



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

**Efectos de la aplicación de un efluente industrial en el agua
de un suelo forestal de la Provincia de Valdivia, X Región.**

Patrocinante: Sr. Juan Schlatter

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero Forestal**.

JUAN ANDRÉS ANZIETA NEUMANN

VALDIVIA
2003

I CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Juan Schlatter V.	6,3
Informante:	Sr. Renato Grez Z.	6,5
Informante:	Sr. Víctor Gerding S.	6,1

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Juan Schlatter V.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, primero que nada, a los profesores Juan Schlatter, Renato Grez y Victor Gerding por su constante apoyo en la realización de esta tesis y a lo largo de todo el periodo de estudio de la carrera.

También me gustaría agradecer a Harinas y Levaduras Collico Ltda., por apoyar este interesantísimo proyecto.

Igualmente agradecer el apoyo de Gisela Romeny, jefe del Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, y a todo su personal, quienes fueron los encargados de procesar todas las muestras de efluente y agua. A Don Miguel, por su ayuda y entusiasmo en terreno. A todo el personal de la Escuela de Ingeniería Forestal (Don Pancho, Alejandra, Raquel, Carolina, Señora Inge, Señora Eli, Marcelo) quienes hicieron mucho más agradable el paso por la escuela. A mi gran amigo y compañero en este proyecto Bruno Martín. Su constante apoyo y amistad fueron una ayuda importante. A todos mis amigos y compañeros de carrera (Mathías, Chan, Jaime, Roca, Fernando, Kote) y especialmente a mi gran amigo David Gutierrez, por todo su apoyo y fraternal amistad.

Finalmente, quiero agradecer a mis padres por haberme permitido convertirme en lo que soy. A mis hermanos, Alejandra y Tomás, y a mi señora Francisca, por todo el amor incondicional que me han entregado por tanto tiempo.

II ÍNDICE DE MATERIAS

1.	INTRODUCCIÓN	01
2.	MARCO TEÓRICO	02
2.1	El agua del suelo	02
2.1.1	Infiltración	03
2.1.2	Escorrentía	04
2.1.3	Calidad del agua	04
2.1.4	Demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO)	06
2.2	Vinaza	07
2.2.1	Efectos de la vinaza sobre el suelo y los cultivos	07
2.2.2	Medición de la salinidad	10
2.2.3	Proceso industrial de elaboración de la levadura	11
3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	13
3.1	Caracterización del efluente	13
3.2	Ubicación y descripción del lugar en estudio	14
3.2.1	Características del lugar	14
3.2.2	Clima	14
3.2.3	Suelo	15
3.3	Diseño experimental	17
3.3.1	Diseño	17
3.3.2	Tratamientos	17
3.4	Obtención de datos	18
3.4.1	Recolección de muestras	18
3.4.2	Análisis de laboratorio	20
3.5	Análisis estadístico	21
4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
4.1	Efluente	22
4.2	Agua de lluvia y pluviolavado	25
4.3	Escurrimiento	27

4.4	Agua de percolación	29
4.5	Análisis por estratos	34
4.6	Agua de la cuenca	35
4.7	Discusión general	36
4.7.1	Composición del efluente	36
4.7.2	Agua de lluvia y pluvio lavado	38
4.7.3	Agua del suelo y escurrimiento superficial	38
4.7.4	Dosis máxima	39
5.	CONCLUSIONES	41
6.	BIBLIOGRAFÍA	43
7.	ABSTRACT	46

ANEXOS

III ÍNDICE DE CUADROS

2.1	Grado de salinidad de los suelos según su conductividad eléctrica.	10
2.2	Valores promedio de conductivimetría para diferentes tipos de aguas en diferentes ambientes.	11
3.1	Composición química del efluente ecualizado.	13
3.2	Periodos de aplicación del efluente.	17
3.3	Dosis de efluente aplicado en cada parcela.	18
3.4	Dosis de elementos que se aplicaron en cada una de las parcelas	18
4.1	Composición química del efluente	22
4.2	Cantidad aportada de elementos según dosis aplicada y periodo de riego (kg/ha)	23
4.3	Conductivimetría del agua lluvia y pluviolavado	25
4.4	Fechas críticas de escurrimiento superficial	28
4.5	Agua caída durante el transcurso del ensayo	29
4.6	Variación del pH en el agua del suelo	30
4.7	Variación de la conductivimetría del agua del suelo a los 25 cm de profundidad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	30
4.8	Coeficiente de correlación entre las concentraciones (g/l) de los distintos elementos analizados en las muestras de agua extraídas desde los 25 y 90 cm de profundidad	31
4.9	Variación de la conductivimetría del agua del suelo a los 90 cm de profundidad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	32
4.10	Análisis del agua del arroyo cercano al ensayo	36
4.11	Diferencias entre el aporte de elementos estimado con anterioridad al estudio y aportes reales una vez establecido el riego en kg/ha-mes por dosis	37
4.12	Cifras orientadoras con respecto a las dosis recomendadas	40

IV ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Efluente Industrial de la planta de levadura	13
3.2	Vista del rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> ubicado en el fundo Collico	14
3.3	Perfil del suelo que se encuentra en el lugar de estudio	15
3.4	Sistema de recolección de agua de escorrentía	20
4.1	Aporte promedio mensual de elementos durante los cuatro periodos de riego con el efluente	24
4.2	Concentración de potasio del pluviolavado en las parcelas testigo y en los 3 diferentes niveles de aplicación de efluente.	26
4.3	Concentración de calcio del agua del suelo extraída a los 90 cm de profundidad	33
4.4	Variación en la concentración de calcio a través del tiempo para los diferentes estratos de medición en la parcela de 25 mm de riego	35

V RESUMEN EJECUTIVO

La empresa valdiviana Harinas y Levaduras Collico Ltda., al elaborar la levadura produce un efluente rico en compuestos orgánicos que es actualmente descargado en el río Calle-Calle. Estos compuestos químicos, del tipo melanoidinas, poseen una estructura química similar a los compuestos húmicos que se encuentran normalmente en el suelo de los bosques.

La empresa fue solicitada en tratar el efluente a objeto de adecuarlo a las normas de calidad de las aguas residuales que se están implementando en el país. Por este motivo, encargó al grupo de trabajo de Nutrición y Suelos Forestales del Instituto de Silvicultura de la Universidad Austral de Chile la realización de un estudio para que analizara la posibilidad de descargar el efluente en los predios forestales que posee la empresa. El proyecto contempló por un lado la evaluación de la capacidad del suelo de reciclar el efluente industrial, y por otro el análisis del valor químico-nutritivo del producto con el fin de potenciar el desarrollo de los bosques.

El objetivo central de este trabajo de titulación fue comprobar si la aplicación del efluente provoca o no consecuencias negativas en el agua del suelo, identificando los cambios que experimenta la composición química del agua en el ciclo hídrico de un bosque, además de inferir la dosis máxima de efluente que el suelo es capaz de tolerar sin verse afectado de manera adversa.

Los resultados del estudio indican que para poder cumplir con niveles ambientalmente aceptables, las dosis aplicadas experimentalmente deben reducirse drásticamente. El caso del nitrógeno y el de las sales sódicas y potásicas son los más críticos. Según cálculos efectuados, y con el objeto de evitar propasar niveles aceptables de concentración de nitrógeno en el agua de lixiviación, es que las dosis a aplicar no debieran exceder los diez milímetros de riego mensual, de los cuales, sólo cinco debieran ser de efluente y el resto de agua.

1. INTRODUCCIÓN

Chile, junto con experimentar un crecimiento económico importante, ha tenido que empezar a preocuparse por los problemas ambientales generados por dicho crecimiento. Es por ello que recientemente se han promulgado leyes y establecido normas ambientales destinadas a subir los estándares y nivelarlos con aquellos de países más desarrollados. Se busca de esta manera la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Dentro de este contexto, muchas empresas deben a corto plazo mejorar los estándares ambientales de los procesos productivos en los que participan. Es así como las empresas que emiten efluentes, deben necesariamente velar porque ellos sean tratados para no provocar un efecto negativo en el ambiente. Las empresas, como es lógico, están buscando la manera más económica de resolver el problema. Es por ello que, como una opción diferente a la construcción de costosas plantas de tratamiento de efluentes industriales, se está buscando la posibilidad de solucionar la problemática, investigando la factibilidad de una serie de proyectos alternativos.

Uno de estos proyectos alternativos es el que involucró a la empresa valdiviana Harinas y Levaduras Collico Ltda. Al elaborar la levadura, la empresa produce un efluente rico en compuestos orgánicos que es actualmente descargado en el río Calle-Calle. Estos compuestos químicos, del tipo melanoidinas, poseen una estructura química similar a los compuestos húmicos que se encuentran normalmente en el suelo de los bosques. Como la intención de la empresa es dejar de descargar estos residuos líquidos en el río, y producto de la similitud entre los compuestos químicos contenidos en el efluente y aquellos encontrados en los suelos de nuestros bosques, se realizó un estudio que analizó la posibilidad de descargar el efluente en los predios forestales que posee la empresa. Estos predios, que cuentan con una superficie de aproximadamente 1000 hectáreas, poseen la particularidad de encontrarse muy cerca de la planta industrial, otorgando de esta manera, una gran ventaja en lo que significa el proceso de transporte del efluente desde la planta de producción hacia los bosques. El proyecto contempló la evaluación de la capacidad del suelo de reciclar el efluente industrial, y de los efectos provocados en el suelo, el agua y las plantas producto de la descarga de tal líquido. Específicamente, este trabajo de tesis se centró en el agua contenida en el suelo de los bosques mencionados, pretendiendo señalar la factibilidad, desde el punto de vista ambiental y de la dinámica del recurso hídrico, de implementar un sistema de regadío del efluente industrial en los bosques de propiedad de la empresa.

El objetivo central de esta tesis fue comprobar si la aplicación del efluente provoca o no consecuencias negativas en el agua del suelo.

Los objetivos específicos son: a) identificar los cambios que experimenta la composición química del agua en el ciclo hídrico de un bosque, por efecto de la aplicación del efluente industrial; b) inferir la dosis máxima de efluente que el suelo es capaz de reciclar, sin provocar una disminución en la calidad del agua del suelo.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El agua del suelo

El agua del suelo juega un importantísimo papel en el área forestal. Entre las funciones que desempeña se cuentan, por ejemplo, la de servir a las necesidades metabólicas de las plantas, ser disolvente y medio de transporte para los nutrientes, ser una fuente de hidrógeno, actuar como moderador de la temperatura del suelo y de la aireación, y participar como un agente de disolución de sustancias tóxicas de los suelos (Donoso, 1981; Pritchett, 1990).

El agua del suelo puede diferenciarse en tres fracciones de acuerdo con la fuerza que es retenida en el suelo. El agua de gravitación, que se drena por gravedad a través de los espacios porosos grandes del suelo y que va a alimentar a las napas freáticas. El agua capilar, que se retiene en los poros capilares y alrededor de las partículas del suelo por fuerzas de cohesión y adhesión después de que se ha eliminado el agua gravitacional. El agua higroscópica, que es retenida muy firmemente, como una delgada película que rodea las partículas aisladas del suelo, después de que el agua capilar ha sido removida (Bennett, 1965; Donoso, 1981; Pritchett, 1990).

El agua de gravitación y el agua capilar se mueven en el suelo. Este movimiento está regulado por la diferencia en el nivel de energía del agua desde un lugar a otro, determinando la dirección y tasa de movimiento. El determinar el nivel absoluto de energía del agua del suelo es una difícil y a veces imposible tarea. Afortunadamente, no es necesario conocer el nivel absoluto de energía del agua, para predecir cómo ésta se moverá en el suelo. Sólo basta con conocer valores relativos de la energía del agua del suelo. Usualmente, el nivel de energía del agua del suelo en un punto particular del perfil, es comparado con aquel del agua pura en condiciones estándares de presión y temperatura, no afectada por el suelo y a una elevación de referencia. La diferencia de niveles de energía entre esta agua pura en estado de referencia y aquella del agua del suelo es denominada potencial hídrico del suelo (Brady y Weil, 1999).

