95	65	21.88	13.00	18.88	3.54	0.85	1.3798						30.44	2.08	1000	2.13
20					E						F	F									
1-4-4	709				3.98	65	19.06	11.44	23.04	4.91	1.26	1.61						26.63	3.52	1000	2.17
21					E						F	F									

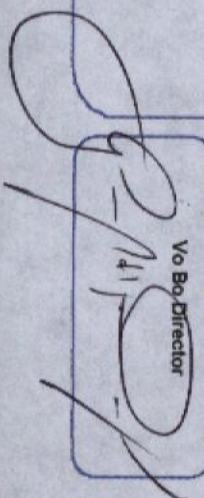
### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido mínimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	Metodos de análisis
1-4-1	706	No menciona						Clor: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2	Acidez Intencional: KCl 1N, M.O.; Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: AcOH 1N pH: 7
18									Cu, Fe, Zn, Mn: Orsen modificado
1-4-2	707	No menciona							B y S: Fosfato monocalcico
19									
1-4-3	708	No menciona							
20									
1-4-4	709	No menciona							
21									

Vo Bo Director





Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
Suelo 2	712		7.5		3.98 A		29.9 B	624.0 E				30.53 E	20.87 E	0.72 A	0.83 A	52.95	0.34 B	12.7 A	20.7 D	14.3 A	1.9 C
24																					

**SOLUBLES**

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	Sath <sub>2</sub> %	Ca	Mg	K Cmol <sup>+</sup> /Lt	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cmol <sup>+</sup> /Lt	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza test de CaCO <sub>3</sub>	CICr Cmol <sup>+</sup> /Kg	Ce+Mg/K	B.S.N.M. (m)	Ca/Mg
Suelo 2	712	A	L	Ar	2.97 E	75	22.81	15.06	0.34	13.63	3.13 F	1.62 F						51.09	71.4	1000	1.46
24			Ar																		

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION**

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido inferior a valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

**RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION**

**OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha				MgO
Suelo 2	712	No menciona	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	
24							

CICreat: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
712: Condición Salina del suelo analizado.  
Valor excesivo de azufre disponible.

**Metodos de análisis**

Acidez InterCamb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH<sub>4</sub> 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo. Po. Director



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
2-0-1	713		7.7									31.43	19.62	0.93	1.10	53.08					
25			A									E	E	A	E						
2-0-2	714		7.9									31.85	21.25	0.68	1.10	54.88					
26			A									E	E	A	E						
2-0-3	715		7.8									31.24	21.43	0.72	1.09	54.48					
27			A									E	E	A	A						
2-0-4	716		7.8									30.47	19.40	0.70	1.00	51.57					
28			A									E	E	A	A						

### SOLUBILES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Dureza	Clor	Ca+Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
		A	L	Ar																	
2-0-1	713				1.47	65	8.75	5.72	0.30	7.35	2.73	2.04						53.81	54.9	1000	1.60
25					B						F	F									
2-0-2	714				2.70	60	19.06	13.00	0.85	12.26	3.06	2.15						51.09	78.1	1000	1.50
26					E						F	F									
2-0-3	715				1.34	60	8.44	5.2	0.19	5.72	2.19	2.11						51.63	73.2	1000	1.48
27					B						F	F									
2-0-4	716				1.18	60	8.75	5.72	0.23	4.09	1.52	1.79						55.98	71.2	1000	1.57
28					B						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido inferior o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	NºLab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha					Cl/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
2-0-1 25	713	No menciona						714: Condición salina del suelo analizados.
2-0-2 26	714	No menciona						713-715-716: Condición normal de los suelos analizados.
2-0-3 27	715	No menciona						
2-0-4 28	716	No menciona						

Acidez infercamb: KCl 1N; M.O:  
Walkley & Black; P: Bray II; Ca,  
Mg, K y Na: AcONH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olean modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vg Bq Director

Vg Bq Director



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcel

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	B	Cu	Fe	Mn	Zn
2-1-1	717	12.5	6.8																		
29			B																		
2-1-2	718		7.6																		
30			A																		
2-1-3	719		7.6																		
31			A																		
2-1-4	721		7.7																		
32			A																		

**SOLUBLES**

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E ds/m	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	CICR	Ca-Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
2-1-1	717	A	2.61	65	20.00	13.52	1.28	5.18	1.27	1.67									
29			E						F	F									
2-1-2	718		**	**	**	**	**	**	**	**									
30																			
2-1-3	719		2.45	65	20.94	16.64	0.90	7.90	1.82	1.40									
31			E						F	F									
2-1-4	721		2.43	65	15.00	12.98	0.68	9.81	2.62	2.18									
32			E						F	F									

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION**

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido nulo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

**RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION**

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
2-1-1	717	No menciona					
29							
2-1-2	718	No menciona					
30							
2-1-3	719	No menciona					
31							
2-1-4	721	No menciona					
32							

**OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

CICreal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
718: (\*) Muestra insuficiente para realizar las determinaciones a nivel de la parte soluble.  
717-718-721: Condición Salina de los suelos analizados

**Metodos de analisis**

Acidez Intercomb: KCl 1N, M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olen modificado B y S: Fosfato monocalcico

Yo Bo Director

*[Handwritten signature]*



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida: 8 11 2005  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O. %	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			1:2.5				ppm		%			Cmol(+) / Kg					mg / Kg				
2-2-1	722		7.5									35.88	21.67	0.63	1.65	59.83					
33			A									E	E	A	E						
2-2-2	723		7.7									37.25	24.50	1.09	2.75	65.59					
34			A									E	E	A	E						
2-2-3	724		7.8									38.25	22.25	0.57	4.50	65.57					
35			A									E	E	A	E						
2-2-2	725		7.7									37.78	23.84	0.68	2.15	64.45					
36			A									E	E	A	E						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza <small>perm en CaCO<sub>3</sub></small>	CICr <small>Cmol/l+Y/Kg</small>	Ca+Mg/K <small>a.s.n.m.</small>	Ca/Mg <small>(m)</small>		
		A	L	Ar																		
2-2-1 33	722				4.13	65	32.5	28.08	0.54	16.89	3.07	2.79						59.24	91.35	1000	1.66	
2-2-2 34	723				E	**	**	**	**	**	**	F	F						63.59	56.65	1000	1.52
2-2-3 35	724				**	**	**	**	**	**	**	**	**						65.22	106.14	1000	1.72
2-2-2 36	725				3.84	65	26.56	25.48	0.46	16.89	3.31	4.50						47.83	90.62	1000	1.58	
					E						F	F										

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor deficiente. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo		Nutrientes puros en Kg/ha				
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
2-2-1	722	No menciona						
33								
2-2-2	723	No menciona						
34								
2-2-3	724	No menciona						
35								
2-2-2	725	No menciona						
36								

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Ci/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
723-724: (\*) Muestra insuficiente para realizar las determinaciones a nivel de la parte soluble.  
722-725: Condición Salina de los suelos analizados

Metodos de análisis  
Acidez intercarb: KCl 1N; M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Oशन modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vo Bo Director

*[Handwritten signature]*



Nombre: Suetromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

Salinidad Parcial

[illegible][illegible]

Interpretación de los resultados: A. Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B. Contenido "suficiente" o valor adecuado. C. Contenido "moderado" o valor reducido. D. Contenido "pobre" o valor deficiente. E. Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F. Contenido nulo o valor "muy poco". Para pH: A. Alcalino. B. Neutro. C. Ligeramente ácido. D. Moderadamente ácido. E. Muy ácido. F. Fuertemente ácido.

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION						OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES		
Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha					
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO		MgO
2-2-4	726	No menciona						Cl/Creai: Extrada con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2 726: Condición Salina del suelo Analizado.
37								

**Metodos de análisis**

Acidez Intercambi: KCl 1N; M.O:  
 Walkley & Black; P: Bray II; Ca,  
 Mg, K y Na: AesonH4 1N pH:7  
 Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
 B y S: Fosfato monocalcico

**Vo Bo Director**



Nombre: Sucomilés - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD 20 MM 10 AA 2005  
Fecha entrada: 20  
Fecha de salida: 8  
Material: Suelos ☒ Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	Cice	B	Cu	Fe mg/Kg	Mn	Zn
2-3-1	727		7.2									34.23	21.74	1.75	1.77	59.49						
38			B									E	E	A	E							
2-3-2	728		7.4									37.00	18.39	2.54	0.91	58.84						
39			A									E	E	E	A							
2-3-3	729		7.4									35.67	17.92	4.16	1.01	58.76						
40			A									E	E	E	A							
2-3-4	730		7.6									33.17	23.25	1.20	1.34	58.96						
41			A									E	E	A	E							

**SOLUBLES**

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E dS/m	SalH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	CICr	Ca+Mg/Kg	a.s.n.m. (m)	Ca/Kg
2-3-1	727	A	5.03	75	46.88	40.04	2.72	19.62	2.98	3.22					ref de CO <sub>3</sub>	54.89	31.98	1000	1.57
38			E						F	F									
2-3-2	728		3.96	85	44.06	30.68	2.4	12.8	2.09	1.46						62.50	21.81	1000	2.01
39			E						F	F									
2-3-3	729		4.00	80	38.43	29.12	4.16	12.26	2.11	1.80						55.98	12.88	1000	1.99
40			E						F	F									
2-3-4	730		4.44	80	38.43	37.44	1.12	20.71	3.36	2.35						57.07	47.02	1000	1.43
41			E						F	F									

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN**

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido inferior o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligero ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

**RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION**

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha	Cil/Creal: Extrada con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	Metodos de análisis
2-3-1	727	No menciona	N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO MgO	727-728-729-730: Condición Salina de los suelos analizados.		Acidez Intercamb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH <sub>4</sub> 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olean modificado B y S: Fosfato monocalcio
38		No menciona				
2-3-2	728	No menciona				
39		No menciona				
2-3-3	729	No menciona				
40		No menciona				
2-3-4	730	No menciona				
41		No menciona				

Vo Bo Director



Nombre: Sucronilles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N total	M.O %	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			1:2.5		%		ppm		%				mmol/l/kg						mg/kg		
2-4-1	731		7.5									33.64	19.72	3.73	1.33	58.42					
42			A									E	E	E	E						
2-4-2	732		7.4									34.10	22.89	1.71	1.91	60.61					
43			A									E	E	A	E						
2-4-3	733		7.2									36.54	15.70	5.39	0.59	58.22					
44			B									E	E	E	D						
2-4-4	734		7.4									33.20	21.08	5.80	1.49	61.57					
45			A									E	E	E	E						

### SOLUBILES

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	ClCr	Ca+Mg/K	B.S.N.M.L.	Ca/Mg
		A L Ar	ds/m	%			Cmol/lit				Cmol/lit		Cmol/lit		per de CaCO <sub>3</sub>	Cmol y/Kg		(m)	
2-4-1	731		5.17	70	44.36	43.16	3.84	20.16	3.05	2.42						54.89	14.31	1000	1.71
42			E						F	F									
2-4-2	732		6.01	70	45.00	51.48	1.76	26.16	3.77	3.03						63.05	33.33	1000	1.49
43			E						F	F									
2-4-3	733		3.80	70	41.56	27.56	5.44	10.08	1.71	1.12						52.72	9.69	1000	2.33
44			E						F	F									
2-4-4	734		5.43	70	43.43	41.60	6.40	21.52	3.30	2.43						61.42	9.36	1000	1.57
45			E						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" a alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido infimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
2-4-1	731	No menciona					
42							
2-4-2	732	No menciona					
43							
2-4-3	733	No menciona					
44							
2-4-4	734	No menciona					
45							

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Cl/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
731-732-733-734: Condición Salina de los suelos analizados.

### Metodos de análisis

Acidez intercambi: KCl 1N; M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado B y S: Fosfato monocalcio

Vo Bo Director

*[Firma]*



Nombre: Suoromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos  
Tipo de análisis: ☒ Suelos ☐ Aguas  
Salinidad: ☐ Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O. %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			1:2.5																		
Suelo 3	735		8.0		2.96		59.5	353.6				31.57	20.10	1.18	3.65	56.50	0.29	7.0	6.8	9.6	1.7
46			A		B		A	E				E	E	A	E		C	A	D	A	C

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	CICr	Ca+Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
		A	L	Ar																	
Suelo 3	735	6.11	67.81	26.08	2.30	75	15.63	11.96	0.69	17.98	4.84	6.40						57.07	43.79	1000	1.57
46			F.L		E																

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o a lo más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligera mente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy ácido.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha				
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Suelo 3	735	No menciona					
46							

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

CICreal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
735: Condición Salina del Suelo analizado.  
Valor excesivo de Azufre disponible

### Metodos de análisis

Acidez titulable: KCl 1N, M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monobásico

Yo Bq Director

*[Firma]*



Nombre: Sucromilles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	ClCe	B	Cu	Fe	Mn	Zn
3-0-1	736		7.9									32.49	21.64	1.12	1.46	56.71					
47			A									E	E	A	E						
3-0-2	737		8.2									34.25	23.50	1.02	4.25	63.02					
48			E									E	E	A	E						
3-0-3	738		7.9									34.10	23.08	1.24	1.55	59.97					
49			A									E	E	A	E						
3-0-4	739		7.7									32.85	22.41	1.19	0.78	57.23					
50			A									E	E	A	B						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E ds/m	Sat H <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	ClCT	Ca+Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
3-0-1	736		0.99	75	13.43	4.68	0.58	7.09	2.36	2.74									
47			C						F	F									
3-0-2	737		**	**	**	**	**	**	**	**									
48																			
3-0-3	738		1.36	80	11.25	8.32	0.75	8.72	2.79	3.48									
49			B						F	F									
3-0-4	739		1.21	75	11.88	7.80	0.79	6.26	2.00	1.37									
50			B						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor deficiente. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino B: Neutro C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy ácido.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
3-0-1	736	No menciona					
47							
3-0-2	737	No menciona					
48							
3-0-3	738	No menciona					
49							
3-0-4	739	No menciona					
50							

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Cl/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2  
737: (""): Muestra insuficiente para realizar los análisis de la parte soluble.  
736-738-739: Condición normal de los suelos analizados.