Algunos factores que influyen en el movimiento del agua son:

Potencial hídrico

El potencial hídrico se obtiene de la resta entre los potenciales mátrico y osmótico (ambos negativos) y el potencial gravitacional (positivo). El potencial mátrico produce una disminución en el potencial hídrico derivada de la imbibición o adsorción de agua por cientos de cuerpos, como las partículas del suelo (Donoso, 1981). Al igual que en el caso del potencial mátrico, el potencial osmótico también disminuye el potencial hídrico ya que representa la atracción de los iones y otros solutos por el agua. El potencial gravitacional, en cambio, es una fuerza positiva (fuerza de gravedad) que actúa sobre el agua del suelo tendiendo a moverla desde una parte alta a otra más baja. El agua del suelo se mueve desde zonas de

mayor potencial hídrico hacia zonas de menor potencial hídrico (Pritchett, 1990; Brady y Weil, 1999).

Condición de saturación

En condiciones no saturadas, los macroporos están llenos principalmente de aire y los microporos con agua, y el movimiento del agua es muy lento. Cuando el suelo se encuentra saturado el movimiento del agua se acelera (Pritchett, 1990).

Espacio poroso

El agua se mueve a través del suelo por los espacios porosos de éste, lo que implica que su conductividad hidráulica por lo general disminuye a medida que estos espacios se reducen (Pritchett, 1990).

Textura del material componente del suelo

Los cambios abruptos de textura, entre capas, dan como resultado variaciones en la conductividad que retrasan el movimiento de agua (Pritchett, 1990).

Temperatura del suelo

Las diferencias de temperatura entre el suelo superficial y los horizontes más profundos pueden dar como resultado un movimiento ascendente del vapor de agua en el invierno y otro descendente durante el verano, afectando así el movimiento del agua en el perfil (Pritchett, 1990).

2.1.1 Infiltración

La infiltración es el proceso por medio del cual el agua pasa a través de la superficie del suelo. Ya que en la superficie del suelo del bosque existe una capa de mantillo sobre el suelo mineral y porque el espesor de esa capa cambia según la estación del año, la infiltración se define como la entrada de agua al suelo mineral (Hewlett y Nutter, 1969).

El concepto de infiltración se aplica generalmente al modo como penetra toda el agua en el suelo. La tasa de agua que penetra en el suelo se determina de manera más específica por el contenido inicial de agua, el grado de pendiente del suelo, la permeabilidad de la superficie, las características internas del suelo (espacio poroso, grado de dilatación de los coloides del suelo, contenido de materia orgánica), la intensidad y duración de la precipitación pluvial y la temperatura del suelo y del agua (Kramer, 1969, citado por Pritchett, 1990; Baker, 1950).

A pesar de que el agua se mueve rápidamente a través del humus y que su infiltración en el suelo mineral es considerada como un proceso crítico en la

hidrología, bajo la cubierta forestal la infiltración es escasamente crítica (Hewlett y Nutter, 1969).

La cantidad de mantillo que se encuentra en los suelos forestales es muy importante en cuanto a la mantención de tasas de infiltración adecuadas. La capa de hojarasca no solo amortigua el impacto de las gotas de lluvia, evitando la agitación de las partículas del suelo e impidiendo la formación de costras superficiales, sino que también disminuye el movimiento lateral del agua superficial, haciendo posible un periodo más largo de infiltración (Pritchett, 1990).

2.1.2 Escorrentía

La escorrentía o escurrimiento es un concepto que se refiere tanto al movimiento del agua que no penetra en el suelo, o sea, que se desplaza sobre la superficie de éste hasta llegar a la cuenca que sirve de drenaje al área, como también al agua que fluye entre las capas superficiales del suelo hacia las cuencas de drenaje. Por ello es que se distinguen tanto la escorrentía superficial como la escorrentía subsuperficial (Donoso, 1981; Linsley *et al.*, 1977; Baker, 1950).

Según Linsley *et al.* (1977), la escorrentía superficial corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal, entendiendo por canal cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente de agua en flujo turbulento durante una lluvia y durante un período corto después de su terminación.

La cantidad de agua perdida por concepto de escorrentía superficial es extremadamente variable. Puede ser nula en suelos de poca o escasa pendiente, que sean sueltos y de buena estructura, hasta muy elevada en suelos escarpados, rocosos e impermeables (Baker, 1950).

La llamada escorrentía subsuperficial es la que es capaz de moverse lateralmente en los horizontes superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Este tipo de escorrentía se mueve más lento que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente (Linsley *et al.*, 1977).

2.1.3 Calidad del agua

El agua puede ser alterada en su calidad a través de tres principales sedimentos o desechos: los sedimentos originados por erosión a raíz de la agricultura, la silvicultura, la ganadería, la minería, y otras actividades; los desechos humanos y animales; los vertidos de las diferentes sustancias químicas utilizadas en los procesos industriales (Napoli y Di Paola, 1999).

El término "calidad del agua" puede cambiar en el grado de exigencia dependiendo del uso: para el consumo, para la recreación, para el riego o para la generación eléctrica. La calidad del agua, sin hacer referencia a la intención de uso, incluye las propiedades físicas, químicas y biológicas asociadas con el

material mineral y orgánico suspendido y disuelto en el agua. El agua de alta calidad para ciertos usos, puede no requerir limitantes en todas y cada una de las tres propiedades (Hewlett y Nutter, 1969).

Hewlett y Nutter (1969) describen los siguientes parámetros de la calidad del agua:

Sedimentos orgánicos suspendidos: son partículas vegetales y animales, usualmente presentes en altas concentraciones durante las crecidas.

Turbiedad: es el grado de oscurecimiento del agua por partículas suspendidas, ya sean minerales u orgánicas.

Cantidad total de sólidos disueltos: es una medida del material mineral y orgánico disuelto en el agua. Es determinado usualmente evaporando un volumen de agua y pesando los residuos.

Gases disueltos: se incluyen en las mediciones el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno. Cada uno se obtiene a través de diferentes métodos.

Alcalinidad: es la habilidad del agua de neutralizar ácidos o la habilidad del agua de resistir un cambio de pH. La alcalinidad usualmente refleja la actividad del carbonato de calcio.

Dureza: es causada principalmente por los iones de calcio y magnesio. Las aguas consideradas blandas tienen una concentración menor a 60 mg/l, mientras que las aguas duras tienen una concentración mayor a 180 mg/l. Las aguas blandas son deseables para casi todos los usos, sin embargo, aguas con una dureza inferior a 20 mg/l son consideradas biológicamente improductivas.

Oxígeno disuelto: es un índice de la calidad sanitaria del agua. Concentraciones normales de oxígeno disuelto, entre 8 y 14 mg/l, indican que existen condiciones aeróbicas. Concentraciones menores a 5 mg/l son tóxicas para la mayor parte de los peces.

Temperatura: tiene un efecto en todos los aspectos de la calidad de las aguas, particularmente de aquellas influidas por la actividad biológica. La concentración de los gases disueltos se ve generalmente incrementada con temperaturas más bajas.

Demanda biológica de oxígeno: es un término usado principalmente en el tratamiento de aguas contaminadas o aguas de desecho. Es una medida de la magnitud de materia orgánica oxidada a través de procesos bioquímicos aeróbicos.

Las consecuencias del uso de aguas de mala calidad sobre los suelos, dependen de la composición química del agua, de la cantidad de agua aplicada, de las

características propias del suelo y de la interacción de todos los parámetros mencionados en conjunto (Heredia y Medina, 1999).

2.1.4 Demanda biológica (DBO) y química (DQO) de oxígeno

La demanda de oxígeno de las aguas negras, efluentes de plantas de tratamiento de aguas negras, aguas contaminadas y desechos industriales se debe a tres clases de materiales: a) materiales orgánicos carbonosos, que se aprovechan como una fuente de nutrientes por los organismos aerobios; b) materiales nitrogenados oxidables, que se derivan de los compuestos de nitrito y amoníaco y nitrógeno orgánico, que sirven de nutrientes a bacterias específicas como Nitrosomonas y Nitrobacter, y c) ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfito y sulfuro), que reaccionan con el oxígeno molecularmente disuelto (American Public Health Association, 1963).

La demanda biológica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar por medios biológicos (microorganismos) la materia orgánica biodegradable de una muestra de agua residual hasta los productos finales: bióxido de carbono y agua. Se determina mediante métodos aceptados oficialmente y su valor es uno de los parámetros que definen la calidad del agua. Es una medida indirecta de la contaminación de estas aguas por la materia orgánica que generalmente procede de las descargas domésticas (Marino *et al.*, 2000). Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (IDEAM, 1999). Debido a que sobre este valor influyen la cantidad de materia orgánica, la temperatura y el tiempo de incubación, así como los microorganismos que se empleen, estos tres últimos factores se establecen claramente en los métodos de la prueba de DBO (Marino *et al.*, 2000).

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20° C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD) produce la medida de la DBO (IDEAM, 1999).

Por su parte la demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar el total de la materia orgánica presente en una muestra de agua residual hasta dar bióxido de carbono y agua como productos finales. Es una medida indirecta de la contaminación de estas aguas por sustancias diversas, en las que usualmente predominan las de origen industrial. Debido a que para la prueba de DQO se utilizan oxidantes fuertes, requiere de sólo tres horas, a

diferencia de la DBO que como ya se dijo necesita 5 días. Por regla general, es mayor que la DBO (Marino *et al.*, 2000).

2.2 Vinaza

La vinaza que es producto residual de la destilación de la melaza, contiene grandes cantidades de nitrógeno y potasio y a diferencia de la vinaza de caña de azúcar contiene también grandes cantidades de sodio (Assimakopoulos, 2000).

La vinaza es considerada como el segundo contaminante orgánico entre aquellos producidos por industrias agrícolas (Catroux *et al.*, 1974, citado por Assimakopoulos, 2000).

Según Assimakopoulos (2000), la opción de utilizar la vinaza como fertilizante depende de dos factores importantes:

- La tolerancia de cada especie de planta a las sales solubles y específicamente al sodio que contiene la vinaza.
- Los efectos en las propiedades del suelo y el medioambiente.

El sodio contenido en la vinaza puede causar algunos problemas al suelo y a los cultivos. El sodio está correlacionado de manera lineal al potencial osmótico de la solución del suelo y cualquier aumento en sus concentraciones puede causar plasmólisis en las células activas del sistema radicular y/o una baja en la absorción de agua por parte de las plantas (Richards, 1954).

La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo. Si se tiene en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos concentradas a las más concentradas con objeto de diluir estas últimas e igualar las presiones osmóticas de ambas, se comprende que cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de estas últimas hacia la solución del suelo (Dorrnsoro, 2000).

Más aún, cualquier aumento del sodio adsorbido a los coloides del suelo puede aumentar la alcalinidad de éste y puede también tener un efecto negativo en la estabilidad de agregados (Richards, 1954).

2.2.1 Efectos de la vinaza sobre el suelo y los cultivos

La concentración de sales confiere al suelo unas propiedades muy particulares con efectos muy nocivos para los cultivos. Se puede deber a causas naturales o ser el resultado de acciones antrópicas (Dorrnsoro, 2000).

Según Dorronsoro (2000), se distinguen dos situaciones, con morfologías, propiedades, génesis y usos de los suelos muy diferentes, según si el catión predominante en el complejo de cambio es el sodio o el calcio.

Si el catión predominante es el calcio, las sales solubles son muy abundantes en el suelo. El perfil se encuentra muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable como resultado de la acción floculante del calcio. Esto significa que las fuerzas predominantes entre las partículas de arcilla son las fuerzas de atracción, lo que provoca una agregación de las partículas generando una buena estructura (Hillel, 1998).

Cuando es el sodio el catión dominante se produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. En este caso las fuerzas predominantes entre partículas son las de repulsión (Hillel, 1998).