### Metodos de análisis

Acidez Intercamb: KCl 1N; M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: AOCN14 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcio

Vo Bo Director

*[Firma]*



Nombre: Suconilles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: ☐ Sólido ☒ Líquido  
Cantidad: Parcial

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	B	Cu	Fe	Mn	Zn
3-1-1	740		7.2									33.75	20.72	3.37	0.67	58.51					
51			B									E	E	E	C						
3-1-2	741		7.2									26.29	20.25	1.29	1.62	49.45					
52			B									E	E	A	E						
3-1-3	742		7.6									31.20	21.09	1.60	0.72	54.61					
53			A									E	E	A	B						
3-1-4	743		7.4									33.71	20.48	1.46	0.93	56.58					
54			A									E	E	A	A						

**SOLUBLES**

Identif	NºLab	Textura %			C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza <small>ppm de CaCO<sub>3</sub></small>	CICr <small>Cmol/l y Mg</small>	Ca+Mg/K <small>a.s.n.m.</small>	Ca/Mg <small>(m)</small>	
		A	L	Ar																	
3-1-1	740				1.65	65	15.31	11.96	2.00	3.27	0.89	1.20						55.98	16.16	1000	1.63
51					A						F	F									
3-1-2	741				2.82	80	18.13	18.72	1.54	17.16	4.00	2.73						59.24	36.08	1000	1.30
52					E						F	F									
3-1-3	742				2.43	75	20.63	18.72	1.83	10.35	2.33	1.25						57.61	32.66	1000	1.48
53					E						F	F									
3-1-4	743				2.43	75	23.75	20.28	1.64	6.26	1.33	1.66						55.98	37.12	1000	1.65
54					E						F	F									

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION**

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido mínimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

**RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION**

**OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

**Metodos de análisis**

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Observaciones	Metodos de análisis
3-1-1	740	No menciona						C/Creal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2	Acidez Intercamb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7
51								740: Condición normal del suelo analizado.	Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado
3-1-2	741	No menciona						741-742-743: Condición Salina de los suelos analizados.	B y S: Fosfato monocalcio
52									
3-1-3	742	No menciona							
53									
3-1-4	743	No menciona							
54									

Vo Bo Director



Nombre: Sucremiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X ☐ Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcelal

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O %	C	P ppm	S	Sat Al %	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
3-2-1	744		7.2									32.19	17.89	3.86	0.48	54.42					
55			B									E	E	E	F						
3-2-2	745		7.7									29.45	23.70	3.15	2.09	58.39					
56			A									E	E	E	E						
3-2-3	746		7.5									32.22	20.17	3.38	0.86	56.63					
57			A									E	E	E	A						
3-2-4	747		7.4									32.41	20.44	4.12	0.73	57.70					
58			A									E	E	E	B						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	CICR	Ca+Mg/K	a.s.n.m.	Ca/Mg
3-2-1	744		1.79	75	14.06	11.44	1.76	2.73	0.76	0.94						51.09	12.97	1000	1.80
55			A						F	F									
3-2-2	745		3.52	75	20.63	23.92	1.28	22.07	4.68	3.20						65.22	16.87	1000	1.24
56			E						F	F									
3-2-3	746		2.54	75	20.31	17.68	1.60	8.44	1.94	1.39						61.96	15.50	1000	1.60
57			E						F	F									
3-2-4	747		2.10	70	19.06	15.08	1.76	4.63	1.12	1.16						63.05	12.83	1000	1.59
58			E						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligera acidez. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha	Observaciones y recomendaciones
			N P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO MgO	
3-2-1	744	No menciona		CICreal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2
55				744: Condición normal del suelo analizado.
3-2-2	745	No menciona		745-746-747: Condición Salina de los suelos analizados.
56				
3-2-3	746	No menciona		
57				
3-2-4	747	No menciona		
58				

### Metodos de análisis

Acidez Intercamb: KCl 1N; M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACOINHA 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado B y S: Fosfato monocalcio

No Bo Director



Nombre: Sucromiles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ X Aguas ☐  
Tipo de análisis: Sólido Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N total	M.O	C	P	S	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			1:2,5		%		ppm		%												
3-3-1	748		7.2									31.30	18.12	4.78	0.67	54.87					
59			B									E	E	E	C						
3-3-2	749		7.5									32.84	20.18	3.60	0.63	57.25					
60			A									E	E	E	C						
3-3-3	751		7.7									31.67	23.11	2.42	1.79	58.99					
61			A									E	E	E	E						
3-3-4	752		7.8									33.59	21.25	4.11	1.35	60.30					
62			A									E	E	E	E						

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %			C.E ds/m	satH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza grm/24 CaCO <sub>3</sub>	CICR Cmol/l y/kg	Ca+Mg/K a.s.n.m.	Ca/Mg (m)		
		A	L	Ar																		
3-3-1	748				2.35	70	20.62	16.12	3.04	4.63	1.08	1.04							64.13	10.34	1000	1.73
59					E						F	F										
3-3-2	749				2.94	70	27.18	22.36	2.08	8.72	1.75	0.98							64.13	14.73	1000	1.63
60					E						F	F										
3-3-3	751				3.23	75	24.38	21.84	0.96	16.07	3.34	2.91							61.42	22.64	1000	1.37
61					E						F	F										
3-3-4	752				2.58	75	18.75	16.64	1.76	8.44	2.01	2.18							61.96	13.34	1000	1.58
62					E						F	F										

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido mínimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

### OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

### Metodos de análisis

Identif	Nº Lab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/ha					Ci/Creal:												
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO													
3-3-1	748	No menciona						748-749-751-752:	Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2											
59																				
3-3-2	749	No menciona							Condición Salina de los suelos analizados.											
60																				
3-3-3	751	No menciona																		
61																				
3-3-4	752	No menciona																		
62																				

Acidez Intercamb: KCl 1N, M.O.:  
Walkley & Black, P: Bray II, Ca,  
Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7  
Cu, Fe, Zn, Mn: Olsen modificado  
B y S: Fosfato monocalcico

Vg Bq Director

*[Firma]*



Nombre: Sucroniles - Carlos Rojas  
Finca: Recuperación de Suelos  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: No menciona  
Dpto: Valle del Cauca

DD MM AA  
20 10 2005  
Fecha entrada:  
Fecha de salida:  
Material: Suelos ☒ Aguas ☐  
Tipo de análisis: Salinidad Parcial

### RESULTADOS DEL ANALISIS

Identif	Nº Lab	Prof. (cm)	pH	N total	M.O %	C	P s	Sat Al	Al+H	Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			1:2.5																	
3-4-1	753		7.7																	
63			A																	
3-4-2	754		7.9																	
64			A																	
3-4-3	755		7.4																	
65			A																	
3-4-4	756		6.9																	
66			B																	

### SOLUBLES

Identif	Nº Lab	Textura %	C.E ds/m	SatH <sub>2</sub> O %	Ca	Mg	K	Na	Ras	PSI	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CT	Dureza	CICr	Ce+Mg/K	a.s.r.m.	Ca/Mg
		A L Ar																	
3-4-1	753		2.75	75	22.18	19.24	1.92	8.44	1.85	1.65									
63			E						F	F									
3-4-2	754		**	**	**	**	**	**	**	**									
64																			
3-4-3	755		2.29	70	17.18	13.52	3.84	3.82	0.98	1.18									
65			E						F	F									
3-4-4	756		2.44	70	15.63	11.44	6.72	2.73	0.74	1.25									
66			E						F	F									

### CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN

Interpretación de los resultados: A: Contenido "suficiente" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o valor adecuado. C: Contenido "moderado" o valor adecuado. D: Contenido "pobre" o valor deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido ínfimo o valor "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. F: Fuertemente ácido. E: Muy alcalino.

### RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION

Identif	Nº Lab	Cultivo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	Metodos de análisis
3-4-1	753	No menciona						CICreal: Extraída con Acetato de Sodio 1M, pH: 8.2	Acidez inferombr. KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: ACONH4 1N pH:7
63		No menciona						754: (*) Muestra insuficiente para realizar determinaciones en la parte soluble.	Cu, Fe, Zn, Mn: Olsén modificado
3-4-2	754	No menciona						755-756-756: Condición Salina de los Suelos analizados.	B y S: Fosfato monocalcico
64		No menciona							
3-4-3	755	No menciona							
65		No menciona							
3-4-4	756	No menciona							
66		No menciona							

Vo Bo Director

*[Signature]*

**ANEXO H. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE LAS  
CARACTERÍSTICAS FINALES DE LOS SUELOS.**

Laboratorio de biometría de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

## SUELO 1

### 1. Calcio Intercambiabile Cmol /Kg SUELO1

The ANOVA Procedure							
Class Level Information							
Class	Levels	Values	T1	T2	T3	T4	T5
TT0	5						
Number of observations			20				
The ANOVA Procedure							
Dependent Variable: Cal Int							
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F		
Model	4	38.4135300	9.6033825	1.32	0.3067		
Error	15	108.9265250	7.2617683				
Corrected Total	19	147.3400550					
R-Square		Coeff Var	Root MSE	Cal Int Mean			
0.260713		16.47520	2.694767	16.35650			
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F		
TT0	4	38.41353000	9.60338250	1.32	0.3067		

### Calcio Intercambiabile Cmol /Kg 75

Duncan's Multiple Range Test for Cal Int						
Alpha						
Error Degrees of Freedom						
Error Mean Square						
Number of Means						
Critical Range						
Duncan Grouping						
A	17.470	4	T2			
A	17.173	4	T4			
A	17.068	4	T3			
A	16.398	4	T5			
A	13.675	4	T1			

### 2. Calcio Soluble Cmol /L SUELO1

The ANOVA Procedure						
Class Level Information						
Class	Levels	Values				
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5				
Number of observations			20			
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: Cal Sol u						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	840.290630	210.072657	17.92	<.0001	
Error	15	175.819950	11.721330			
Corrected Total	19	1016.110580				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cal Sol u Mean		
	0.826968	24.21075	3.423643	14.14100		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	840.2906300	210.0726575	17.92	<.0001	



Calcio Soluble Cmol/L 79

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Cal Solu

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 15

Error Mean Square 11.72133

Number of Means 2

Critical Range 5.160

Duncan Grouping

	Mean	N	TT0
A	22.658	4	T5
A			
B	17.500	4	T4
B			
B	17.188	4	T3
B			
C	8.360	4	T2
C			
C	5.000	4	T1

## 3. Magnesio Intercambiable Cmol/Kg SUEL01

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class TT0

Levels 5

Values T1 T2 T3 T4 T

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Magnelnt

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	65.3840300	16.3460075	3.81	0.0249
Error	15	64.3482250	4.2898817		
Corrected Total	19	129.7322550			

R-Square 0.503992

Coeff Var 25.44007

Root MSE 2.071203

Magnelnt Mean 8.141500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	65.38403000	16.34600750	3.81	0.0249

Magnesio Intercambiable Cmol/Kg SUEL01

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Magnelnt

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 15

Error Mean Square 4.28988

Number of Means 2

Critical Range 3.122

Duncan Grouping

	Mean	N	TT0
A	10.388	4	T2
A			
A	9.438	4	T3
A			
B	8.343	4	T4
B			
B	7.405	4	T5
B			
B	5.135	4	T1



#### 4. Magnesio Soluble Cmol/L SUEL01

The ANOVA Procedure							
Class Level Information							
Class	Levels	Values	T1	T2	T3	T4	T5
TT0	5						
Number of observations			20				
The ANOVA Procedure							
Dependent Variable: MagneSol							
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F		
Model	4	440.4223200	110.1055800	12.26	0.0001		
Error	15	134.7069000	8.9804600				
Corrected Total	19	575.1292200					
R-Square		Coeff Var	Root MSE	MagneSol Mean			
0.765780		34.19767	2.996742	8.763000			
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F		
TT0	4	440.4223200	110.1055800	12.26	0.0001		

Magnesio Soluble Cmol/L SUEL01						
The ANOVA Procedure						
Duncan's Multiple Range Test for MagneSol						
Alpha	0.05					
Error Degrees of Freedom	15					
Error Mean Square	8.98046					
Number of Means	2	3	4	5		
Critical Range	4.517	4.735	4.870	4.962		
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	T5		
A	13.910	4	T5			
A	11.960	4	T4			
A	11.495	4	T3			
B	4.740	4	T2			
B	1.710	4	T1			

#### 5. Potasio Intercambiable Cmol/Kg SUEL01

The ANOVA Procedure						
Class Level Information						
Class	Levels	Values				
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5				
Number of observations			20			
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: PotaInt						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	141.0162800	35.2540700	13.70	<.0001	
Error	15	38.5967000	2.5731133			
Corrected Total	19	179.6129800				
R-Square		Coeff Var	Root MSE	PotaInt Mean		
0.785112		23.05062	1.604093	6.959000		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	141.0162800	35.2540700	13.70	<.0001	

#### Potasio Intercambiable Cmol/Kg SUEL01

The ANOVA Procedure						
Duncan's Multiple Range Test for PotaInt						
Alpha	0.05					
Error Degrees of Freedom	15					
Error Mean Square	2.573113					

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	2.418	2.534	2.607	2.656

Duncan Grouping	Mean	N	TT0
A	10.363	4	T5
A	9.578	4	T4
B	6.648	4	T3
B			
C	4.558	4	T2
C			
C	3.650	4	T1

#### 6. Potasio Soluble Cmol/L SUELO 1

The ANOVA Procedure	
Class Level Information	
Class	Level
TT0	6
	Values
	T1 T2 T3 T4 T5 TT0

Number of observations 20  
Potasio Soluble Cmol/L SUELO 1  
The ANOVA Procedure

Dependent Variable: PotaSol

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	1117.404933	223.480987	100.73	<.0001
Error	14	31.061867	2.218705		
Corrected Total	19	1148.466800			

R-Square 0.972954  
Coeff Var 16.60570  
Root MSE 1.489532  
PotaSol Mean 8.970000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	5	1117.404933	223.480987	100.73	<.0001

#### Potasio Soluble Cmol/L SUELO 1

The ANOVA Procedure  
Duncan's Multiple Range Test for PotaSol  
Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 14  
Error Mean Square 2.218705  
Harmonic Mean of Cell Sizes 2.571429  
NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	2.817	2.952	3.035	3.092	3.132
Duncan Grouping	Mean	N	TT0		
A	21.280	4	T5		
B	13.080	4	T4		
C	7.240	4	T3		
D	1.740	4	T2		
D					
D	1.510	3	T1		

### 7. Sodio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 1

The ANOVA Procedure  
 Class Level Information  
 Class TT0 Levels 5 Values T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Sodi Inte

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	791.4938800	197.8734700	99.51	<.0001
Error	15	29.8257000	1.9883800		
Corrected Total	19	821.3195800			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Inte Mean
0.963686	24.56191	1.410099	5.741000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	791.4938800	197.8734700	99.51	<.0001

### Sodio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 1

The ANOVA Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for Sodi Inte  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 15  
 Error Mean Square 1.98838

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	2.125	2.228	2.292	2.335

Duncan Grouping	Mean	N	TT0
A	15.6175	4	T1
B	10.7975	4	T2
C	1.2975	4	T3
C	0.5125	4	T4
C	0.4800	4	T5

### 8. Sodio Soluble Cmol/L SUELO 1

The ANOVA Procedure  
 Class Level Information  
 Class TT0 Levels 5 Values T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Sodi Solu

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	12291.89118	3072.97280	14.53	<.0001
Error	15	3172.24948	211.48330		
Corrected Total	19	15464.14066			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Solu Mean
0.794864	57.41542	14.54247	25.32850

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	12291.89118	3072.97280	14.53	<.0001

### Sodio Soluble Cmol/L SUELO 1

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Sodi Solu				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	211.4833			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	21.92	22.98	23.63	24.08
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	68.13	4	T1	
B	38.42	4	T2	
C	11.04	4	T3	
C	5.04	4	T4	
C	4.02	4	T5	