Por otra parte, la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y ésta provoca intensa alteración mineral. El perfil queda bien diferenciado desde el punto de vista morfológico (Dorronsoro, 2000).

Un elevado contenido en sodio en la solución del suelo, en relación con el calcio y magnesio, da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ello, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Según varios autores la concentración de sodio frente al calcio y magnesio en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el sodio pueda desplazar al calcio y magnesio en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción de un elemento monovalente (sodio) en relación a uno bivalente o trivalente (Hillel, 1998 y Dorronsoro, 2000).

Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $Na / S > 15\%$ (S = suma de otros cationes adsorbidos) (Dorronsoro, 2000).

La relación de adsorción de sodio (RAS) es un indicador de los niveles de sodio que posee el agua de riego y que un suelo es capaz de recibir.

La relación de adsorción de sodio se calcula como:

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$$

Donde: [Na]: Concentración de sodio en mmol/l
[Ca]: Concentración de calcio en mmol/l
[Mg]: Concentración de magnesio en mmol/l

Carrow *et al.* (1999) entregan los siguientes rangos para la clasificación del agua de riego según su RAS:

- RAS < 10 : el agua puede ser utilizada para regar la mayoría de los suelos sin deteriorar la estructura.
- 10 < RAS < 18 : hay una apreciable peligrosidad del sodio en suelos con textura fina.
- 18 < RAS < 26 : los niveles de acumulación de sodio son dañinos en la mayoría de los suelos, y requerirían un uso intensivo de enmiendas, drenaje y lixiviación.
- RAS > 26: el agua es generalmente inadecuada para el riego excepto en niveles bajos a medios de salinidad del suelo. Requieren también un manejo intensivo.

La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan y los agregados estructurales se destruyen (Dorrnsoro, 2000).

Bajo climas húmedos, sin embargo, las sales solubles en un principio presentes en los materiales del suelo, son lavadas y transportadas a horizontes inferiores, hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos. Por consiguiente, normalmente no existen problemas de salinidad en regiones húmedas excepto en los casos de contaminación agrícola e industrial (Dorrnsoro, 2000).

En un estudio hecho en Grecia por Assimakopoulos (2000), enfocado a determinar los efectos en las propiedades físico-químicas del suelo y en el crecimiento de plantas con distinta tolerancia a las sales y al sodio producto del riego con vinaza, se determinó un aumento significativo del pH del suelo 52 días después de la aplicación de 10 toneladas de vinaza por hectárea. De igual forma se determinó un aumento significativo de la conductividad eléctrica del suelo, tanto en aquellas aplicaciones de 10 toneladas por hectárea como también en las de 20 toneladas por hectárea.

Mass y Hoffman (1977), citado por Dorrnsoro (2000), encuentran que existe una relación lineal entre la salinidad del suelo y la disminución en la producción de los cultivos:

$$Y = 100 - b (CEs - a)$$

Donde: Y = producción del cultivo en porcentaje con respecto al máximo
 Ces = conductividad eléctrica del extracto de saturación en dS/m
 a y b = parámetros cuyos valores son constantes para cada cultivo

2.2.2 Medición de la salinidad

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmho/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmho/cm = 1 dS/m). La conductividad eléctrica también se expresa en μ S/cm (μ S=microSiemens). Un dS/m es equivalente a 1000 μ S/cm. La CE_s refleja la concentración de sales solubles en la solución (Dorransoro, 2000).

El cuadro 2.1, y en base a la CE_s, el *United States Salinity Laboratory* de Riverside, establece los siguientes grados de salinidad.

Cuadro 2.1 Grado de salinidad de los suelos según su conductividad eléctrica.

Conductividad eléctrica (dS/m)	Grado de salinidad
0 – 2	Suelos normales
2 – 4	Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles. Suelos ligeramente salinos.
4 – 8	Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Suelos salinos.
8 – 16	Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos.
> 16	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables. Suelos extremadamente salinos.

En lo referente a las aguas, en el cuadro 2.2 se resumen sus valores normales en diferentes ambientes.

Cuadro 2.2 Valores promedio de conductividad eléctrica para diferentes tipos de aguas en diferentes ambientes.

Conductividad eléctrica (dS/m)	Tipo de agua
0,15	Agua de lluvia
0,30	Agua de río
63,00	Agua de mar
0,75 - 2,25	Agua de riego

Fuente: Dorronsoro (2000).

2.2.3 Proceso industrial de elaboración de la levadura

Al proceso industrial de elaboración definitiva de la levadura la anteceden dos procesos de preparación fundamentales: la recepción y acondicionamiento de la materia prima y el acondicionamiento de las cepas de levadura.

Recepción y acondicionamiento de la materia prima

La principal materia prima que interviene en el proceso de fabricación de la levadura es la melaza. La melaza es un subproducto de la fabricación del azúcar, y es recepcionada en la planta industrial y almacenada en grandes estanques. Antes de entrar al proceso de fermentación, la melaza es esterilizada a una temperatura de 100° C, con fin de eliminar toda la flora mesófila bacteriana que pueda tener. En las llamadas tinas de cocción, se le adiciona agua y ácido clorhídrico a la melaza para bajar el pH, y luego le es aplicada la temperatura. La mezcla es llevada a la clarificadora, que ejerce un efecto de centrifugado, y cuya función es la de separar todos los barros y suciedades que tiene la melaza para dejar un producto apto para la fermentación. Luego de ser clarificada, la melaza es llevada a las llamadas tinas de espera, donde es almacenada a unos 80° C, con el objetivo de poder asegurar la calidad microbiológica del producto.

De manera paralela a la recepción y acondicionamiento de la materia prima se desarrolla el acondicionamiento de las cepas de levadura.

Acondicionamiento de las cepas de levadura

Esta etapa se inicia en el laboratorio. Existen dos tipos de cepas: aquellas que se destinan a la producción de levadura para masa salada y las que se utilizan para producir levadura para masa dulce. Las cepas deben mantenerse en condiciones de refrigeración, hasta que son tomadas con un asa esterilizada y depositadas en un matraz de 250 ml que contiene un sustrato de mosto. Ahí se deja fermentar, en condiciones de incubación, por 24 horas. Luego se traslada a un matraz cuya

capacidad es de 8 litros y allí se deja por 24 horas más a una temperatura de 29 a 30° C.

Después de que estos dos procesos llegan a su fin, se procede a la etapa de elaboración industrial propiamente tal.

Proceso industrial

En esta etapa se procede a preparar los llamados propagadores de cultivo, que tienen una capacidad aproximada de 6000 litros. En ellos, se mezclan los productos de ambos procesos previos. Por una parte, la melaza con una determinada proporción de agua, más una serie de vitaminas, y por otro, unos 16 litros del inóculo de levadura preparado en el laboratorio. Allí se deja reposar la mezcla por unas 20 a 24 horas a una temperatura siempre inferior a los 30° C. Una vez terminada esta parte del proceso, la mezcla poseedora de un alto contenido celular de levadura es llevada a los tanques de fermentación que tienen una capacidad de unos 90 m³. De esta fermentación base o también llamada fermentación madre, se obtienen unas seis o siete fermentaciones diferenciales o hijas. Ya que se trabaja con un ser vivo que se está multiplicando, en ambos tipos de fermentación se agrega oxígeno para que pueda respirar, melaza como una fuente de carbono y por lo tanto de energía, algunas sales como sulfato de amonio y urea como una fuente de nitrógeno, y también algunas vitaminas. Una vez finalizado el proceso de fermentación, se procede a separar la levadura del resto del material que contiene el tanque fermentador. Este proceso se lleva a cabo con la ayuda de una especie de centrífuga que permite separar la levadura de la vinaza. La vinaza es el líquido remanente del proceso de fermentación y es el componente mayoritario del efluente que emite la fábrica. La levadura que se extrae en el proceso es llevada a los llamados tanques de crema, en donde se almacena y distribuye en dos subprocesos de producción diferentes. Uno de ellos dice relación con la producción de levadura fresca prensada y el otro con la producción de levadura seca.

Todos los residuos líquidos emitidos durante el proceso son llevados a un tanque ecualizador. Este es llenado por la vinaza que sobra en el proceso de fermentación y por otros residuos originados principalmente del aseo que se hace de los diferentes tanques contenedores que intervienen en el proceso. Este tanque ecualizador representa el efluente industrial utilizado en esta tesis.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1 Caracterización del efluente.

La composición química del efluente sufre variaciones atribuibles a la proporción de los residuos originados durante el proceso de producción de la levadura que forman parte del efluente. Sin embargo estas variaciones se minimizan en parte al equalizar el efluente. Este proceso consiste en juntar y mezclar los diferentes residuos para así otorgar una mayor homogeneidad al producto (Figura 3.1).



Figura 3.1 Efluente Industrial de la planta de levadura.

A continuación se presenta en el cuadro 3.1 la composición química de referencia del efluente.

Cuadro 3.1 Composición química del efluente equalizado.

Elemento (mg/l)									
C	N	P	Na	K	Ca	Mg	B	S	RAS
3300	374	10,2	842	700	89	2	5,5	229	14,3

El pH del efluente fluctúa entre los valores de 5 y 7. Estas cifras resultan del análisis efectuado a una muestra representativa entregada por la empresa Levaduras Collico y analizada por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales.

3.2 Ubicación y descripción del lugar en estudio.

3.2.1 Características del lugar.

El lugar donde se desarrolla el proyecto se denomina Fundo Collico y se encuentra en las cercanías de la ciudad de Valdivia a unos 600 metros de donde nace el camino rural que une Valdivia con Pishuinco, Huelleshue y Los Lagos. El Fundo Collico se encuentra mayormente plantado con especies exóticas de rápido crecimiento, principalmente *Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.* Estas últimas poseen una superficie plantada de mayor extensión. Además existen en el fundo áreas cubiertas de bosque nativo.

El ensayo se efectuó en un bosque de *Eucalyptus globulus* de 10 años de edad, de una altura total promedio de 17,1 metros y con un DAP promedio de 14 centímetros. La densidad de la plantación es de 1575 árboles por hectárea. El bosque, que posee una superficie de 4 ha aproximadamente, se desarrolla sobre una ladera de pendiente ligeramente convexa con valores máximos de entre 10 y 15% y su exposición es sureste (Figura 3.2).



Figura 3.2 Vista del rodal de *Eucalyptus globulus* ubicado en el fundo Collico.

3.2.2 Clima.

Esta área está inserta dentro del clima costa-occidental con influencia mediterránea. Este tipo de clima se encuentra presente en una franja costera entre

los paralelos 40° y 42°. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 2.532 mm. La evaporación de bandeja llega a 807 mm anuales con un máximo mensual en enero de 152 mm y un mínimo mensual en junio de 11 mm. No hay estación seca, sólo dos meses no húmedos, enero y febrero en que la diferencia entre lluvia y evapotranspiración es cubierta por agua almacenada en el suelo (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1989)

Su régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 12,2° C, con una máxima media del mes más cálido (enero) de 23,3° C y una mínima media del mes más frío (agosto) de 4,6° C. El periodo libre de heladas es de 5 meses, de noviembre a marzo. La suma anual de temperaturas, base 5° C, es de 2.613 grados-días y en la base 10° C de 963 grados-días. Las horas de frío de marzo a diciembre alcanzan a 1.609. La temperatura media mensual se mantiene sobre 10° C desde octubre y hasta abril (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1989).

3.2.3 Suelo.

El suelo encontrado en el lugar de estudio corresponde a un rojo-arcilloso de la serie Los Ulmos (Figura 3.3).



Figura 3.3 Perfil del suelo que se encuentra en el lugar de estudio.

Los suelos rojo-arcillosos corresponden a un grupo de suelos que coinciden en color y textura, que provienen de diferentes materiales parentales como granito, micaesquistos y pizarras, sedimentos marinos terciarios, basaltos y andesitas. Otro grupo proviene de cenizas volcánicas antiguas (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1985).