### 9. PSI % SUELO 1

The ANOVA Procedure						
Class Level Information						
Class	Level	Values				
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5				
Number of observations		20				
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: PSI						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	7219.059553	1804.764888	87.43	<.0001	
Error	15	309.621048	20.641403			
Corrected Total	19	7528.680601				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	PSI Mean		
	0.958874	25.32931	4.543281	17.93685		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	7219.059553	1804.764888	87.43	<.0001	

### PSI % SUELO 1

The ANOVA Procedure				
Duncan's Multiple Range Test for PSI				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	20.6414			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	6.847	7.178	7.383	7.523
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	44.625	4	T1	
B	37.397	4	T2	
C	4.175	4	T3	
C	1.775	4	T4	
C	1.713	4	T5	

### 10. Conductividad Eléctrica dS/m SUELO 1

The ANOVA Procedure						
Class Level Information						
Class	Levels	Values				
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5				
Number of observations			20			
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: CondElec						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	16.49653000	4.12413250	3.31	0.0393	
Error	15	18.69595000	1.24639667			
Corrected Total	19	35.19248000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	CondElec Mean		
	0.468752	27.60686	1.116421	4.044000		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	16.49653000	4.12413250	3.31	0.0393	

### Conductividad Eléctrica dS/m SUELO 1

The ANOVA Procedure						
Duncan's Multiple Range Test for CondElec						
Alpha Error Degrees of Freedom				0.05 15		
Error Mean Square				1.246397		
Number of Means	2	3	4	5		
Critical Range	1.683	1.764	1.814	1.849		
Duncan Grouping						
	A	5.6850	4	T1		
	A					
B	A	4.1300	4	T5		
B	A					
B	A	3.9950	4	T2		
B						
B		3.2875	4	T4		
B						
B		3.1225	4	T3		

### 11. PMgl % SUELO

		The ANOVA Procedure							
		Class	Level	Information					
		Class	Levels	Values					
		TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5	
		Number of observations					20		
		The ANOVA Procedure							
Dependent Variable: PMgl									
		Source	DF	Sum of Squares		Mean Square		F Value	Pr > F
		Model	4	1015.783987		253.945997		10.13	0.0004
		Error	15	376.064498		25.070967			
		Corrected Total	19	1391.848485					
		R-Square	Coeff Var	Root MSE		PMgl Mean			
		0.729809	18.32157	5.007092		27.32895			
		Source	DF	Anova SS		Mean Square		F Value	Pr > F
		TT0	4	1015.783987		253.945997		10.13	0.0004

### PMgl % SUELO 1

The ANOVA Procedure						
Duncan's Multiple Range Test for PMgl						
Alpha				0.05		
Error Degrees of Freedom				15		
Error Mean Square				25.07097		

Number of Means		2	3	4	5
Critical	Range	7.547	7.911	8.137	8.291
Duncan	Grouping	Mean	N	TTO	
	A	35.744	4	T2	
	A				
B	A	31.176	4	T3	
B	A				
B	A	28.879	4	T4	
B					
B		26.363	4	T5	
	C	14.484	4	T1	

12. pH SUELO 1

ANOVA		The ANOVA Procedure		Information		Values	
Class	Level	Level	Level	T1	T2	T3	T4
TT0	5	5	5	20	20	20	20
Dependent Variable: pH		The ANOVA Procedure		20			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F		
Model	4	7.10300000	1.77575000	39.46	<.0001		
Error	15	0.67500000	0.04500000				
Corrected Total	19	7.77800000					
R-Square		Coeff Var	Root MSE	pH Mean			
0.913217		2.552732	0.212132	8.310000			
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F		
TT0	4	7.10300000	1.77575000	39.46	<.0001		

pH SUELO 1				
The ANOVA Procedure				
Duncan's Multiple Range Test for pH				
Alpha	Error Degrees of Freedom	Mean Square Error	0.05	15
			0.045	
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.3197	.3352	.3447	.3513
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	9.3000	4	T1	
B	8.7000	4	T2	
C	7.9250	4	T3	
C	7.8250	4	T5	
C	7.8000	4	T4	

13. RAS Cmol /L SUELO 1

Class	The ANOVA Procedure Class Level Information Level Values	T1	T2	T3	T4	T5
TT0	5					
	Number of observations RAS Cmol /L SUELO 1				20	

The ANOVA Procedure					
Dependent Variable: RAS					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	3806.225430	951.556357	18.51	<.0001
Error	15	771.099750	51.406650		
Corrected Total	19	4577.325180			

	R-Square	Coeff Var	Root MSE	RAS Mean	
	0.831539	61.64425	7.169843	11.63100	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	3806.225430	951.556357	18.51	<.0001

RAS Cmol/L SUELO 1					
The ANOVA Procedure					
Duncan's Multiple Range Test for RAS					
Alpha	0.05				
Error Degrees of Freedom	15				
Error Mean Square	51.40665				
Number of Means	2	3	4	5	
Critical Range	10.81	11.33	11.65	11.87	
Duncan Grouping	Mean	N	TT0		
A	36.808	4	T1		
B	16.190	4	T2		
C	2.910	4	T3		
C	1.290	4	T4		
C	0.958	4	T5		

#### 14. CICR Cmol/kg SUELO 1

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20  
The ANOVA Procedure

Dependent Variable: CICR

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	140.1383700	35.0345925	2.23	0.1147
Error	15	235.6823250	15.7121550		
Corrected Total	19	375.8206950			

	R-Square	Coeff Var	Root MSE	CICR Mean	
	0.372886	13.05811	3.963856	30.35550	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	140.1383700	35.0345925	2.23	0.1147

CICR Cmol/kg SUELO 1					
The ANOVA Procedure					
Duncan's Multiple Range Test for CICR					
Alpha	0.05				
Error Degrees of Freedom	15				
Error Mean Square	15.71216				

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	5.974	6.263	6.442	6.564
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	35.463	4	T1	
A				
B A	30.300	4	T3	
B				
B	28.945	4	T4	
B				
B	28.943	4	T2	
B				
B	28.128	4	T5	

### 15. ClCe Cmol /kg SUELO 1

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: ClCe

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	214.2187700	53.5546925	2.69	0.0719
Error	15	299.0597500	19.9373167		
Corrected Total	19	513.2785200			

R-Square 0.417354      Coeff Var 12.00366      Root MSE 4.465122      ClC Mean 37.19800

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	214.2187700	53.5546925	2.69	0.0719

ClC Cmol /kg SUELO 1  
The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for ClCe

Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 15  
Error Mean Square 19.93732

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	6.730	7.055	7.256	7.394
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	43.213	4	T2	
A				
B A	38.078	4	T1	
B				
B	35.605	4	T4	
B				
B	34.645	4	T5	
B				
B	34.450	4	T3	



# 16. Conductividad Hidráulica cm/día SUELO 1

The ANOVA Procedure	
Class	Class Level Information
Level	Values
TT0	5 T1 T2 T3 T4 T5
Number of observations	
20	

Dependent Variable: CHIdS1		The ANOVA Procedure				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	0.95839280	0.23959820	7.98	0.0012	
Error	15	0.45057700	0.03003847			
Corrected Total	19	1.40896980				
R-Square		Coeff Var	Root MSE	CHIdS1 Mean		
0.680208		63.46250	0.173316	0.273100		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	0.95839280	0.23959820	7.98	0.0012	

Duncan's Multiple Range Test for CHIdS1	
Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	15
Error Mean Square	0.030038
Number of Means	2 3 4 5
Critical Range	.2612 .2738 .2817 .2870
Duncan Grouping	Mean N TT0
A	0.4810 4 T3
A	
A	0.4368 4 T4
A	
A	0.4363 4 T5
B	0.0093 4 T2
B	
B	0.0023 4 T1

## SUELO 2

### 1. Calcio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 2

The ANOVA Procedure  
 Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5  
 Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Cal Int

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	89.9158750	22.4789688	9.76	0.0004
Error	15	34.5451688	2.3030113		
Corrected Total	19	124.4610438			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cal Int Mean
0.722442	4.448551	1.517568	34.11375

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	89.91587500	22.47896875	9.76	0.0004

The ANOVA Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for Cal Int  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 15  
 Error Mean Square 2.303011

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	2.287	2.398	2.466	2.513

Duncan Grouping	Mean	N	TT0
A	37.409	4	T3
B	35.018	4	T4
C	34.370	4	T5
C	32.525	4	T2
C	31.248	4	T1

### 2. Calcio Soluble Cmol/L SUELO 2

The GLM Procedure  
 Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The GLM Procedure

Dependent Variable: Cal Sol u

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	3259.150125	814.787531	52.51	<.0001
Error	13	201.704875	15.515760		
Corrected Total	17	3460.855000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cal Sol u Mean
0.941718	13.36464	3.939005	29.47333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	3259.150125	814.787531	52.51	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	3259.150125	814.787531	52.51	<.0001

Calcio Soluble Cmol /L SUELO 2

The GLM Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for Cal Solu  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 13  
 Error Mean Square 15.51576  
 Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	6.406	6.709	6.895	7.019
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	43.588	4	T5	
A				
A	41.950	4	T4	
B	31.250	3	T3	
C	16.540	3	T2	
C				
C	11.250	4	T1	

## 3. Magnesio Intercambiable Cmol /Kg SUELO 2

The ANOVA Procedure

Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: MagnesInt

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	15.95343000	3.98835750	0.77	0.5595
Error	15	77.39442500	5.15962833		
Corrected Total	19	93.34785500			

R-Square 0.170903  
 Coeff Var 10.86391  
 Root MSE 2.271482  
 MagnesInt Mean 20.90850

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	15.95343000	3.98835750	0.77	0.5595

The ANOVA Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for MagnesInt

	Alpha			0.05	
	Error	Degrees of Freedom		15	
	Error	Mean Square		5.159628	
Number of Means	2	3	4	5	
Critical Range	3.423	3.589	3.691	3.761	
Duncan Grouping	Mean	N	TT0		
	A	22.083	4	T3	
	A				
	A	21.863	4	T2	
	A				
	A	20.425	4	T1	
	A				
	A	20.325	4	T4	
	A				
	A	19.848	4	T5	

#### 4. Magnesio Soluble Cmol /L SUELO 2

The GLM Procedure						
Class		Level		Information		
TT0		Levels		Values		
		5		T1	T2	T3 T4 T5
Number of observations				20		
The GLM Procedure						
Dependent Variable: MagneSol						
Source	DF	Sum of Squares		Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2950.393444		737.598361	22.23	<.0001
Error	13	431.298667		33.176821		
Corrected Total	17	3381.692111				
R-Square		Coeff Var		Root MSE	MagneSol Mean	
0.872461		22.81362		5.759932	25.24778	
Source	DF	Type I SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2950.393444		737.598361	22.23	<.0001
Source	DF	Type III SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2950.393444		737.598361	22.23	<.0001

The GLM Procedure						
Duncan's Multiple Range Test for MagneSol						
Alpha				0.05		
Error Degrees of Freedom				13		
Error Mean Square				33.17682		
Harmonic Mean of Cell Sizes				3.529412		
NOTE: Cell sizes are not equal.						
Number of Means		2	3	4	5	
Critical Range		9.37	9.81	10.08	10.26	
Duncan Grouping		Mean	N	TTO		
	A	40.950	4	T5		
	A					
B	A	34.320	4	T4		
B						
B		26.867	3	T3		
	C	14.380	3	T2		
	C					
	C	7.410	4	T1		

#### 5. Potasio Intercambiable Cmol /Kg SUELO 2

The GLM Procedure						
Class		Level		Information		
Class		Level		Values		
TT0		5		T1	T2	T3 T4 T5
Number of observations				20		
The GLM Procedure						
Dependent Variable: Potalnt						
Source	DF	Sum of Squares		Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	31.28399079		7.82099770	6.56	0.0034
Error	14	16.68332500		1.19166607		
Corrected Total	18	47.96731579				
R-Square		Coeff Var		Root MSE	Potalnt Mean	
0.652194		55.35377		1.091635	1.972105	
Source	DF	Type I SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	31.28399079		7.82099770	6.56	0.0034
Source	DF	Type III SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	31.28399079		7.82099770	6.56	0.0034

The GLM Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for PotaInt  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 14  
 Error Mean Square 1.191666  
 Harmonic Mean of Cell Sizes 3.75  
 NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.710	1.792	1.842	1.876
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	4.1575	4	T5	
B	2.4125	4	T4	
B	1.4850	4	T2	
B	0.7575	4	T1	
B	0.7400	3	T3	

## 6. Potasio Soluble Cmol /L SUELO 2

The GLM Procedure  
 Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20  
 The GLM Procedure

Dependent Variable: PotaSol

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	42.63263611	10.65815903	7.85	0.0019
Error	13	17.64454167	1.35727244		
Corrected Total	17	60.27717778			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	PotaSol Mean		
0.707277	61.28102	1.165020	1.901111		

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	42.63263611	10.65815903	7.85	0.0019

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	42.63263611	10.65815903	7.85	0.0019

Potasio Soluble Cmol /L SUELO 2  
 The GLM Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for PotaSol  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 13  
 Error Mean Square 1.357272  
 Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412  
 NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.895	1.984	2.039	2.076
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	4.3600	4	T5	
B	2.6000	4	T4	
B	0.9533	3	T2	
B	0.6500	3	T3	
B	0.3925	4	T1	

### 7. Sodio Intercambiable Cmol /Kg SUELO 2

The GLM Procedure  
 Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5  
 Number of observations 20  
 The GLM Procedure

Dependent Variable: Sodi Inte

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	3.71698202	0.92924550	1.46	0.2655
Error	14	8.88649167	0.63474940		
Corrected Total	18	12.60347368			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Inte Mean
0.294917	55.12571	0.796712	1.445263

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	3.71698202	0.92924550	1.46	0.2655

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	3.71698202	0.92924550	1.46	0.2655

Sodio Intercambiable Cmol /Kg SUELO 2  
 The GLM Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for Sodi Inte  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 14  
 Error Mean Square 0.634749  
 Harmonic Mean of Cell Sizes 3.75

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.248	1.308	1.344	1.369
Duncan Grouping		Mean N	TT0	
A	2.4367	3	T3	
A				
A	1.3775	4	T2	
A				
A	1.3300	4	T5	
A				
A	1.2575	4	T4	
A				
A	1.0725	4	T1	

### 8. Sodio Soluble Cmol /L SUELO 2

The GLM Procedure  
 Class Level Information  
 Class Levels Values  
 TT0 5 T1 T2 T3 T4 T5  
 Number of observations 20  
 The GLM Procedure

Dependent Variable: Sodi Solu

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	442.2174528	110.5543632	5.62	0.0075
Error	13	255.9573750	19.6890288		
Corrected Total	17	698.1748278			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Solu Mean
0.633391	32.97559	4.437232	13.45611

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	442.2174528	110.5543632	5.62	0.0075

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	442.2174528	110.5543632	5.62	0.0075

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Sodi Solu

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 13

Error Mean Square 19.68903

Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	7.216	7.558	7.767	7.907
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	19.480	4	T5	
A				
A	16.348	4	T4	
A				
A	15.530	3	T3	
B				
B	7.630	3	T2	
B				
B	7.355	4	T1	