Los suelos de este último grupo, derivan de cenizas o materiales piroclásticos, hecho que es muy importante desde el punto de vista de la edafogénesis y mineralogénesis, por cuanto estos suelos representan una fase avanzada en la secuencia de alteración de las cenizas volcánicas. Esto está comprobado, al conocerse numerosos lugares donde los suelos trumaos (suelos volcánicos jóvenes) se encuentran depositados sobre suelos rojo-arcillosos (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1985).

Los suelos rojo-arcillosos contienen un alto porcentaje de arcilla (generalmente sobre el 50 %) y la fracción de arena rara vez supera el 10 %. Estos elevados contenidos de arcilla sumados a la presencia de horizontes B bien desarrollados son indicativos de una activa y prolongada participación de los factores clima-tiempo en la génesis de estos suelos, que en ningún caso pueden haberse formado bajo las condiciones de clima actuales (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 1989).

Los suelos de la serie Los Ulmos se encuentran, en la provincia de Valdivia, ubicados en las comunas de Valdivia, Paillaco, La Unión y Corral, ocupando una superficie de 87.360 hectáreas. Los suelos de esta serie se presentan en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa a una altura promedio entre 100 y 280 m s.n.m. (Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Austral de Chile, 1978).

Son suelos rojo-arcillosos originados a partir de cenizas volcánicas antiguas que se depositaron sobre el complejo metamórfico de la costa. Se trata de suelos moderadamente profundos a profundos que presentan texturas moderadamente finas y colores pardo rojizo en superficie, y texturas finas y colores pardo oscuros en profundidad (Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Austral de Chile, 1978).

Además son bien estructurados ya que su estructura varía de granular y subangular en superficie a subangular en profundidad. Los valores de densidad aparente, densidad real, porosidad e infiltración son índice de un suelo de buenas características físicas (Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Austral de Chile, 1978).

Poseen altas cantidades de materia orgánica en la superficie, la que desciende bruscamente en profundidad, y tienen un pH bastante bajo a lo largo de todo el perfil. Los niveles de aluminio y fierro son altos, lo que sumado a la presencia de alofán, en especial en aquellos enriquecidos con cenizas volcánicas más recientes, determinan un alto poder de fijación de fósforo. Los contenidos de

potasio de intercambio y nitrógeno total son medios en superficie y disminuyen a niveles extremadamente bajos en profundidad (Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Austral de Chile, 1978).

3.3 Diseño experimental.

3.3.1 Diseño.

Se establecieron cuatro parcelas cuadradas con una superficie de 100 m² cada una. La aplicación del efluente se realizó mediante un sistema de riego automático por goteo. Se instaló para tal efecto una bomba de compresión capaz de llevar el líquido desde un estanque de unos 4500 litros de capacidad hasta las respectivas parcelas superando un desnivel de 18 metros de altura y una distancia horizontal cercana a los 300 metros. En cada parcela se instaló un sistema de riego por goteo que repartió el efluente en toda la parcela. Para ello se instalaron cuatro columnas de riego para cada parcela distanciadas a dos metros entre sí. Cada línea poseía 11 goteros distanciados a 90 cm entre sí. Estas mangueras se instalaron perpendicularmente a las curvas de nivel.

El efluente se comenzó a aplicar a inicios del mes de agosto. La aplicación se realizó durante cuatro periodos.

Un periodo considera cuatro semanas, donde cada semana corresponde a una carga del estanque de acopio. Están representados en el cuadro 3.2 los distintos periodos y sus correspondientes fechas.

Cuadro 3.2 Periodos de aplicación del efluente.

Periodo	Mes	Fecha
1	Agosto	09 ago - 02 sept
2	Septiembre	03 sept - 30 sept
3	Octubre	01 oct - 31 oct
4	Noviembre	01 nov - 27 nov

Con el objeto de tener una visión más global y completa de algunas tendencias de los datos se incluyeron mediciones tomadas después de estos cuatro meses. Estas serán especificadas más adelante.

3.3.2 Tratamientos

La dosis mensual de efluente que se aplicó durante el periodo fue diferente para cada parcela. En el cuadro 3.3 se presentan las dosis aplicadas.

Cuadro 3.3 Dosis de efluente aplicado en cada parcela.

Dosis aplicadas	Parcela			
	Testigo	1	2	3
litros / hectárea / mes	0	250.000	500.000	1.000.000
Equivalente en mm	0	25	50	100

La dosis fue regulada mediante un sistema con flujo de riego constante, controlando el tiempo que cada parcela fue regada mediante un reloj programable ubicado cerca del estanque.

Estas dosis fueron decididas en función de la concentración de elementos en el efluente tipo, estimándose que el aporte debía cubrir un amplio rango a fin de conocer si existía un valor límite de tolerancia por parte del suelo. En el cuadro 3.4 se presentan los aportes equivalentes de elementos según dosis.

Cuadro 3.4 Dosis de elementos aplicados en cada una de las parcelas. (Cálculo según composición de efluente tipo)

Parcela	Elemento (kilogramos / hectárea / mes)								
	C	N	P	Na	K	Ca	Mg	B	S
1	825	98	2,5	210	185	22	0,5	1,8	67
2	1650	187	5,1	421	350	44	1,0	2,7	114
3	3300	374	10,2	842	700	89	2,0	5,5	229

3.4 Obtención de datos.

3.4.1 Recolección de muestras.

El efluente que se aplicó en cada una de las semanas de riego fue analizado en forma individual. Para ello se tomaron las respectivas muestras cada vez que se llenó el estanque, durante todos los meses que duró la aplicación.

Paralelamente se recolectó el agua de dos pluviómetros ubicados a 50 m del lugar de estudio, la que fue mezclada en forma proporcional dando origen a una muestra mezcla. Esto se realizó varias veces al mes, dependiendo de la pluviometría. Las muestras se analizaron mes a mes (desde agosto del 2000

hasta junio del 2001) con objeto de determinar las propiedades químicas que poseía el agua lluvia, y poder compararlas con las del agua bajo el bosque y aquellas de la solución del suelo.

En cada parcela se recolectó muestras de agua lluvia bajo la plantación de *Eucalyptus globulus*, denominadas agua de pluviolavado. Para ello se implementó un sistema de recolección consistente de dos canaletas por parcela montadas sobre un trípode de 80 cm de altura. Las canaletas tenían un largo de 3 metros y un ancho de 4 cm, para abarcar, de esta manera, una superficie representativa de la variación de la cobertura de copas del bosque. Además fueron instaladas en forma inclinada, para que el agua escurriera y pudiese ser almacenada en bidones colocados para tal efecto. El objetivo principal de esta medición fue evaluar, después de algún tiempo de aplicación del efluente, el contenido de elementos del agua de pluviolavado. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio una vez al mes durante los 11 meses siguientes de iniciado el riego.

Desde el suelo se extrajo solución del suelo mediante tubos de succión ubicados a dos profundidades del suelo. Para cada una de las parcelas se instalaron tres tubos de succión a 25 centímetros y tres a 90 centímetros. El objetivo de tales mediciones era determinar la variación en la composición del agua del suelo a dos profundidades, deduciéndose de esta manera, la capacidad del suelo de transformar los compuestos orgánicos del efluente industrial. Con las muestras obtenidas mediante los tubos de succión se hizo una muestra mezcla para cada profundidad y tratamiento, la que fue analizada en el laboratorio. Los tubos de succión estaban conectados mediante mangueras a una bomba de vacío, encargada de generar una tensión, que permitía que el agua subiera hacia unos recipientes conectados a la bomba. Esta bomba estuvo permanentemente conectada a una batería y funcionó automáticamente cada vez que la presión disminuía, manteniéndola en un rango constante. Los tubos de succión fueron ubicados en el tercio inferior de la parcela, o sea, pendiente abajo. En cuanto a su ubicación espacial en torno al sistema de regadío, los tubos fueron ubicados a distancias heterogéneas de los goteros de riego, de tal forma que se evaluó lo que sucedió a diferentes distancias de estos puntos. Uno de los tubos se ubicó inmediatamente al lado del sistema de regadío. El segundo tubo se ubicó lo más lejano posible al gotero, mientras que el tercer tubo se ubicó a una distancia media entre los dos primeros. Las muestras se analizaron una vez al mes, durante 6 meses posteriores de iniciado el riego y se llevó un control estricto del nivel de agua en los recipientes, para evitar un daño a la bomba.

Como complemento de lo anterior se midió el agua que escurrió pendiente abajo. Para medir la escorrentía se hicieron unas zanjas en los extremos inferiores de las parcelas donde se ubicaron canaletas de 2 metros de largo, que recibieron el agua que escurría en una superficie de 20 metros cuadrados. Para que la medición del agua correspondiese a exactamente 20 metros cuadrados, se enterraron tablas a lo largo de los 10 metros de la parcela a 5 centímetros de profundidad y distanciadas 2 metros entre sí. Para facilitar la recepción del agua que escurrió superficialmente se incrustaron, a unos 5 centímetros de profundidad y de forma

horizontal, perfiles metálicos del mismo largo de las canaletas. De esta forma se obtuvo la cantidad de agua que escurrió de manera superficial para las diferentes parcelas (Figura 3.4).

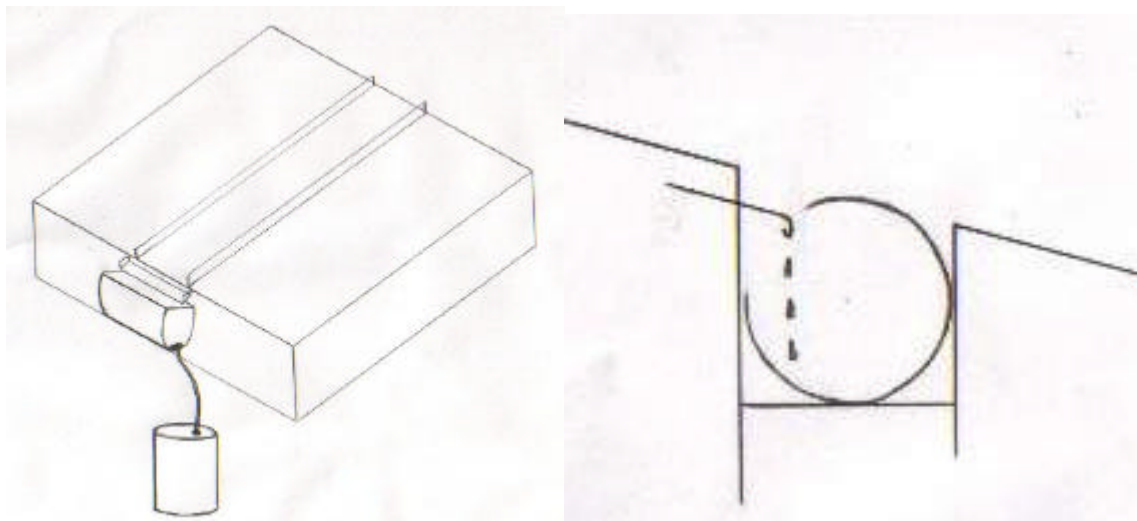


Figura 3.4 Sistema de recolección de agua de escorrentía.

Se analizaron muestras de agua en dos puntos del arroyo que se encuentra en una quebrada ubicada pendiente abajo en relación a la plantación. El primer punto se situó a una cota mayor que aquella donde se encontraban ubicadas las parcelas, de tal manera que fue un punto donde se tenía la seguridad que el agua del arroyo no sufriría ningún cambio en cuanto a su composición química después de la aplicación del producto. El segundo punto se situó a una cota inferior a la de las parcelas, y en un lugar donde, en teoría, el agua del arroyo podría haberse visto afectada luego de la aplicación del efluente industrial. Estas mediciones se efectuaron en agosto, al comenzar el estudio, y otra en noviembre, al finalizarlo. Su objetivo principal era evaluar el efecto que pudiese provocar la aplicación del residuo líquido sobre las aguas del arroyo.

3.4.2 Análisis de laboratorio.

Para efecto de examinar las diferentes muestras, se realizó un análisis diferenciado según el tipo de muestra. Así en las muestras del efluente se incluyó el análisis de pH, conductividad eléctrica, carbono total, nitrógeno total, sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre y boro.

En el caso de las muestras de agua recolectadas mediante los pluviómetros, canaletas de captación del pluviolavado y de solución del suelo a 25 y 90 cm de profundidad, como también del arroyo, se identificaron y cuantificaron los elementos sodio, potasio, calcio y magnesio. Además se determinó la conductividad eléctrica y el pH de esas muestras.

En el caso de las muestras recolectadas en las canaletas instaladas para medir la escorrentía, luego de comprobar que la composición de las muestras tomadas a partir del mes de octubre diferían muy poco con respecto a las del efluente, se decidió dejar de analizarlas en el laboratorio y sólo se consideró cuantificar su volumen en terreno.

Para el caso específico de la determinación del nitrógeno contenido en el agua de percolación captada por los tubos de succión se utilizó una metodología empleada por el CSIRO en Australia y descrita en más detalle por Myers *et al.*, (1999). Esta descripción utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{ND} = \frac{\left(\frac{L_W \cdot C_N}{100} + N_S - N_V \right) \cdot 100}{D}$$

En que:

C_{ND}	=	Concentración de nitrógeno en el agua drenada.
L_W	=	Carga de efluente en mm
C_N	=	Concentración de nitrógeno del efluente en mg/l
N_S	=	Cantidad de nitrógeno aportada por la materia orgánica
N_V	=	Cantidad de nitrógeno demandado por la plantación.
D	=	Cantidad de agua drenada

3.5 Análisis estadístico.

Para todas las muestras, exceptuando las del arroyo, a las que no se analizó estadísticamente, se realizó un análisis de varianza de dos factores sin repetición. El análisis de varianza aplicado fue obtenido de Sokal y Rohlf (2000). Los factores fueron en estos casos el efecto de acumulación del efluente expresado en función del tiempo y la dosis de efluente aplicada. Se generó de esa manera una matriz de 4 x 6 para las muestras del agua del suelo, ya que fueron 4 las diferentes dosis aplicadas y 6 los periodos que se analizaron. Para los datos del pluviolavado se generó una matriz de 4 x 11, ya que en este caso los periodos que se incluyeron para tomar las muestras fueron 11 en vez de 6.

Los resultados arrojaron la significancia estadística de los factores período y dosis, atribuyéndose efectos estadísticamente significativos a dos niveles de confianza (95% y 99%).

La limitación principal de este tipo de análisis es que no se le puede otorgar un nivel de significancia a la interacción de los factores.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 EFLUENTE

En el cuadro 4.1 se presentan los resultados analíticos de las muestras de efluente recolectado semanalmente y que se utilizó como riego en el ensayo. En el cuadro se presentan los valores máximos y mínimos además de la media y el coeficiente de variación para cada una de las variables. Además se agrega el valor de la relación de adsorción de sodio.

Cuadro 4.1 Composición química del efluente.

Período	Semana	Conductividad μS/cm	pH	Ct	Nt	Na	K	Ca	Mg	P	S	B	RAS
1	1	10.500	6,04	N.d.	N.d.	1.800	1.530	250	11	N.d.	N.d.	N.d.	43,0
	2	8.900	5,68	N.d.	N.d.	1.360	1.180	130	10	N.d.	N.d.	N.d.	43,9
	3	9.500	5,38	N.d.	N.d.	1.460	1.330	160	12	N.d.	N.d.	N.d.	42,6
	4	13.100	5,75	N.d.	N.d.	1.990	1.840	210	13	N.d.	N.d.	N.d.	51,1
	Media	10.500	5,71	N.d.	N.d.	1.725	1.585	188	12	N.d.	N.d.	N.d.	45,2
2	5	7.900	5,54	N.d.	N.d.	1.310	830	100	7	N.d.	N.d.	N.d.	48,5
	6	7.600	6,43	N.d.	N.d.	1.140	1.210	140	13	N.d.	N.d.	N.d.	35,1
	7	12.400	5,83	3.530	390	1.830	1.700	160	15	13	353	0,4	52,6
	8	14.600	5,68	4.110	640	1.900	1.940	220	18	17	416	0,1	47,0
	Media	10.625	5,87	3.820	515	1.545	1.420	155	13	15	385	0,3	45,8
3	9	13.600	6,10	3.440	630	1.530	1.630	170	16	32	382	0,1	42,7
	10	12.600	5,86	3.460	390	1.750	1.750	140	13	12	372	0,9	53,9
	11	12.500	5,90	3.420	400	1.680	1.510	160	13	14	295	0,1	48,8
	12	12.900	5,95	3.440	470	1.650	1.630	160	14	19	350	0,4	47,7
	Media	12.900	5,95	3.440	473	1.653	1.630	158	14	19	350	0,4	48,2
4	13	14.100	5,89	5.520	690	2.250	2.500	240	24	3	463	0,8	52,6
	14	10.600	6,24	3.570	700	1.180	1.620	140	19	16	287	0,7	35,2
	15	8.200	6,10	2.400	600	990	1.100	130	15	10	231	0,1	31,1
	16	10.200	5,64	2.740	690	1.600	1.400	140	16	44	274	0,1	48,5
	Media	10.775	5,97	3.558	670	1.505	1.655	163	19	18	314	0,4	41,9
Valor mínimo		7.600	5,38	2.400	390	990	830	100	7	3	231	0,1	31,1
Valor máximo		14.600	6,43	5.520	700	2.250	2.500	250	24	44	463	0,9	53,9
Media		11.200	5,88	3.563	560	1.589	1.544	166	14	18	342	0,4	45,3
Análisis previos a la instalación del ensayo				3.300	374	842	700	89	2	10	229	5,5	14,3
Coef. Variación %		20,6	4,6	23,3	23,6	21,3	25,2	25,7	27,4	65,3	20,7	87,4	14,9

N.d.: No determinado

RAS: Relación de adsorción de sodio

Fuente: Martín (2002).

Llama fuertemente la atención los valores de conductividad eléctrica del efluente. Estos valores sobrepasan lo recomendable por Dorronsoro (2000), señalado en el cuadro 2.2 de esta tesis, donde el rango entre 750 y 2250 μS/cm es el recomendable para considerar un agua apta para el riego.

Esta apreciación se ve reforzada al observar el valor de la relación de adsorción de sodio, que promedia un valor de 45,3. El rango aceptable descrito en la sección 2.7 de esta tesis indica que un rango aceptable va desde 10 a 18 (Carrow *et al.*, 1999).

Se aprecia homogeneidad en algunas variables y heterogeneidad en otras. En el caso del pH, por ejemplo, la variación que presenta el efluente durante el transcurso del ensayo es baja. Esto se ve reflejado en el coeficiente de variación, el que alcanza tan solo el 4,6%. En el caso de la conductividad eléctrica las variaciones entre semanas son más notorias. Si bien la cantidad promedio de cada periodo es similar, la dispersión entre semanas es evidente. Junto con la variación de la conductividad eléctrica se observa la variación de algunos elementos como el sodio, el calcio, y el potasio. Los coeficientes de variación de estos elementos son muy similares al coeficiente de variación presentado por la conductividad eléctrica.

La situación de los elementos que se encuentran en concentraciones más bajas en el efluente es un tanto diferente. En el caso del fósforo y del boro por ejemplo, se aprecia un coeficiente de variación muy alto. Esta situación se ve potenciada por las bajas concentraciones de fósforo y boro que contiene el efluente industrial, por lo que cualquier pequeña variación en su composición tiene un efecto relativo de mayor envergadura que en aquellos elementos del efluente que están presentes en concentraciones más altas.

En directa relación con la composición química del efluente está la cantidad total de elementos aportados al sistema en cada una de las parcelas a través del tiempo. A continuación se presentan en el cuadro 4.2 los aportes en kilogramos por hectárea de los distintos elementos para las diferentes dosis en cada uno de los periodos de regadío.

Cuadro 4.2 Cantidad aportada de elementos según dosis aplicada y periodo de riego (kg/ha).

Dosis (mm)	Período 1			Período 2			Período 3			Período 4			Total aplicado**		
	25	50	100	25	50	100	25	50	100	25	50	100	25	50	100
C	N.d	N.d	N.d	*478	*955	*1910	860	1740	3440	890	1780	3560	3563	7126	14253
N	N.d	N.d	N.d	*64	*129	*258	118	236	473	167,0	335,0	670	559	1118	2236
Na	413	826	1652	386	772	1544	413	826	1652	376,3	752,5	1505	1588	3177	6354
K	367	735	1470	354	709	1419	407	815	1630	414	828	1656	1543	3087	6174
Ca	47	94	188	39	78	156	39	78	156	40	81	162	165	331	662
Mg	2,9	5,8	11,5	3,3	6,7	13,3	3,5	7,0	13,9	4,6	9,3	18,5	14	28	56
S	N.d	N.d	N.d	*48	*96	*192	87	174	348	78	156	312	342	684	1369
P	N.d	N.d	N.d	*1,9	*3,8	*7,6	4,8	9,6	19,1	4,6	9,1	18,3	18,1	36,1	72,2
B	N.d	N.d	N.d	*0,03	*0,06	*0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,4	0,7	1,5

Nd : No determinado

* Corresponde a dos semanas del período

** Corresponde a la suma de los cuatro períodos. Para aquellos elementos no determinados en el período 1, se le asigna a este período la media equivalente en kg/ha – mes del cuadro 4.1. Asimismo, para el período 2, la mitad de dicha media, sumada a lo determinado en dos semanas del período.

Fuente: Martín (2002).

El promedio mensual de aporte de los diferentes elementos para los cuatro periodos de riego con el efluente industrial se presenta en la figura 4.1.

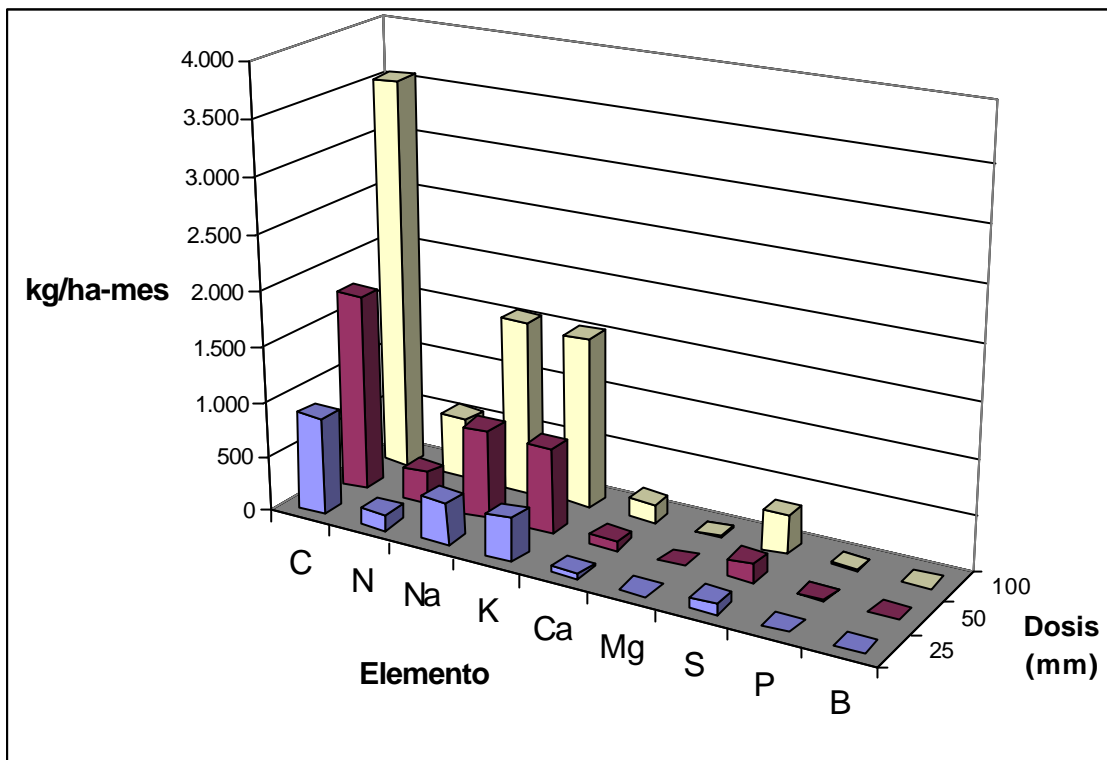


Figura 4.1 Aporte promedio mensual de elementos durante los cuatro periodos de riego con el efluente.