### 9. PSI % SUELO 2

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The GLM Procedure

Dependent Variable: PSI

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2.80214444	0.70053611	1.17	0.3706
Error	13	7.81581667	0.60121667		
Corrected Total	17	10.61796111			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PSI Mean
0.263906	34.65823	0.775382	2.237222

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.80214444	0.70053611	1.17	0.3706

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.80214444	0.70053611	1.17	0.3706

The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for PSI

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 13

Error Mean Square 0.601217

Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.261	1.321	1.357	1.382
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	3.0333	3	T3	
A				
A	2.2500	4	T5	
A				
A	2.2075	4	T4	
A				
A	2.0225	4	T1	
A				
A	1.7500	3	T2	

### 10. Conductividad Eléctrica dS/m SUELO 2

GLM Procedure			Class Level Information				
	Class	Level s	Values				
	TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations		20					
The GLM Procedure							
Dependent Variable: CondElec							
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square			F Value	Pr > F
Model	4	30.14180278	7.53545069			20.00	<.0001
Error	13	4.89855833	0.37681218				
Corrected Total	17	35.04036111					
R-Square		Coeff Var	Root MSE		CondElec Mean		
0.860202		17.30510	0.613850		3.547222		
Source	DF	Type I SS	Mean Square			F Value	Pr > F
TT0	4	30.14180278	7.53545069			20.00	<.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square			F Value	Pr > F
TT0	4	30.14180278	7.53545069			20.00	<.0001

#### Duncan's Multiple Range Test for CondElec

	Alpha				0.05
	Error Degrees of Freedom				13
	Error Mean Square				0.376812
	Harmonic Mean of Cell Sizes				3.529412
	NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	5	
Critical Range	0.998	1.046	1.074	1.094	
Duncan Grouping		Mean	N	TT0	
	A	5.1025	4	T5	
	A				
	B	4.3575	4	T4	
	B				
	B	3.9433	3	T3	
	C	2.4967	3	T2	
	C				
	C	1.6725	4	T1	

### 11. PMgl % SUELO 2

The GLM Procedure			Class Level Information				
Class		Level s	Values				
TT0		5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations		20					
The GLM Procedure							
Dependent Variable: PMgl							
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square			F Value	Pr > F
Model	4	52.0362983	13.0090746			0.53	0.7182
Error	14	345.9744222	24.7124587				
Corrected Total	18	398.0107204					
R-Square		Coeff Var	Root MSE	PMgl Mean			
0.130741		13.90326	4.971163	35.75537			
Source	DF	Type I SS	Mean Square			F Value	Pr > F
TT0	4	52.03629825	13.00907456			0.53	0.7182
Source	DF	Type III SS	Mean Square			F Value	Pr > F
TT0	4	52.03629825	13.00907456			0.53	0.7182

#### The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for PMgl		
Alpha	0.05	
Error Degrees of Freedom	14	



	Error Mean Square	24.71246		
	Harmonic Mean of Cell Sizes	3.75		
	NOTE: Cell sizes are not equal.			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	7.786	8.159	8.389	8.544
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	38.554	4	T1	
A				
A	36.192	4	T2	
A				
A	35.445	4	T4	
A				
A	34.085	3	T3	
A				
A	34.083	4	T5	

## 12. pH SUELO 2

The ANOVA Procedure						
Class	Class Level	Information				
	Level	Values				
TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations						
The ANOVA Procedure						
20						

Dependent Variable: pH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.50300000	0.12575000	2.29	0.1073
Error	15	0.82250000	0.05483333		
Corrected Total	19	1.32550000			
R-Square					
0.379479					
Coeff Var					
3.115971					
Root MSE					
0.234165					
pH Mean					
7.515000					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	0.50300000	0.12575000	2.29	0.1073

## The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for pH				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	0.054833			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	.3529	.3700	.3805	.3878
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	7.8000	4	T1	
A				
B	7.5750	4	T3	
B				
B	7.4250	4	T2	
B				
B	7.4000	4	T4	
B				
B	7.3750	4	T5	

### 13. RAS Cmol /L SUELO 2

The GLM Procedure			Class Level Information				
Class		Level s	Values				
TT0		5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations			20				
The GLM Procedure							
Dependent Variable: RAS							
Source		DF	Sum of Squares		Mean Square	F Value	Pr > F
Model		4	2.42308611		0.60577153	1.23	0.3446
Error		13	6.38680833		0.49129295		
Corrected Total		17	8.80989444				
R-Square		Coeff Var	Root MSE		RAS Mean		
0.275041		27.26737	0.700923		2.570556		
Source		DF	Type I SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0		4	2.42308611		0.60577153	1.23	0.3446
Source		DF	Type III SS		Mean Square	F Value	Pr > F
TT0		4	2.42308611		0.60577153	1.23	0.3446

#### The GLM Procedure

Duncan's Multiple Range Test for RAS  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 13  
 Error Mean Square 0.491293  
 Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.140	1.194	1.227	1.249
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	2.9575	4	T5	
A				
A	2.8967	3	T3	
A				
A	2.6350	4	T4	
A				
A	2.3750	4	T1	
A				
A	1.9033	3	T2	

### 14. CICR Cmol /kg SUELO 2

The GLM Procedure		Class Level Information				
Class	Level s	Values				
TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations		20				
CICR Cmol /kg		SUELO 2				
The GLM Procedure						
Dependent Variable: CICR						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	220.5307939	55.1326985	1.56	0.2399	
Error	14	495.5410167	35.3957869			
Corrected Total	18	716.0718105				
R-Square		Coeff Var	Root MSE	CICR Mean		
0.307973		10.17574	5.949436	58.46684		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	220.5307939	55.1326985	1.56	0.2399	
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	220.5307939	55.1326985	1.56	0.2399	

## Duncan's Multiple Range Test for ClCR

	Alpha			0.05	
	Error Degrees of Freedom			14	
	Error Mean Square			35.39579	
	Harmonic Mean of Cell Sizes			3.75	
	NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4		5
Critical Range	9.32	9.76	10.04		10.23
Duncan Grouping	Mean	N	TT0		
	A	62.863	3	T3	
	A				
	A	61.813	4	T2	
	A				
	A	58.020	4	T5	
	A				
	A	57.610	4	T4	
	A				
	A	53.128	4	T1	

## 15. ClCe Cmol/kg SUELO 2

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5
Number of observations		20

## The ANOVA Procedure

Dependent Variable: ClCe

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	188.6728300	47.1682075	9.75	0.0004
Error	15	72.5994500	4.8399633		
Corrected Total	19	261.2722800			
R-Square 0.722131					
Coeff Var 3.762985					
Root MSE 2.199992					
CIC Mean 58.46400					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	188.6728300	47.1682075	9.75	0.0004

## The ANOVA Procedure

## Duncan's Multiple Range Test for ClCe

Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	4.839963			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	3.316	3.476	3.575	3.643
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	62.850	4	T3	
A				
B	59.705	4	T5	
B				
B	59.013	4	T4	
B				
B	57.250	4	T2	
B	53.503	4	T1	

# 16. Conductividad Hidráulica cm/día SUELO 2

The ANOVA Procedure						
Class		Class Level Information	Values			
TT0		5	T1	T2	T3	T4 T5
		Number of observations		20		
The ANOVA Procedure						
Dependent Variable: CHID2						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	0.02759220	0.00689805	0.61	0.6622	
Error	15	0.16979875	0.01131992			
Corrected Total	19	0.19739095				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	CHID2 Mean		
	0.139785	149.7468	0.106395	0.071050		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	0.02759220	0.00689805	0.61	0.6622	
Duncan's Multiple Range Test for CHID2						
Alpha		Error Degrees of Freedom		0.05		
Error Mean Square		Error Mean Square		0.01132		
Number of Means		2	3	4	5	
Critical Range		.1604	.1681	.1729	.1762	
Duncan Grouping		Mean	N	TT0		
A		0.11500	4	T1		
A		0.10800	4	T2		
A		0.07125	4	T4		
A		0.04300	4	T5		
A		0.01800	4	T3		

### SUELO 3

#### 1. Calcio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 3

The ANOVA Procedure  
 Class Level Information  
 Class TT0  
 Levels 5  
 Values T1 T2 T3 T4 T5  
 Number of observations 20

Dependent Variable: Cal Int  
 The ANOVA Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	19.92453000	4.98113250	1.12	0.3834
Error	15	66.64852500	4.44323500		
Corrected Total	19	86.57305500			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cal Int Mean
0.230147	6.625173	2.107898	31.81650

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	19.92453000	4.98113250	1.12	0.3834

The ANOVA Procedure  
 Duncan's Multiple Range Test for Cal Int  
 Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 15  
 Error Mean Square 4.443235  
 Number of Means 2  
 Critical Range 3.177  
 Duncan Grouping

Mean	N	TT0
33.423	4	T1
32.350	4	T4
31.568	4	T3
31.238	4	T2
30.505	4	T5

#### 2. Calcio Soluble Cmol/L SUELO 3

The GLM Procedure  
 Class Level Information  
 Class TT0  
 Levels 5  
 Values T1 T2 T3 T4 T5  
 Number of observations 20

Dependent Variable: Cal Sol u  
 The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	194.8637028	48.7159257	4.68	0.0147
Error	13	135.3733417	10.4133340		
Corrected Total	17	330.2370444			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cal Sol u Mean
0.590072	17.37213	3.226970	18.57556

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	194.8637028	48.7159257	4.68	0.0147

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	194.8637028	48.7159257	4.68	0.0147

Duncan's Multiple Range Test for Cal Solu				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	13			
Error Mean Square	10.41333			
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.529412			
NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	5.248	5.496	5.648	5.750
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	22.733	4	T4	
A				
A	19.455	4	T2	
A				
A	18.515	4	T3	
A				
A	18.330	3	T5	
B	12.187	3	T1	

### 3. Magnesio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 3

The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
Class	Levels		Values		
TT0	5		T1	T2	T3 T4 T5
Number of observations			20		

Dependent Variable: MagneInt

The ANOVA Procedure					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	50.1025800	12.5256450	3.04	0.0509
Error	15	61.8806750	4.1253783		
Corrected Total	19	111.9832550			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	MagneInt Mean
0.447411	9.936173	2.031103	20.44150

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	50.10258000	12.52564500	3.04	0.0509

Duncan's Multiple Range Test for MagneInt				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	4.125378			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	3.061	3.209	3.301	3.363
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	22.658	4	T1	
A				
B	20.665	4	T4	
B				
B	20.635	4	T2	
B				
B	20.550	4	T3	
B				
B	17.700	4	T5	



4. Magnesio Soluble Cmol /L SUELO 3

Class	The GLM Procedure Class Level Information Level Values							
TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5		
Number of observations							20	

Dependent Variable: MagneSol

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	301.9541778	75.4885444	4.96	0.0119
Error	13	197.6849333	15.2065333		
Corrected Total	17	499.6391111			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	MagneSol Mean
0.604345	25.09008	3.899556	15.54222

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	301.9541778	75.4885444	4.96	0.0119

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	301.9541778	75.4885444	4.96	0.0119

### Duncan's Multiple Range Test for MagneSol

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13
Error Mean Square	15.20653
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	6.342	6.642	6.826	6.949
Duncan Grouping	Mean	N	TTO	
A	19.240	4	T4	
A				
A	17.420	4	T2	
A				
A	17.030	4	T3	
A				
A	14.733	3	T5	
B	6.933	3	T1	

5. Potasio Intercambiable Cmol /Kg SUELO 3

The ANOVA Procedure		Class Level Information				
Class	Level s	Values				
TT0	5	T1	T2	T3	T4	T5
Number of observations				20		

The ANOVA Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	49.23407000	12.30851750	10.45	0.0003
Error	15	17.67182500	1.17812167		
Corrected Total	19	66.90589500			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Potalnt Mean
0.735870	33.75566	1.085413	3.215500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T0	4	49.23407000	12.30851750	10.45	0.0003

The ANOVA Procedure  
Duncan's Multiple Range Test for PotaInt

Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	1.178122			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.636	1.715	1.764	1.797
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	5.6500	4	T5	
B	3.7275	4	T4	
B				
B	3.6275	4	T3	
C	1.9300	4	T2	
C				
C	1.1425	4	T1	

## 6. Potasio Soluble Cmol /L SUELO 3

The GLM Procedure  
Class Level Information

Class	Level	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5
Number of observations		20

The GLM Procedure

Dependent Variable: PotaSol

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	19.90510833	4.97627708	4.56	0.0161
Error	13	14.19794167	1.09214936		
Corrected Total	17	34.10305000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PotaSol Mean
0.583675	52.47161	1.045060	1.991667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	19.90510833	4.97627708	4.56	0.0161
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	19.90510833	4.97627708	4.56	0.0161

Duncan's Multiple Range Test for PotaSol

Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	13			
Error Mean Square	1.092149			
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.529412			

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.700	1.780	1.829	1.862
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	4.1600	3	T5	
B	1.9600	4	T4	
B				
B	1.7525	4	T2	
B				
B	1.6000	4	T3	
B				
B	0.7067	3	T1	

### 7. Sodio Intercambiable Cmol/Kg SUELO 3

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5
Number of observations		20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Sodi Inte

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2.90133000	0.72533250	0.97	0.4516
Error	15	11.19275000	0.74618333		
Corrected Total	19	14.09408000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Inte Mean
0.205855	68.77540	0.863819	1.256000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.90133000	0.72533250	0.97	0.4516

Duncan's Multiple Range Test for Sodi Inte

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	15
Error Mean Square	0.746183

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.302	1.365	1.404	1.430
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	

A	2.0100	4	T1
A			
A	1.1375	4	T5
A			
A	1.1100	4	T4
A			
A	1.0400	4	T3
A			
A	0.9825	4	T2

### 8. Sodio Soluble Cmol/L SUELO 3

The GLM Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5
Number of observations		20

The GLM Procedure

Dependent Variable: Sodi Sol u

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	49.9629194	12.49072986	0.38	0.8190
Error	13	427.2725083	32.8671160		
Corrected Total	17	477.2354278			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sodi Sol u Mean
0.104692	68.87388	5.732985	8.323889

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	49.96291944	12.49072986	0.38	0.8190

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	49.96291944	12.49072986	0.38	0.8190

Duncan's Multiple Range Test for Sodi Solu				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	13			
Error Mean Square	32.86712			
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.529412			
NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	9.32	9.76	10.03	10.22
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	9.468	4	T3	
A	9.465	4	T4	
A	9.260	4	T2	
A	7.357	3	T1	
A	4.997	3	T5	

### 9. PSI % SUELO 3

The GLM Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20  
The GLM Procedure

Dependent Variable: PSI

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2.27850000	0.56962500	0.76	0.5708
Error	13	9.77215000	0.75170385		
Corrected Total	17	12.05065000			

R-Square 0.189077      Coeff Var 48.30131      Root MSE 0.867009      PSI Mean 1.795000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.27850000	0.56962500	0.76	0.5708
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.27850000	0.56962500	0.76	0.5708