Al observar la figura, destaca el aporte de los elementos carbono, sodio, potasio y nitrógeno por sobre el resto de los elementos presentes en el efluente.

Al comparar los aportes presentados en el cuadro 4.2 y en la figura 4.1 con aquellos calculados a partir de los análisis efectuados por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales en la etapa previa a la realización del proyecto (presentados en el cuadro 3.4), queda en evidencia la notable diferencia que existe en casi todos los elementos.

Las principales diferencias se observan en los elementos formadores de sales, sodio y potasio. En ellas las proyecciones hechas con anterioridad al ensayo pronosticaban un aporte de 210 kg/ha-mes y 185 kg/ha-mes para sodio y potasio respectivamente, considerando la parcela con el menor riego. Estas proyecciones se encuentran lejanas a los aportes reales de casi 400 kg/ha-mes para sodio y 380 kg/ha-mes de potasio que se observaron en la parcela regada con 25 mm mensuales de efluente. Así los aportes anuales para la dosis más bajas alcanzan valores de 4,8 t/ha-año para sodio y 4,5 t/ha-año para potasio. Esto es muy significativo, ya que la estructura del suelo se ve altamente perjudicada cuando la concentración de sales de cualquier agua de riego es elevada al nivel en que los aportes de sales sobrepasen la capacidad del suelo de transformarlos.

Si bien se subestimó también la cantidad de calcio aportada, lo que puede tender a disminuir la importancia relativa de las sales de sodio y potasio, dicho error es mucho menor en el caso del calcio que en el caso del sodio o del potasio.

Si además se hace análogamente el análisis para las parcelas de más altas dosis (50 y 100 mm), se observa que los valores de aporte de sodio y potasio son de 800 kg/ha-mes y 760 kg/ha-mes para la dosis de 50 mm y de 1600 kg/ha-mes y 1520 kg/ha-mes para la dosis de 100 mm respectivamente. De esta manera se proyectan valores de 9,6 y 9,1 t/ha-año de sodio y potasio respectivamente en la dosis de 50 mm de riego mensual, y de 19,2 y 18,2 t/ha-año de sodio y potasio respectivamente para la dosis máxima, equivalente a 100 mm de riego mensual. Estos valores son demasiado elevados para cualquier tipo de suelo.

4.2 AGUA LLUVIA Y PLUVIOLAVADO

Los resultados detallados de los análisis estadísticos del agua de lluvia y pluviolavado pueden ser observados en el anexo 1.

En las mediciones de agua de lluvia, a pesar de haber tomado las medidas del caso, algunas de las muestras fueron contaminadas, por lo que la validez de estos datos es sólo parcial. Como se observará en los gráficos presentados, las muestras contaminadas son fácilmente identificables.

En el cuadro 4.3 se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto del agua de lluvia como del pluviolavado en las diferentes parcelas. Se presentan los resultados de los 11 meses, aún cuando este trabajo sólo pretende evaluar la aplicación del efluente durante los 4 primeros meses.

Cuadro 4.3 Conductivimetría del agua lluvia y pluviolavado.

Conductivimetría ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Periodo										
			Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Agua Lluvia			50,0*	84,0*	31,5	27,6	35,0	49,0*	10,0	25,0	20,0	17,0	32,5*
Pluviolavado	Dosis de efluente (mm)	0	25,0	20,8	44,4	43,3	65,0	44,0	30,0	43,0	41,0	26,0	28,1
		25	22,0	19,9	42,4	36,8	57,0	58,0	20,0	23,0	22,0	16,0	21,2
		50	19,0	16,1	39,2	35,4	47,0	48,0	20,0	23,0	17,0	22,0	25,3
		100	26,0	25,0	44,5	40,8	63,0	53,0	30,0	44,0	41,0	24,0	25,5

* Muestras contaminadas.

Salvo las muestras contaminadas, los valores de conductivimetría son siempre mayores bajo la cubierta boscosa. Se aprecia una diferencia significativa en ese

aspecto. La variación de la conductividad eléctrica entre las parcelas no responde a alguna tendencia clara y sus diferencias no son atribuibles al riego con el efluente en la zona de estudio, ya que las diferencias no son estadísticamente significativas.

El comportamiento del resto de las variables que se midieron en las muestras extraídas en el pluvio lavado queda reflejado en la figura 4.2, que representa la variación del potasio en las diferentes parcelas a través de los 11 meses en que se realizó el monitoreo.

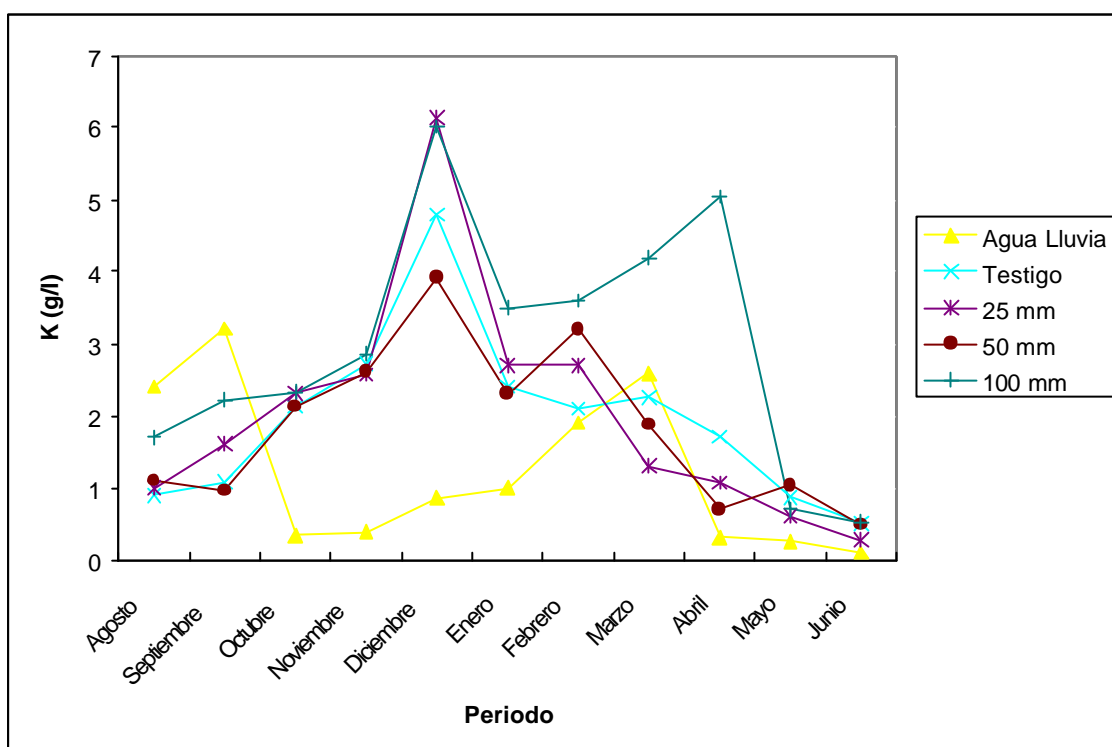


Figura 4.2 Concentración de potasio del pluvio lavado en las parcelas testigo y en los 3 diferentes niveles de aplicación de efluente.

Las concentraciones de potasio en el agua lluvia son en todos los periodos inferiores a las concentraciones de potasio observadas en las muestras extraídas bajo la cubierta boscosa. Esto es de esperarse ya que el agua lluvia arrastra sales y polvo desde el follaje en su paso a través de las copas de los árboles. Sólo en los periodos 1, 2 y 8 esta tendencia se ve modificada. Los valores alcanzados por aquellas muestras son anormales y se explican, como ya se mencionó, debido a una posible contaminación de las muestras recogidas en tales periodos.

Por otra parte se observa que las mayores diferencias de las concentraciones de los diferentes elementos entre el agua de lluvia y de pluvio lavado suceden en los

meses de verano en los que la precipitación disminuye fuertemente y por lo que el efecto de dilución que aparece en los meses de invierno desaparece.

El comportamiento del potasio es representativo del comportamiento del resto de los elementos en cuanto a lo que las muestras del agua lluvia y pluviolavado se refiere. Tanto en las concentraciones de sodio, calcio y magnesio los valores máximos son alcanzados en los meses de diciembre y enero, y las curvas poseen formas similares a las apreciadas en el caso del potasio.

Se desprende del análisis de los datos, que la hipótesis de que las muestras recolectadas bajo la cubierta del bosque en las diferentes parcelas de distinta dosis sería significativamente diferente debido a una mayor absorción de sales nutrientes por parte de los árboles que fueron regados con el efluente es falsa y que en realidad en el periodo descrito los árboles no incorporaron los nutrientes de manera relevante. De haber sido así, las concentraciones de los elementos más solubles y lixiviables como el caso del potasio, habrían aumentado en el agua de pluviolavado.

4.3 ESCURRIMIENTO

En cuanto al escurrimiento superficial, el cuadro 4.4 que se presenta a continuación, establece las fechas en que se logró captar una cierta cantidad de agua en el sistema diseñado para recibir la esorrentía. En la columna izquierda aparece la fecha en que se efectuó la recolección.

Se puede observar que la fecha crítica para las parcelas de 50 y 100 mm de riego mensual fue a mediados del mes de septiembre, cuando había transcurrido aproximadamente un mes y medio desde el comienzo de las aplicaciones.

Para la parcela de 25 mm de riego mensual, en cambio, la fecha en que el escurrimiento superó el volumen de acopio, fue a fines del mes de noviembre. Importante resulta destacar el hecho de que la parcela testigo no sufrió escurrimiento alguno, por lo que el escurrimiento del resto de las parcelas se debe exclusivamente al efecto del efluente.

Cuadro 4.4 Fechas críticas de escurrimiento superficial.

Fecha	Dosis (mm)	Cantidad de agua (mm)
02 de Septiembre	100	0
	50	0,004
	25	0
	0	0
20 de Septiembre	100	0,22
	50	0,13
	25	0
	0	0
22 de Septiembre	100	> a 0,35
	50	0,34
	25	0,02
	0	0
16 de Octubre	100	> a 0,35
	50	> a 0,35
	25	0,14
	0	0
30 de Octubre	100	> a 0,35
	50	> a 0,35
	25	0,2
	0	0
14 de noviembre	100	> a 0,35
	50	> a 0,35
	25	0,28
	0	0

Como dato importante de tener en consideración se presenta en el cuadro 4.5 la cantidad de agua caída durante los meses que se mantuvo el ensayo bajo el riego del efluente. Además se agrega para la precipitación ocurrida durante los periodos de riego, la cantidad de agua aportada por el efluente en sus diferentes dosis. Los datos de precipitación de un año normal fueron extraídos del mapa agroclimático de Chile elaborado por el INIA en 1989.

Cuadro 4.5 Agua caída durante el transcurso del ensayo.

Mes	Agua aportada al sistema (mm)				
	Lluvia periodo	+ Dosis 25	+ Dosis 50	+ Dosis 100	Lluvia normal
Agosto	105,0	130,0	155,0	205,0	312,4
Septiembre	195,4	220,4	245,4	295,4	206,3
Octubre	104,6	129,6	154,6	204,6	126,9
Noviembre	83,1	108,1	133,1	183,1	99,3

Aquí se puede observar que la cantidad de agua caída durante los periodos en que se regó con el efluente fue menor que la precipitación de un año normal. Es probable que en el caso en que la lluvia hubiese sido mayor, especialmente en agosto, el colapso del sistema de recolección hubiese ocurrido antes.