Duncan's Multiple Range Test for PSI				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	13			
Error Mean Square	0.751704			
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.529412			
NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.410	1.477	1.518	1.545
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
	A	2.5300	3	T1
	A	1.7775	4	T4
	A	1.7100	4	T2
	A	1.6725	4	T3
	A	1.3600	3	T5

### 10. Conductividad Eléctrica dS/m SUELO 3

The GLM Procedure						
		Class	Level	Information		
		Level s	Values			
		Class	Level	Values		
		TT0	5	T1	T2	T3 T4 T5
		Number of observations				20
		The GLM Procedure				
Dependent Variable: CondElec						
		Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value Pr > F
		Model	4	4.87799444	1.21949861	5.18 0.0102
		Error	13	3.06018333	0.23539872	
		Corrected Total	17	7.93817778		
		R-Square	Coeff Var	Root MSE	CondElec Mean	
		0.614498	21.08456	0.485179	2.301111	
		Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value Pr > F
		TT0	4	4.87799444	1.21949861	5.18 0.0102
		Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value Pr > F
		TT0	4	4.87799444	1.21949861	5.18 0.0102

Duncan's Multiple Range Test for CondElec				
Alpha				0.05
Error Degrees of Freedom				13
Error Mean Square				0.235399
Harmonic Mean of Cell Sizes				3.529412
NOTE: Cell sizes are not equal.				
Number of Means	2	3	4	
Critical Range	.7890	.8264	.8492	
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	2.7750	4	T4	
A				
A	2.4933	3	T5	
A	2.4875	4	T3	
A	2.3325	4	T2	
B	1.1867	3	T1	

### 11. PMgl % SUELO 3

The ANOVA Procedure							
		Class Level Information					
		Class	Level s		Values		
		TT0	5		T1	T2	T3 T4 T5
		Number of observations				20	
The ANOVA Procedure							
Dependent Variable: PMgl							
Source	DF	Sum of Squares		Mean Square		F Value	Pr > F
Model	4	473.9575805		118.4893951		8.91	0.0007
Error	15	199.5789375		13.3052625			
Corrected Total	19	673.5365180					
R-Square		Coeff Var	Root MSE		PMgl Mean		
0.703685		10.48232	3.647638		34.79800		
Source	DF	Anova SS		Mean Square		F Value	Pr > F
TT0	4	473.9575805		118.4893951		8.91	0.0007

Duncan's Multiple Range Test for PMgl					
Alpha				0.05	
Error Degrees of Freedom				15	
Error Mean Square				13.30526	
Number of Means	2	3	4	5	
Critical Range	5.498	5.763	5.928	6.040	
Duncan Grouping		Mean	N	TT0	
	A	42.929	4	T1	
	B	36.097	4	T2	
	B				
	B	34.082	4	T3	
	B				
C	B	32.911	4	T4	
C					
C		27.971	4	T5	

## 12. pH SUELO 3

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20  
The ANOVA Procedure

Dependent Variable: pH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.78500000	0.19625000	2.57	0.0807
Error	15	1.14500000	0.07633333		
Corrected Total	19	1.93000000			

R-Square 0.406736      Coeff Var 3.659402      Root MSE 0.276285      pH Mean 7.550000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	0.78500000	0.19625000	2.57	0.0807

Duncan's Multiple Range Test for pH					
Alpha				0.05	
Error Degrees of Freedom				15	
Error Mean Square				0.076333	
Number of Means	2	3	4	5	
Critical Range	.4164	.4365	.4490	.4575	
Duncan Grouping		Mean	N	TT0	
	A	7.9250	4	T1	
	A				
B	A	7.5500	4	T4	
B					
B		7.4750	4	T5	
B					
B		7.4500	4	T3	
B					
B		7.3500	4	T2	



### 13. RAS Cmol /L SUELO 3

The GLM Procedure  
Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20  
The GLM Procedure

Dependent Variable: RAS

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2.55521944	0.63880486	0.44	0.7771
Error	13	18.84134167	1.44933397		
Corrected Total	17	21.39656111			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RAS Mean
0.119422	60.27786	1.203883	1.997222

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.55521944	0.63880486	0.44	0.7771

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	2.55521944	0.63880486	0.44	0.7771

Duncan's Multiple Range Test for RAS

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 13

Error Mean Square 1.449334

Harmonic Mean of Cell Sizes 3.529412

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	1.958	2.051	2.107	2.145
Duncan Grouping		Mean	N	TT0
A	2.3833	3	T1	
A				
A	2.1375	4	T2	
A				
A	2.1250	4	T3	
A				
A	2.0450	4	T4	
A				
A	1.1900	3	T5	

### 14. CICR Cmol /kg SUELO 3

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Level s	Values
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5

Number of observations 20

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: CICR

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	269.1900000	67.2975000	2.83	0.0624
Error	15	356.8247750	23.7883183		
Corrected Total	19	626.0147750			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	CICR Mean
0.430006	8.214100	4.877327	59.37750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	269.1900000	67.2975000	2.83	0.0624

Duncan's Multiple Range Test for ClCe				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	23.78832			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	7.351	7.706	7.926	8.076
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	63.045	4	T5	
A				
A	62.910	4	T4	
A				
B	60.330	4	T3	
B				
B	57.203	4	T2	
B				
B	53.400	4	T1	

### 15. ClCe Cmol /kg SUELO 3

The ANOVA Procedure						
Class	Class Level	Information				
	Level s	Values				
TT0	5	T1 T2 T3 T4 T5				
	Number of observations	20				

Dependent Variable: ClCe

The ANOVA Procedure						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	4	57.2710000	14.3177500	1.36	0.2930	
Error	15	157.4856000	10.4990400			
Corrected Total	19	214.7566000				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	ClCe Mean		
	0.266679	5.711656	3.240222	56.73000		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
TT0	4	57.27100000	14.31775000	1.36	0.2930	

Duncan's Multiple Range Test for ClCe				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	15			
Error Mean Square	10.49904			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	4.884	5.119	5.266	5.366
Duncan Grouping	Mean	N	TT0	
A	59.233	4	T1	
A				
A	57.853	4	T4	
A				
A	56.785	4	T3	
A				
A	54.993	4	T5	
A				
A	54.788	4	T2	

# 16. Conductividad Hidráulica cm/día SUELO 3

The ANOVA Procedure  
Class Level Information  
Class Levels Values  
TTO 5 T1 T2 T3 T4 T5  
Number of observations 20  
The ANOVA Procedure

Dependent Variable: CHIdS3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.02759220	0.00689805	0.61	0.6622
Error	15	0.16979875	0.01131992		
Corrected Total	19	0.19739095			

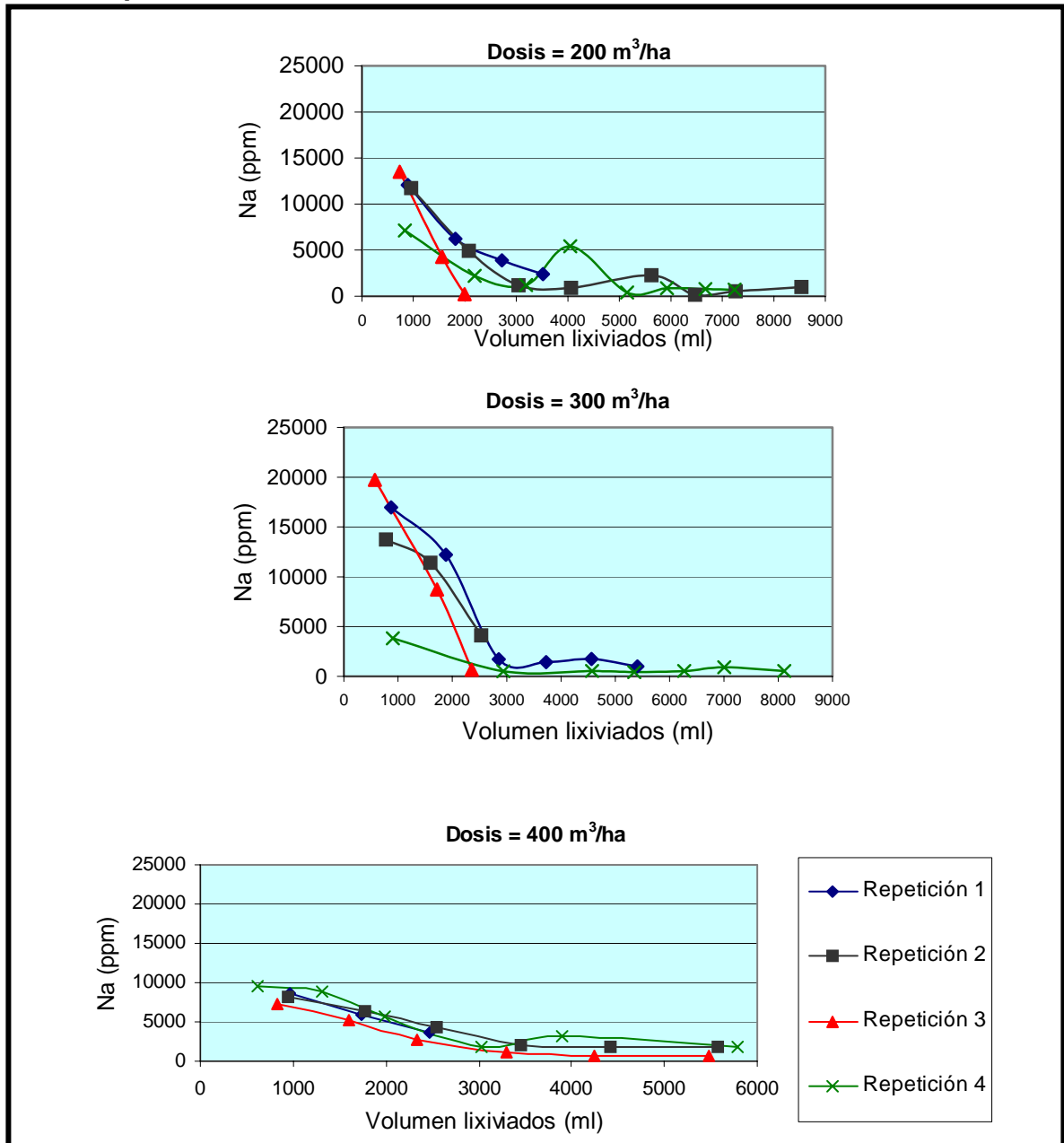
R-Square	Coeff Var	Root MSE	CHIdS3 Mean
0.139785	149.7468	0.106395	0.071050

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TTO	4	0.02759220	0.00689805	0.61	0.6622

Duncan's Multiple Range Test for CHIdS3  
Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 15  
Error Mean Square 0.01132  
Number of Means 2 3 4 5  
Critical Range .1604 .1681 .1729 .1762  
Duncan Grouping  
A Mean N TTO  
A 0.11500 4 T1  
A 0.10800 4 T2  
A 0.07125 4 T4  
A 0.04300 4 T5  
A 0.01800 4 T3

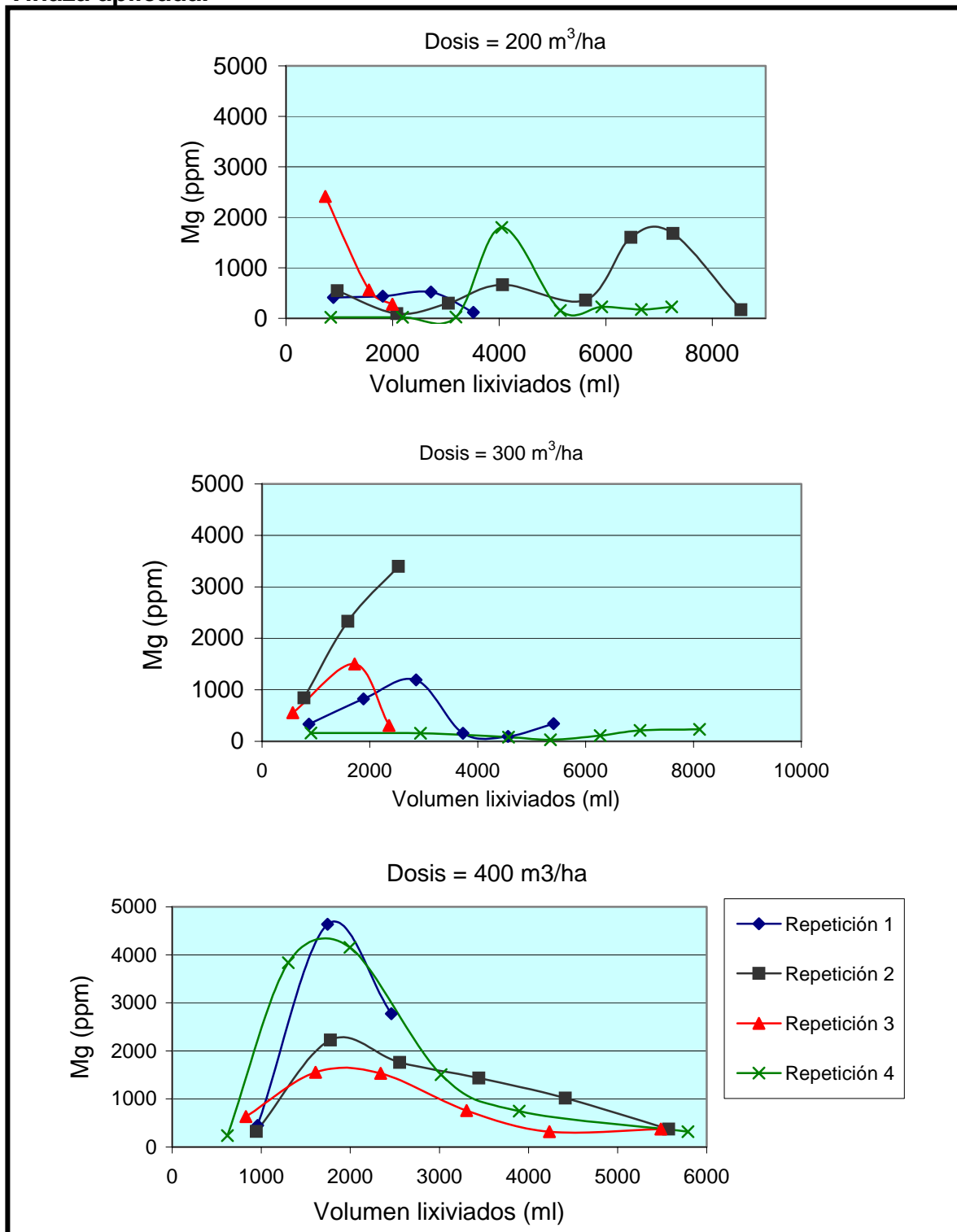
## ANEXO I. GRÁFICAS DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN LOS PERCOLADOS

Concentración de  $\text{Na}^+$  soluble en lixiviados de suelo 1 para las dosis de Vinaza aplicada.



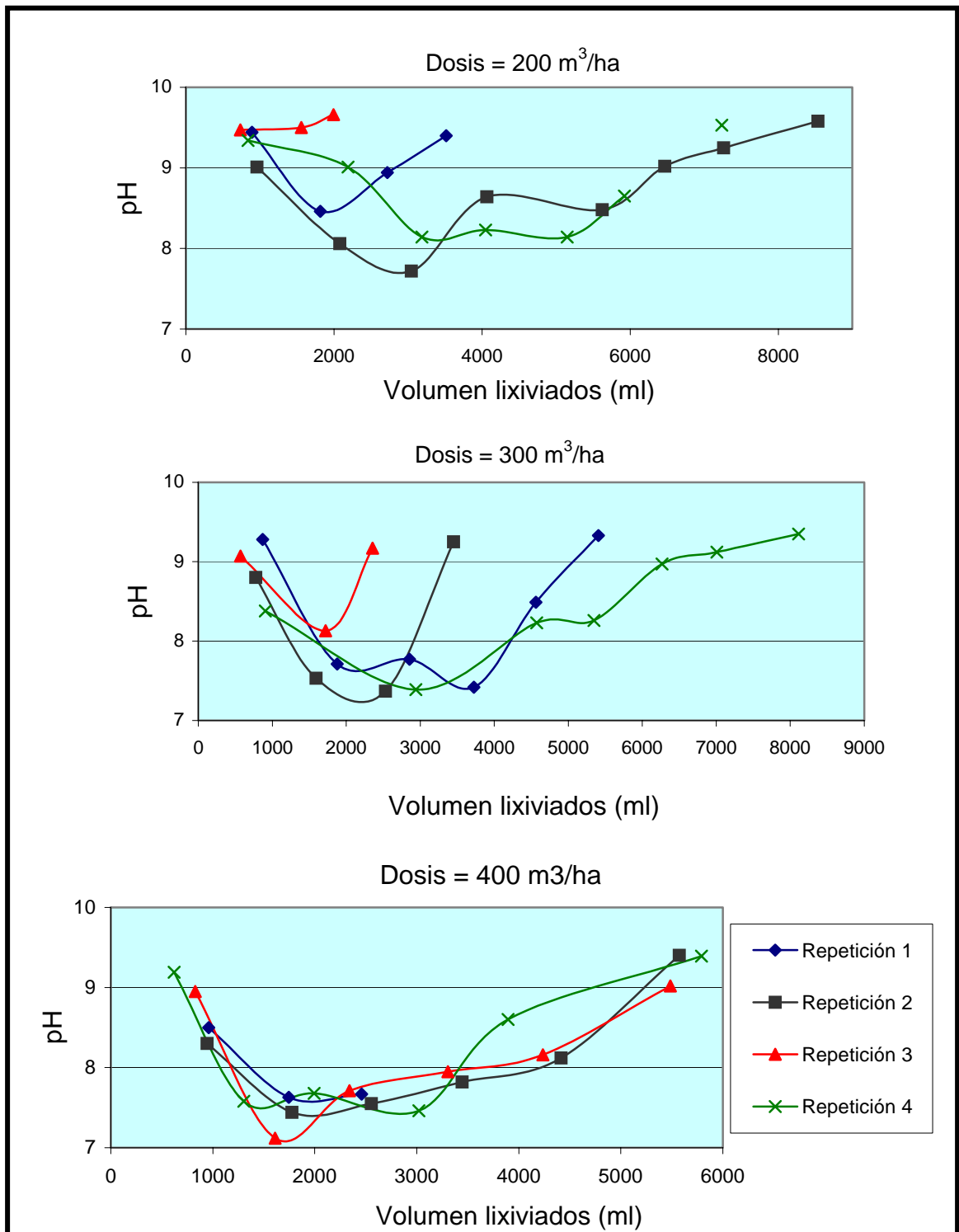
Fuente: Laboratorio de I & D - SUCROMILES, 2005.

**Concentración de  $Mg^{+2}$  soluble en lixiviados de suelo 1 para las dosis de Vinaza aplicada.**



Fuente: Laboratorio de I & D - SUCROMILES, 2005.

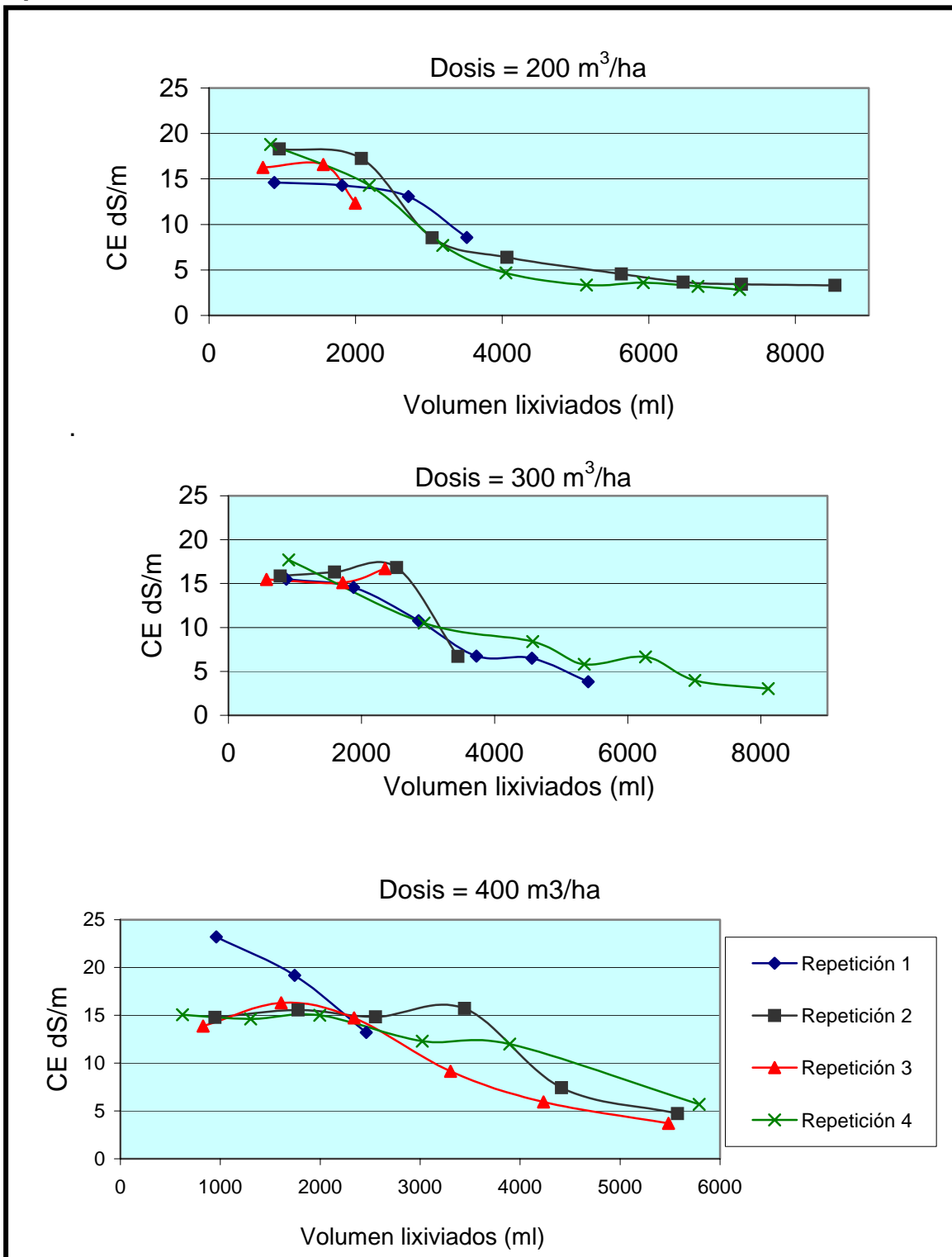
**pH en lixiviados de suelo 1 para las dosis de Vinaza aplicada.**



Fuente: Laboratorio de I & D - SUCROMILES, 2005.

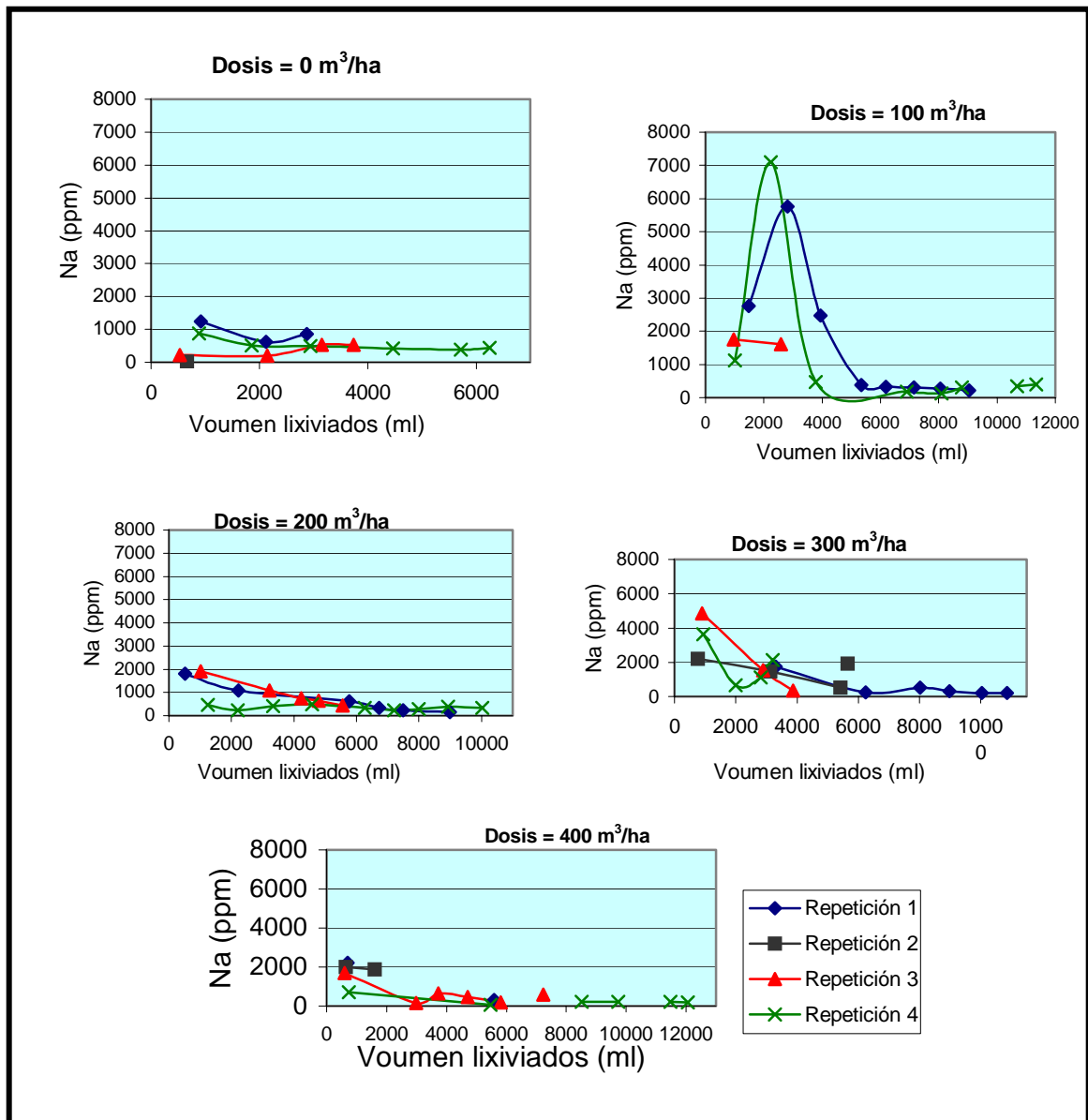


## Conductividad eléctrica en lixiviados de suelo 1 para las dosis de Vinaza Aplicada



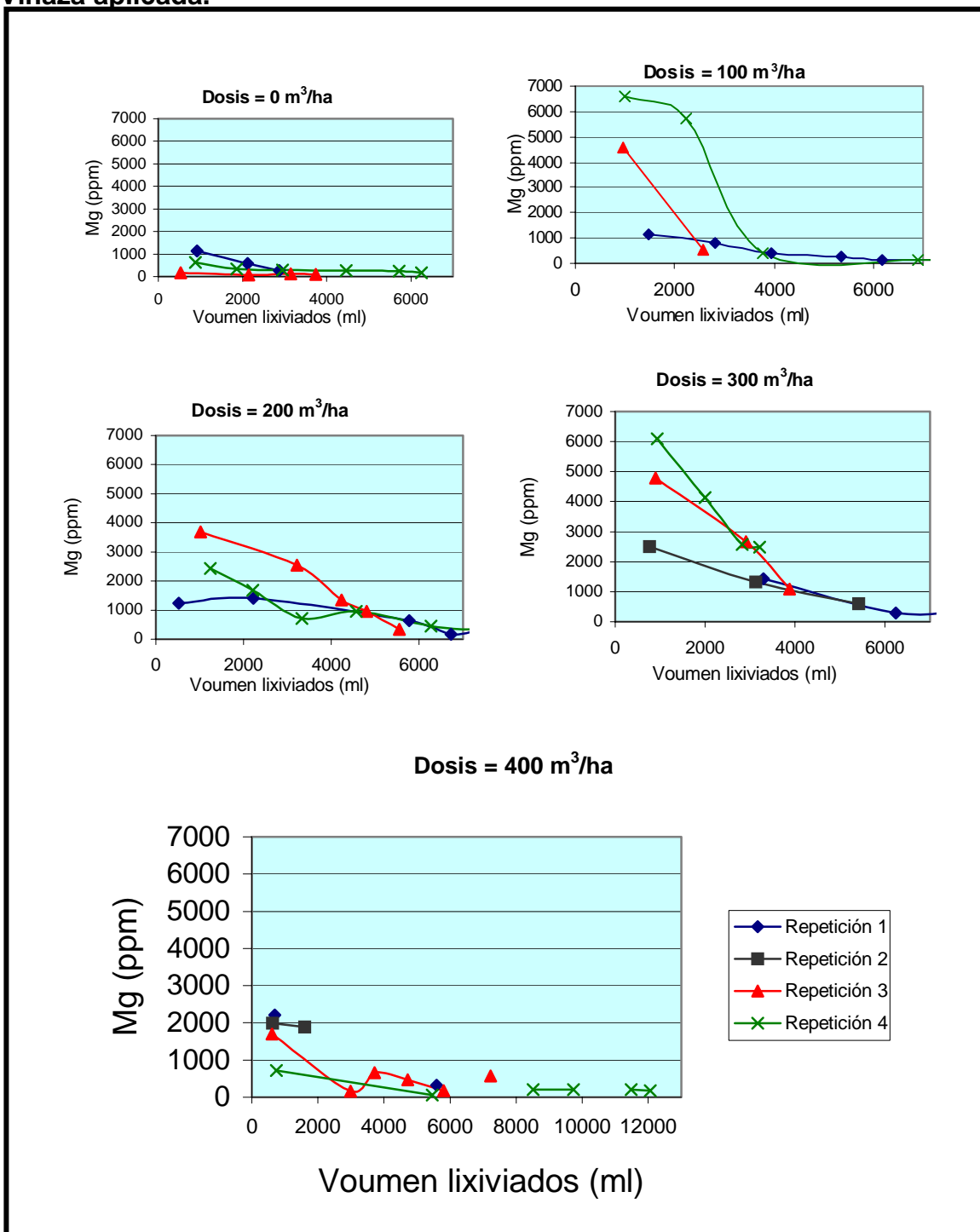
Fuente: Laboratorio de I & D, 2005.