En los meses más húmedos la dosis de riego no es tan importante en relación a lo que llueve normalmente en esos meses, pero a medida que los meses son más secos, la importancia relativa de lo que se está aportando es mucho mayor. Esto podría eventualmente haberse convertido en algo positivo, ya que a partir de los meses de noviembre a diciembre la precipitación comienza a disminuir y los árboles entran en una condición de estrés hídrico, el que les impide crecer a las tasas en que podrían hacerlo. Sin embargo no está claro cuánto fue el aporte real de agua ya que sólo se pudo medir, como se muestra en el cuadro 4.4, hasta los 0,35 mm de agua escurrida, ya que el sistema de almacenamiento fue superado.

4.4 AGUA DE PERCOLACIÓN

Al igual que en el caso de las muestras del agua lluvia y del pluviolavado los análisis estadísticos se pueden observar con detalle en el anexo 2 de esta tesis.

En el caso del pH, las diferencias entre los valores de los datos no mostraron significancia estadística alguna con respecto a las distintas dosis, ni tampoco con respecto a los diferentes periodos. Los valores fluctuaron entre 5,3 y 7,7 para las muestras extraídas mediante los tubos de succión ubicados a los 25 cm, y entre 5,7 y 7,3 para aquellas extraídas mediante los tubos instalados a 90 cm de profundidad. Estos resultados, para los diferentes periodos, se presentan en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Variación del pH en el agua del suelo.

Dosis de efluente (mm)	Profundidad (cm)	Periodo					
		Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Enero
0	25	5,3	6,1	6,0	7,1	-	5,4
	90	5,7	6,0	5,8	6,3	-	5,8
25	25	5,8	6,2	6,4	6,3	-	5,4
	90	6,0	6,3	6,3	6,6	-	6,4
50	25	6,3	6,7	6,9	7,7	-	7,5
	90	6,5	6,6	6,5	7,3	-	N.d.
100	25	6,0	6,3	6,5	6,6	-	6,4
	90	6,5	6,7	6,5	7,0	-	6,9

N.d.: No determinado

En el periodo 5 no se realizaron mediciones por problemas con la bomba de vacío que succionaba el agua desde los tubos de succión. Como se observa en el cuadro 4.6, si bien existe una tendencia al aumento del pH a medida que transcurre el tiempo, no es claro que se deba a la aplicación del efluente ya que en la parcela testigo se da la misma tendencia y, como ya se dijo, las diferencias experimentadas no son estadísticamente importantes.

En donde sí se apreciaron diferencias que se pueden atribuir al efecto del riego, fue en el análisis que se hizo de las muestras en cuanto a su conductividad eléctrica o conductivimetría. Aquello se aprecia en el cuadro 4.7, para las muestras extraídas desde los 25 cm de profundidad.

Cuadro 4.7 Variación de la conductividad eléctrica del agua del suelo a los 25 cm de profundidad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Dosis de efluente (mm)	Periodo					
	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Enero
0	68	52	34	42	-	33
25	93	272	368	394	-	581
50	113	1460	1420	2108	-	2169
100	91	92	114	107	-	310

Las diferencias de los datos entre las parcelas con distintas dosis fueron significativas estadísticamente para un nivel de confianza del 95%. Se aprecia claramente que la parcela con riego de 50 mm mensuales de efluente tiene una diferencia sustancial con el resto. Los valores de conductivimetría en esa parcela, fueron 6 veces mayores a aquellos entregados por la parcela regada con 25 mm mensuales de efluente y 10 veces mayores a aquella parcela regada con 100 mm de efluente. A pesar de no haber una diferencia estadística significativa entre los periodos, existe una tendencia al aumento de la conductivimetría en las parcelas regadas con efluente, lo que no se aprecia en la parcela testigo. Como una situación particular, explicable por la dificultad que ocurrió en la infiltración de la dosis de 100 mm, se aprecia que la conductivimetría en dicho caso es inferior a los de las dosis de 25 y 50 mm. Esta situación puntual será discutida más adelante en mayor detalle.

Para el caso de los elementos analizados en las muestras de 25 cm de profundidad, el caso es similar pero no igual. En los casos del sodio, potasio, calcio y magnesio las diferencias, tanto entre parcelas como entre periodos, no mostraron diferencia estadística significativa. Sin embargo las tendencias son las mismas del caso de la conductivimetría. En todos los elementos, menos en el calcio, se aprecia un comportamiento similar de la parcela de 50 mm de riego, vale decir una concentración más alta de elementos que en las otras parcelas.

Esta concordancia de comportamientos de los diferentes elementos se ve ratificada al calcular el coeficiente de correlación entre las variables analizadas. En el cuadro 4.8 se detallan los valores del coeficiente de correlación entre las diferentes variables tanto para las muestras extraídas desde los 25 cm de profundidad como para las recuperadas desde los 90 cm de profundidad.

Cuadro 4.8 Coeficiente de correlación entre las concentraciones (g/l) de los distintos elementos analizados en las muestras de agua extraídas desde los 25 y 90 cm de profundidad. Estas últimas están destacadas con letra negrita.

Profundidad		25 cm					
90cm	Coeficiente de correlación	pH	Conduc-tivimetría	Na	K	Ca	Mg
	pH	-----	0,77**	0,71**	0,75**	0,09	0,58**
	Conductivimetría	0,41	-----	0,93**	0,91**	0,16	0,78**
	Na	0,44*	0,99**	-----	0,84**	0,23	0,73**
	K	0,25	0,85**	0,82**	-----	0,15	0,52*
	Ca	0,22	0,93**	0,90**	0,93**	-----	0,72**
	Mg	0,19	0,92**	0,89**	0,92**	0,98**	-----

* = estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 95%

** = estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 99%

En el caso de las variables para la profundidad de 25 cm, se observa una alta correlación entre todas las variables, salvo el calcio que no tiene una relación directa con ninguna otra.

En el caso de las muestras para la profundidad de 90 cm, se ve que no existe una relación estadísticamente significativa entre el pH y el resto de las variables, salvo el sodio que muestra una correlación significativa para un nivel de confianza del 95%. El resto de las variables, sin embargo, se relacionan de manera directa entre sí. Por ejemplo, la conductivimetría presenta una alta correlación con el resto de las variables. El coeficiente de correlación entre la conductivimetría de las muestras obtenidas a los 90 cm de profundidad y el resto de las variables de las mismas muestras, es siempre superior a 0,85.

Este comportamiento similar entre las diferentes variables de las muestras extraídas desde los 90 cm se puede ilustrar de manera simple en el análisis de la conductivimetría. Al igual que en caso de los resultados arrojados por las muestras de los 25 cm, en aquellas sacadas a los 90 cm de profundidad existen diferencias estadísticamente significativas, para todos los elementos, entre las diferentes dosis.

A continuación se presenta la variación de la conductivimetría del agua del suelo a los 90 cm de profundidad (cuadro 4.9).

Cuadro 4.9 Variación de la conductivimetría del agua del suelo a los 90 cm de profundidad ($\mu\text{S/cm}$).

Dosis de efluente (mm)	Periodo					
	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Enero
0	45	49	52	40	-	44
25	40	56	55	52	-	52
50	44	57	170	141	-	410
100	1190	749	1230	1349	-	1880

Del cuadro se aprecian dos situaciones notorias. En primer lugar un aumento de la conductivimetría en las parcelas que fueron regadas con efluente. Existe una diferencia clara entre aquellas muestras de la parcela de riego con 100 mm mensuales con el resto. Es también evidente que se produce un aumento paulatino de la conductividad eléctrica de las parcelas regadas, con la excepción del caso de la parcela con 25 mm de riego mensual.

Esto podría indicar que para el periodo estudiado la dosis más baja no fue suficiente cantidad como para infiltrar en profundidad. Para las dosis de 50 y 100

mm en cambio, los valores sí muestran una infiltración de los elementos a esas profundidades.

La misma tendencia señalada para el caso de la conductividad se da para los elementos, sodio, calcio, potasio y magnesio. Para revisar los cuadros de resultados de esos elementos se puede recurrir al anexo 2 de este trabajo.

Para ilustrar la situación de todos las concentraciones de elementos analizadas para las muestras extraídas desde los 90 cm de profundidad se presenta a continuación en la figura 4.3 que describe la variación en la concentración del calcio en las diferentes parcelas a lo largo de los seis primeros meses de riego.

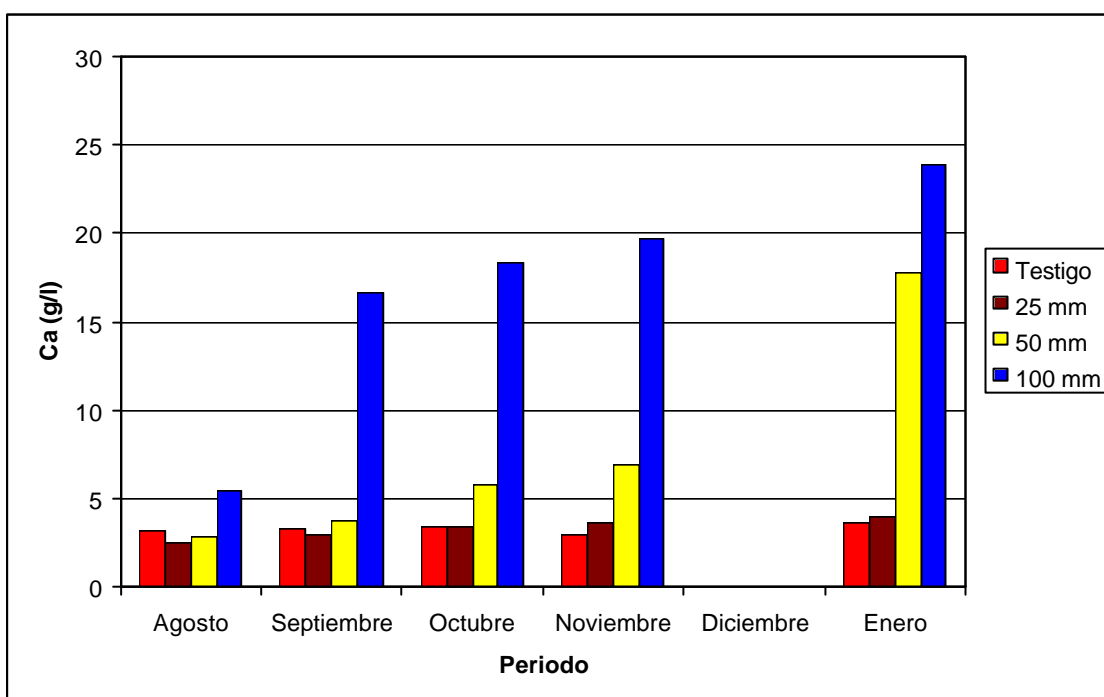


Figura 4.3 Concentración de calcio del agua del suelo extraída a los 90 cm de profundidad.

Se aprecia un aumento en la concentración de calcio en los diferentes periodos en aquella parcela regada con 100 mm de efluente al mes. El aumento no es tan evidente para el resto de las parcelas, por ello que las diferencias no se muestran estadísticamente significativas entre periodos pero sí entre las distintas dosis.

Como se mencionó anteriormente este tipo de comportamiento se aprecia en todas las mediciones hechas para las muestras de 90 cm, salvo en los del pH.

El elemento más crítico de todos es el nitrógeno. A pesar de que no se realizaron determinaciones de concentración de nitrógeno en el agua de percolación extraída

desde los 25 y 90 cm, se utilizó la metodología del CSIRO (descrita en el punto 3.4.2).