**Concentración de  $\text{Na}^+$  soluble en lixiviados de suelo 3 para las dosis de Vinaza aplicada.**



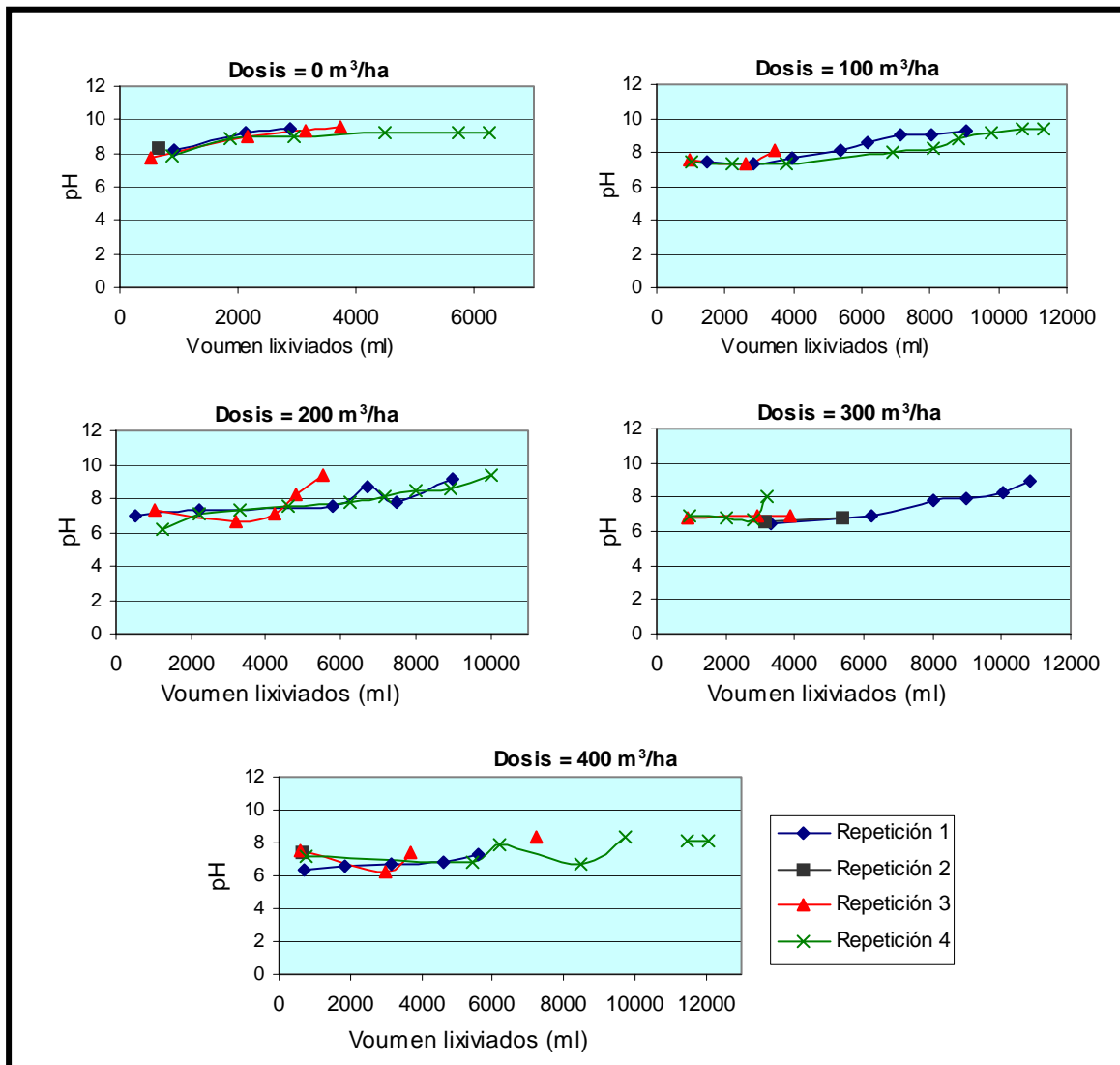
Fuente: Laboratorio de I & D, 2005.

**Concentración de  $Mg^{+}$  soluble en lixiviados de suelo 3 para las dosis de Vinaza aplicada.**



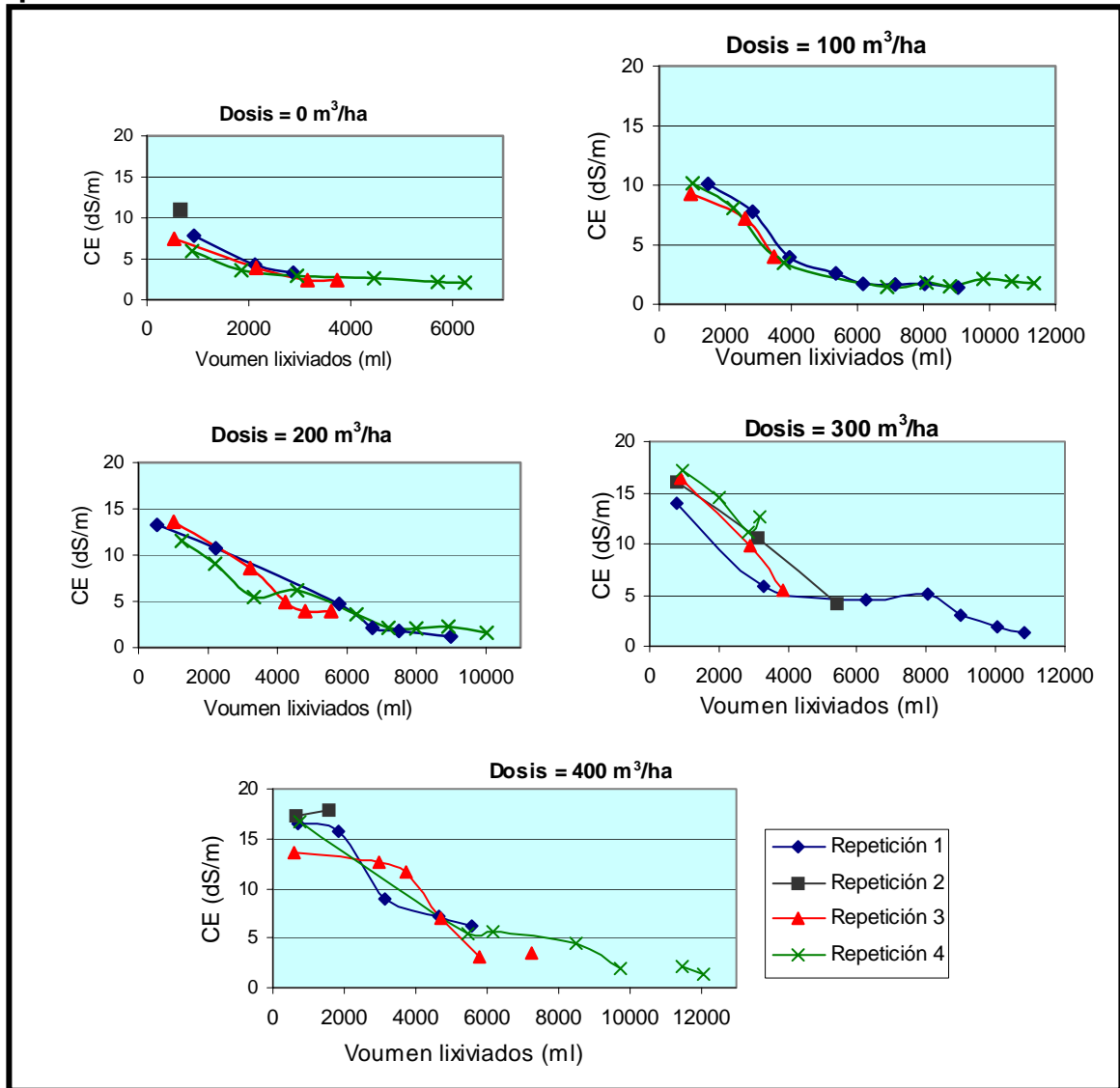
Fuente: Laboratorio de I & D, 2005

### pH en lixiviados de suelo 3 para las dosis de Vinaza aplicada.



Fuente: Laboratorio de I & D, 2005

**Conductividad eléctrica en lixiviados de suelo 3 para las dosis de Vinaza aplicada.**



Fuente: Laboratorio de I & D, 2005

## ANEXO J. CALCULO PARA UN SISTEMA DE DRENAJE

### CALCULO DE ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES

Según la fórmula Hooghoudt

$$L^2 = \frac{8K_1 \cdot d \cdot h}{S} + \frac{4K_2 \cdot h^2}{S} \quad (\text{metros})$$

Siendo

L= Espaciamento entre drenes en metros

K<sub>1</sub>= Coeficiente de permeabilidad del estrato de suelo arriba del dren en metros/día

K<sub>2</sub>= coeficiente de permeabilidad del estrato de suelo bajo el dren en metros/día

d= Factor en metros; se toma la tabla; espesor equivalente del estrato del suelo permeable bajo el eje del tubo de drenaje. Este factor depende del espaciamento L y de la distancia D entre el dren y el estrato impermeable.

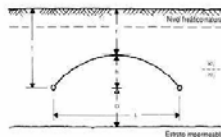
D= Distancia entre el dren y el estrato impermeable en metros.

h= altura del nivel freático permisible con relación al dren en metros.

f= Profundidad del dren en metros

f= Profundidad del nivel freático permisible medida desde la superficie, en metros. En general

s= Precipitación máxima que debe ser vacuada, en metros/día.



**Ejemplo :**

Dados

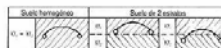
K<sub>1</sub>= 0.38 m/día;

K<sub>2</sub>= 1.48 m/día;

D= 2.5 m.;

h= 0.5m.;

s= 0.007 m/día



**Primer tanteo:**

Suponemos

L= 45 mts

De acuerdo con la tabla d= 1.99 mts

**Calculamos L**

$$L^2 = \frac{8 \times 0.38 \times 1.99 \times 0.5}{0.007} + \frac{4 \times 1.48 \times 0.5^2}{0.007}$$

L= 41.6 mts. ≈ 45 mts

El espaciamento estimado fue muy grande

**Segundo tanteo:**

Suponemos L= 41 De acuerdo con la tabla d= 1.94 mts

Recalculamos L con este factor "d" y encontramos L

≈ 41 mts.

Factor "d" para espaciamento de drenes											
L= espaciamento en metros											
D in m	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.75	0.6	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
1	0.67	0.75	0.8	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96
1.25	0.7	0.82	0.89	1	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15
1.5	0.71	0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36
1.75	0.71	0.91	1.02	1.2	1.3	1.39	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57
2	0.71	0.93	1.18	1.28	1.41	1.5	1.57	1.62	1.66	1.7	1.72
2.5	0.71	0.93	1.14	1.38	1.57	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02
3	0.71	0.93	1.14	1.45	1.67	1.83	1.97	2.08	2.16	2.23	2.29
3.5	0.71	0.93	1.14	1.5	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54
4	0.71	0.93	1.14	1.53	1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71
5	0.71	0.93	1.14	1.53	1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02
α	0.71	0.93	1.14	1.53	1.89	2.24	2.58	2.91	3.24	3.56	3.88

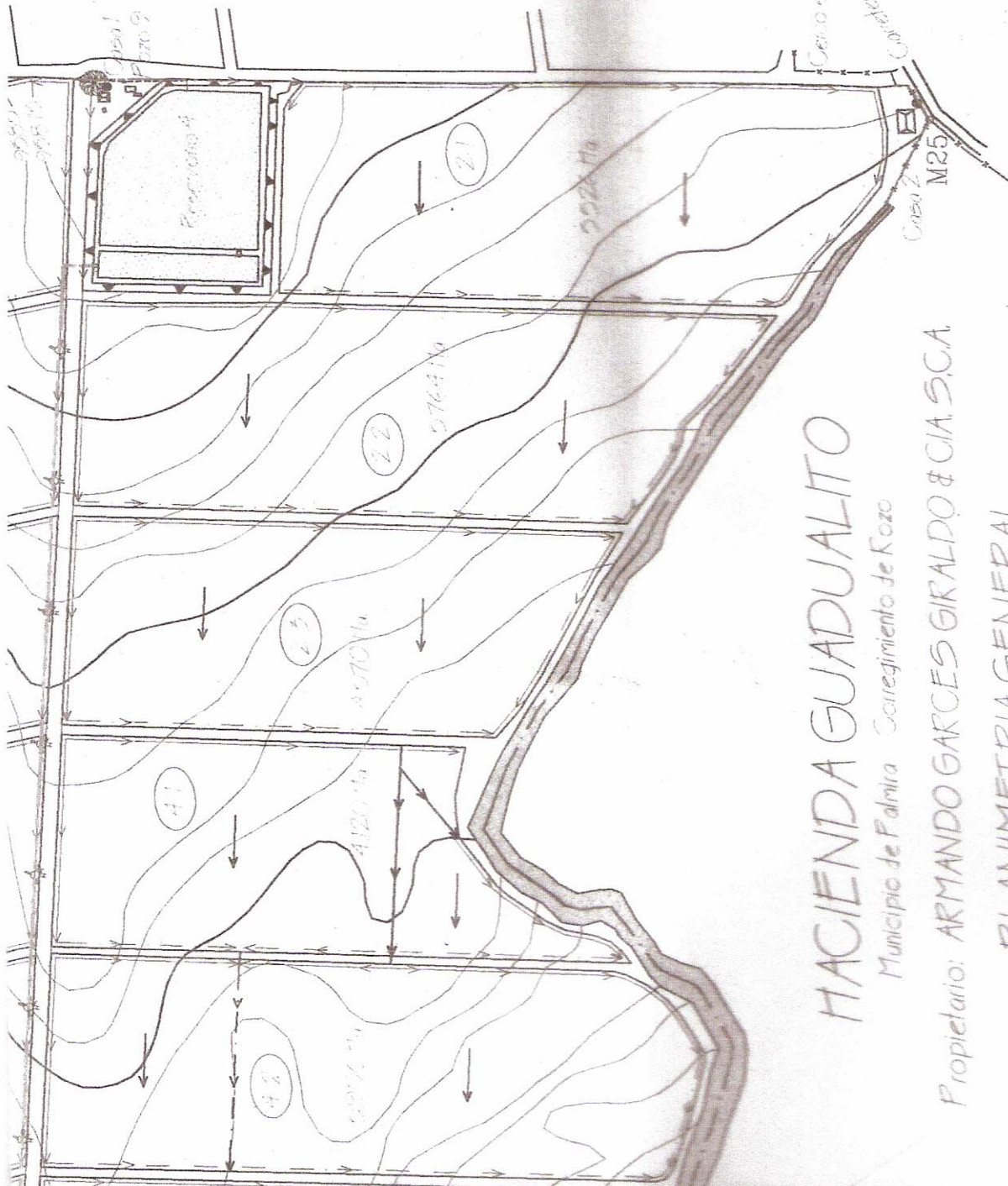
Espaciamentos intermedios deben ser redondeados.



**ANEXO K. PLANO SISTEMA DE DRENAJE EN LA HACIENDA GUADUALITO.**

## IDENTIFICACIÓN DEL PLANO

HACIENDA LA ESPER



### HACIENDA GUADUALITO

Municipio de Palmira Corregimiento de Razo

Propietario: ARMANDO GARCES GIRALDO & CIA S.C.A.

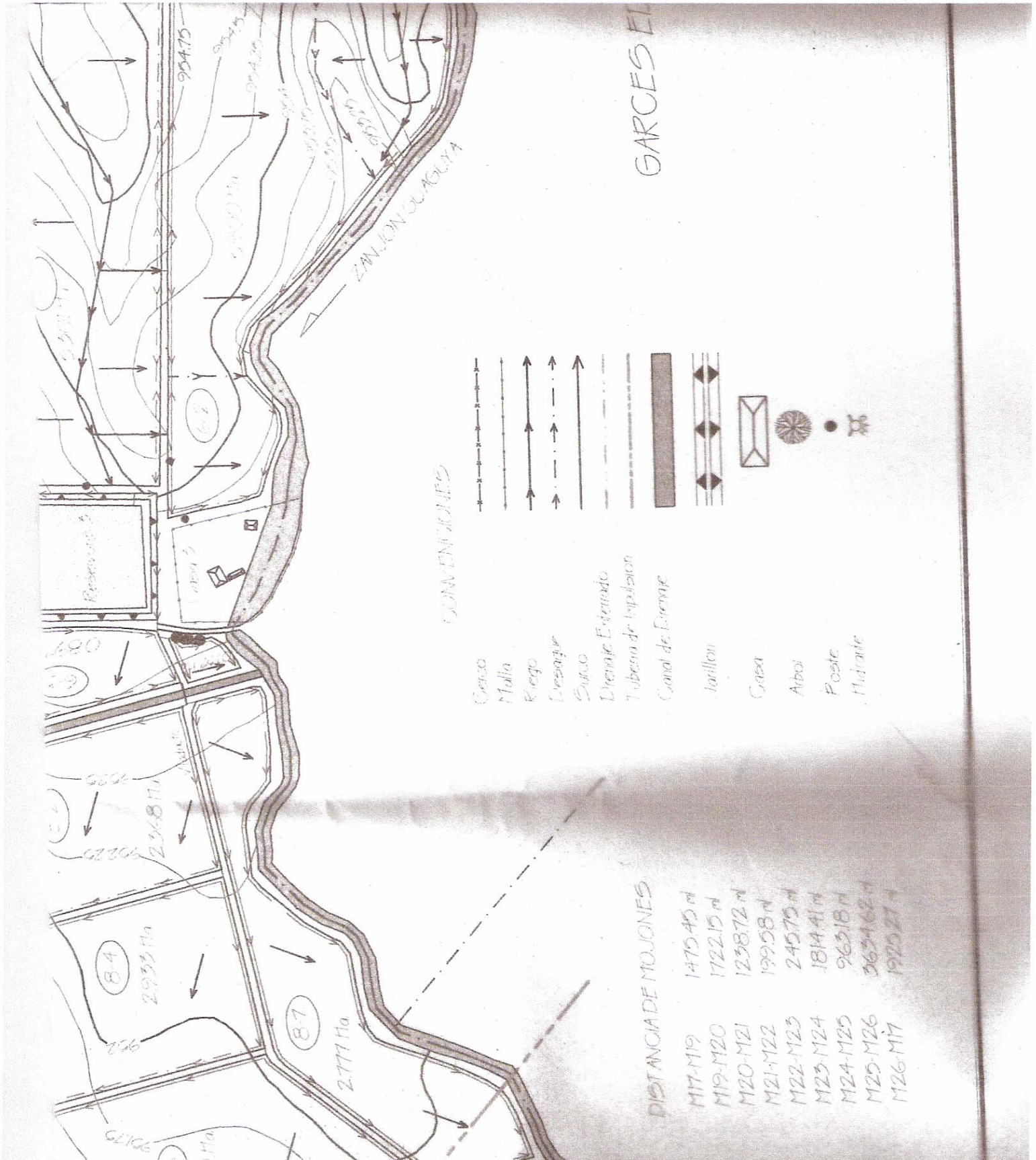
### PLANIMETRIA GENERAL

Levantó: Pedro Paulo Vidal Polania

Dibujó: Claudia Susana Sánchez G.

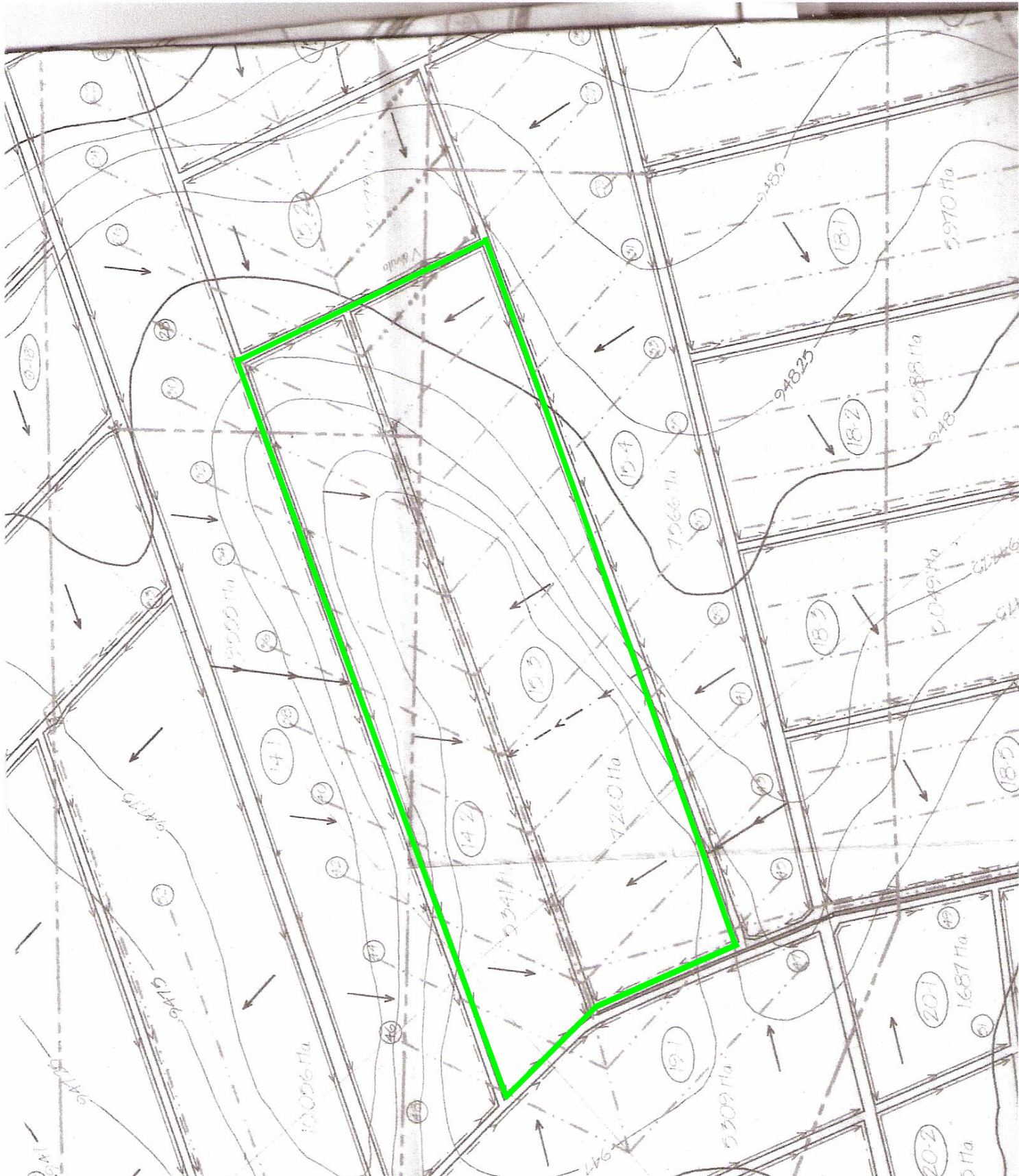
Escala: 1:4000 Mayo del 2000

# CONVENCIONES





## ÁREA SELECCIONADA



**ANEXO L. COTIZACIONES CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE DRENAJE  
AGRÍCOLA**



# DRENAJES Y CONSTRUCCIONES E.U.

Nít. 805.006.390-5

Santiago de Cali, 24 de Octubre de 2005

Señor Doctor  
**CARLOS ALBERTO ROJAS**  
**SUCROMILES**  
Ciudad

FAX: 444 55 59

Apreciado Dr. Rojas

De la manera mas atenta me dirijo a Usted con el fin de cotizarle el precio por metro lineal de Drenaje Interno Entubado considerando las cuatro alternativas de tubería disponible así:

**TUBERIA CORRUGADA CON  
GEOTEXTIL****PRECIO X MTRO LINEAL SIN IVA**

2 1/2"	\$10.331
4 "	17.962
6 "	41.132
8 "	55.855

**ACCESORIOS**

<b>Diámetro</b>	<b>Uniones</b>	<b>Tapones</b>	<b>Salidas</b>
2 1/2"	4.485	1.729	24.169
4	6.070	3.337	33.242
6	14.986	9.955	86.002
8	24.176	13.202	105.491

**CONSTRUCCIÓN**

2 1/2 y 4" a	\$10.500 x metro
6 y 8" a	\$12.000 x metro

**VALIDEZ DE LA PROPUESTA :** quince (15) días a partir de la fecha.

Atentamente,

  
**JOSE MARIA LOMBANA**  
Gerente

Avenida 4 A Oeste #4-43  
Teléfono : 8936149 - Celular: (315) 5274458 - Fax (092) 261 1049  
Email: jmlombana@gmail.com  
Cali - Valle



## PROPUESTA PARA REALIZACION ESTUDIO DE DRENAJE AGRICOLA EN PREDIOS LOCALIZADOS EN LA ZONA SUR DEL DPTO DEL VALLE Y NORTE DEL DPTO DEL CAUCA.

### 1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El drenaje adecuado produce beneficios en los siguientes aspectos: Aumenta la aireación y mejora la estructura del suelo, proporciona a las plantas más humedad aprovechable y elementos nutritivos, mejora los procesos microbiológicos, facilita las labores mecanizadas del suelo, reduce la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos y animales y permite el lavado de sales en exceso.

Los objetivos del estudio son determinar los problemas de drenaje superficial e interno existentes en el área y proponer alternativas para solucionarlos.

El cumplimiento de estos objetivos exige que el estudio cubra al menos un período de lluvias y uno de sequía para definir con precisión los sectores afectados por encharcamientos, niveles freáticos perjudiciales, las fuentes de recarga, el funcionamiento de colectores existentes y la capacidad natural de drenaje que poseen los suelos existentes en el área.

### 2. CONTENIDO DEL ESTUDIO

Con referencia al trabajo de campo se realizarán las siguientes labores:

- Descripción del perfil del suelo hasta 2,50 m. de profundidad, en aproximadamente 1 sitio por cada 3 - 4 hectáreas.
- Instalación de freatímetros (pozos de observación y/o baterías de piezómetros) en cada uno de los sitios donde se describa el perfil del suelo.



- Mediciones periódicas (quincenales) del nivel freático en los freatómetros.
- Realización pruebas de conductividad hidráulica (K), directamente en el sitio por el método del sondeo (Auger Hole). La conductividad hidráulica es una propiedad hidrofísica del suelo por medio de la cual se mide la capacidad relativa del suelo para transmitir el agua, sus unidades de medida son m/día, cm./hora, etc. La determinación de esta propiedad del suelo es indispensable en los estudios de drenaje porque todas las ecuaciones para calcular la separación (L) entre drenes la involucran directamente.

Con base en los resultados obtenidos de los trabajos de campo se elaborará un informe que incluirá:

- Una explicación breve de la metodología utilizada en los diferentes aspectos analizados.
- Presentación y discusión de los resultados, mediante el apoyo de figuras y gráficos ilustrativos. Se presentarán las siguientes figuras:
  - Mapa de Generalidades. En el mapa del área estudiada se indican los sitios donde se instalaron los freatómetros, donde se realizaron las pruebas de conductividad hidráulica y todos los detalles existentes en el predio que sean importantes para el estudio.
  - Mapa de Texturas. La información de campo recopilada en la descripción de los perfiles del suelo se presentará en forma esquemática por medio de barras que indicaran el espesor de los diferentes estratos del suelo y sus respectivas texturas. Con la ayuda de esta figura se realizará un análisis espacial para mapificar las áreas con características similares en su estratigrafía.



- Mapas de Isobatas o de igual profundidad del nivel freático. Estos mapas se elaboran utilizando los registros de las lecturas de las profundidades de los niveles freáticos en diferentes fechas. Las isobatas permiten delimitar las áreas que requieren drenaje de acuerdo a la gravedad de los problemas detectados.
- Mapas de Isohipsas o de igual cota del nivel freático. Estos mapas permiten conocer la dirección del flujo subterráneo, el gradiente hidráulico y la procedencia de las recargas.
- Los Hidrogramas del nivel freático. Esta gráfica permite observar las variaciones de profundidad del nivel freático en varios freatímetros y su relación con las lluvias ocurridas en el predio.
- Plano de diseño del sistema de drenaje recomendado.
- Cálculo de los costos para implementar las obras recomendadas.
- Conclusiones y recomendaciones.

### 3. CONDICIONES Y COSTO.

El plazo para la entrega del informe es de aproximadamente 10 meses después de iniciados los trabajos de campo. Además del informe final se presentarán informes parciales de avance que permitirán adelantar obras que se requieran urgentemente. Se entregarán dos copias del informe final.

El propietario debe suministrar:

- El plano topográfico y planimétrico del área y la información topográfica que se requiera



ALFONSO ORTEGON VERGARA  
INGENIERO AGRICOLA  
SUELOS, RIEGO Y DRENAJE - ESTUDIOS Y ASESORIAS

para los diseños.

- 1 obreros para colaborar en los trabajos de campo.

El costo del trabajo es de \$ 60.000 por hectárea. Su cancelación se debe hacer de la siguiente forma: 30% para iniciar trabajos de campo; 30% a los 4 meses de iniciado el estudio previa presentación de un informe de avance, 40% a la terminación del estudio y entrega a satisfacción del informe final.

Atentamente,

cc. 14'990.959 de Cali

Cali, 25 de octubre de 2005