Reemplazando los siguientes valores en la fórmula mencionada:

- C_{ND} = Concentración de nitrógeno en el agua drenada.
- L_W = 300 mm/año para la dosis de 25mm mensuales.
- C_N = 560 mg/l
- N_S = 96 kg/ha-año, para esta plantación. (1% de mineralización del Nt en los primeros 20 cm de suelo (Martin, 2001).
- N_V = 120 kg/ha-año, para esta plantación. (Schlatter, Grez y Gerding, 1997).
- D = 1200 mm/año. Cantidad estimada como de percolación o de drenaje que alimenta los arroyos.

se obtiene una concentración de nitrógeno de 138 mg/l, lo que representa un valor muy alto teniendo en consideración que el umbral de aceptación de muchos países para el agua potable y de riego. En Australia, por ejemplo, el valor máximo permitido para el agua potable es de 11,2 mg/l como máximo (Myers *et al.*, 1999). En Alemania el valor propuesto por Müller (1971) es de 50 mg/l. En Chile, la CONAMA fija el límite de concentración de nitrógeno de efluentes regados sobre aguas superficiales en 10 mg/l. Si el cálculo se efectúa para la carga de 600 y 1200 mm anuales de efluente la situación es aún peor. Los valores de concentración alcanzados son de 278 y de 558 mg/l respectivamente.

Estas cifras fueron estimadas a partir de las condiciones climatológicas de la región donde se encuentra el bosque y de la plantación misma. Los resultados de este cálculo demuestran que los valores de aporte de nitrógeno contenidos en el efluente serían muy elevados y que la plantación sería incapaz de consumir tanto nitrógeno, por lo que las concentraciones en el agua lixiviada superarían ampliamente los valores tolerables.

4.5 ANÁLISIS POR ESTRATOS

Para describir mejor y de manera más general lo ocurrido con los resultados del agua de lluvia, del pluviolavado y de las muestras extraídas en profundidad en el suelo se presenta la figura 4.4 que ilustra la concentración de calcio en las muestras de los distintos estratos en que se tomaron mediciones. Esta figura esquematiza el fenómeno ocurrido en la parcela que fue sometida a 25 mm de riego mensual y representa en general de manera bastante fiel lo ocurrido con la mayoría de los elementos en todas las parcelas, salvo la testigo, ya que esta última no fue sometida a riego y por lo tanto las muestras del agua del suelo no sufrieron variaciones importantes. El análisis estadístico correspondiente se encuentra en el anexo 3.

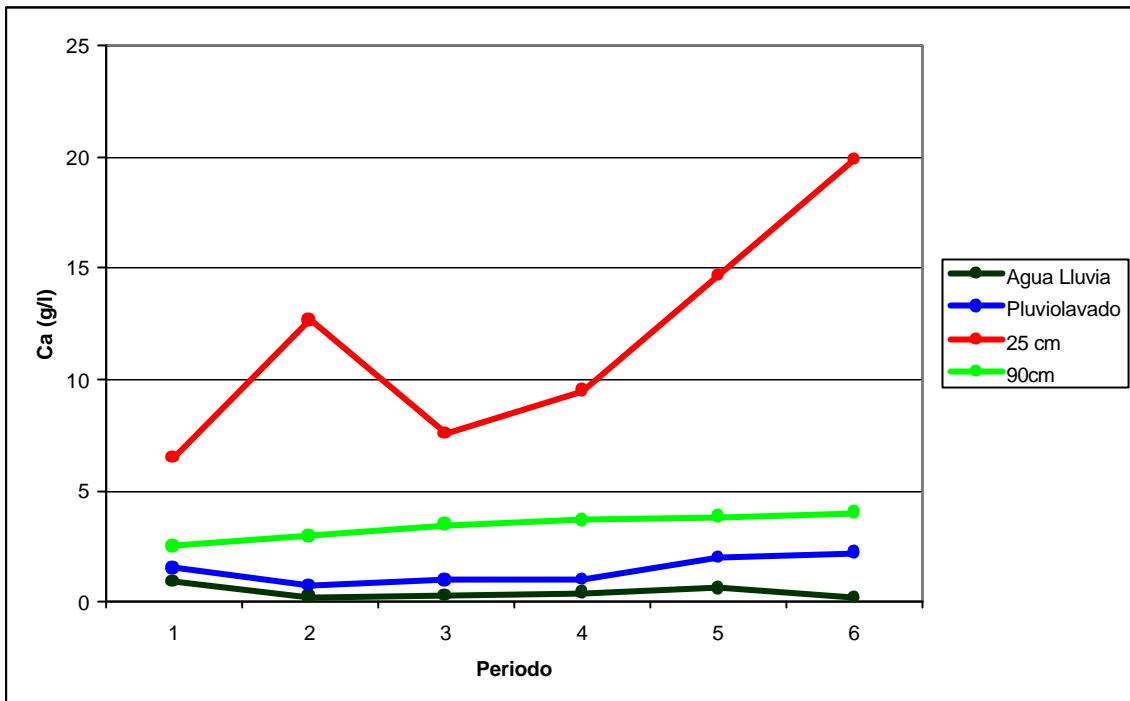


Figura 4.4 Variación en la concentración de calcio a través del tiempo para los diferentes estratos de medición en la parcela de 25 mm de riego.

Se observa claramente en la figura como el agua lluvia es la de menor concentración. Inmediatamente después se encuentran las muestras que se extrajeron debajo del bosque y que producto del pluviolavado aportan una concentración extra de elementos. Luego se observa que producto del riego, la concentración de elementos en aquellas muestras de agua obtenidas desde los 25 cm de profundidad aumenta significativamente para luego descender en aquellas muestras recolectadas desde los 90 cm, siendo estas últimas mayores a las del agua lluvia y a las del pluviolavado.

Las diferencias entre cada uno de estos estratos mostraron una significancia estadística con un nivel de confianza del 95%. En relación a los periodos no hubo diferencias significativas bajo el punto de vista estadístico, pero se observa una tendencia al aumento en aquellas muestras que son influenciadas por el riego.

4.6 AGUA DE LA CUENCA

En la sección 3.4.1 de la metodología, se mencionó que se recolectaron muestras de dos sectores del arroyo (superior e inferior), al comenzar y al finalizar la primera etapa del proyecto. En el cuadro 4.10 se presentan los diferentes valores entregados en el análisis de esas muestras.

Cuadro 4.10 Análisis del agua del arroyo cercano al ensayo.

		Variables	Agosto	Diciembre
Arroyo superior		pH	7,8	6,5
	μS/cm	Conductivimetría	28,0	42,0
	mg/l	Na	2,8	2,9
		K	0,2	0,1
		Ca	0,6	0,7
Mg		0,8	0,8	
Arroyo inferior		pH	7,5	6,5
	μS/cm	Conductivimetría	28,0	33,0
	mg/l	Na	2,9	3,0
		K	0,1	0,1
		Ca	0,8	1,0
Mg		0,8	1,1	

Como se aprecia, no existen diferencias importantes entre los periodos analizados. Se observa que el pH desciende levemente, pero la conductividad eléctrica y los elementos sufren una variación positiva. Por otra parte no existen diferencias significativas entre un lugar del arroyo y otro y se observa que las tendencias son para ambos lugares las mismas. Tanto el sector que no se vio influenciado por el riego como aquel que en teoría podría haber sufrido algún grado de influencia presentan tendencias similares en la variación de los elementos analizados y sería poco plausible explicar estas diferencias debido al riego.

4.7 ANÁLISIS INTEGRADO DE LOS RESULTADOS

4.7.1 Composición del efluente

La cantidad efectiva de elementos aplicados sobrepasó ampliamente la cantidad originalmente prevista a partir de los análisis de caracterización realizados al efluente industrial antes de la ejecución de este estudio. Esto se ve reflejado en el cuadro 4.11.

Cuadro 4.11 Diferencias entre el aporte de elementos estimado con anterioridad al estudio y aportes reales una vez establecido el riego en kg/ha-mes por dosis.

	25 mm		50 mm		100 mm	
	Estimado	Real	Estimado	Real	Estimado	Real
Nitrógeno	98	140	187	280	374	560
Carbono	825	891	1650	1782	3300	3560
Sodio	114	397	228	794	456	1589
Potasio	138	386	276	772	552	1544
Calcio	22	41	44	82	88	165
Azufre	57	85	115	171	229	342

Los aportes se hicieron críticos para la mayoría de los elementos. Por ejemplo para el caso del carbono, la producción anual de hojarasca de una plantación forestal varía entre 3500 y 8000 kg/ha (Attiwill, 1996) mientras que con la dosis más baja del efluente la incorporación al suelo alcanza las 10 toneladas anuales.

La cantidad de sales aplicadas son las más destacadas. De un aporte proyectado para sodio de 114 kg/ha-mes para la dosis más baja se pasó a uno cercano a los 400 kg/ha-mes. Esto hizo que se produjera una dispersión de las partículas del suelo, desagregando su estructura. Al desagregarse el suelo las partículas se redistribuyen, causando la reducción de los poros gruesos, que son los que conducen el agua libre. Disminuye así la capacidad de infiltración y movimiento del agua en el suelo, lo que causa que el agua de lluvia o el efluente de irrigación no se incorporen al suelo sino que escurran sobre él. En pruebas de laboratorio se determinó, a través del método de lixiviación simulada, que arrojó como resultado, que en las dosis más altas el efluente arrastrara las partículas arcillosas fuera de la columna del suelo (Schlatter *et al.*, 2001).

La gran cantidad de sales sódicas elevó la relación de adsorción de sodio (RAS) a 45, desde la proyección efectuada con anterioridad a la instalación del riego, cuyo valor era de 34,2. Si se hace referencia a la clasificación de Carrow *et al.* (1999) en que se señala que cualquier valor por sobre los 10 reviste un fuerte peligro de destruir la estructura del suelo, se entienden los efectos que el riego provocó al suelo y al agua de percolación.

La conductividad eléctrica del efluente también fue subestimada y los valores promedio de 10,7 dS/m aparecen muy por sobre de la norma máxima recomendada por Dorronsoro (2000) de 2,25 dS/m.

En el caso del nitrógeno, la situación también es de una importancia significativa, ya que lo aplicado superó lo calculado en un 50%.

4.7.2 Agua de lluvia y pluviolavado

El agua recolectada bajo el bosque tuvo siempre concentraciones más elevadas que el agua de lluvia recolectada a campo abierto. Esto era de esperarse, ya que el paso del agua de lluvia a través del dosel del bosque lava el polvo y las sales que se encuentran en la superficie de las hojas, aumentando así la concentración de elementos que tiene el agua al llegar al piso del bosque.

No hubo variaciones significativas entre las muestras de agua de pluviolavado recolectadas bajo los sectores del bosque sometidos a distintas dosis de riego. Esto demuestra que los árboles no absorbieron los nutrientes contenidos en el efluente aplicado sobre el suelo del bosque.

Esto último puede deberse a tres razones. La primera y menos probable dice relación con la forma en que se irrigó las parcelas. La disposición de las mangueras de riego fue en el sentido de la pendiente por lo que no toda la superficie de suelo fue homogéneamente regada, de manera que las raíces de los árboles pudiesen no haber tenido acceso a los nutrientes aportados por el efluente industrial. Sin embargo existe una gran probabilidad que en una plantación de *Eucalyptus globulus*, de 10 años de edad, como era la plantación sobre la cual se regó el efluente, los árboles ya tuviesen completamente ocupada toda la zona superficial del suelo con sus raíces. Es por ello que esta explicación aparece como poco probable.

La segunda consideración tiene que ver con una estrategia ocupada por los árboles para evitar las zonas regadas con el efluente. Al poseer éste una elevada concentración de sales, es muy posible que las raíces ubicadas directamente bajo la zona de riego hayan muerto y los árboles hayan producido mayor tejido radicular en las zonas no afectas al riego para captar agua y nutrientes.

La tercera explicación puede ser que el periodo de análisis haya sido muy corto y que la respuesta no se haya manifestado aún. Esta explicación no parece ser satisfactoria si se piensa que en ensayos de fertilización los árboles que absorben nutrientes experimentan en menos de un año diferencias significativas en la concentración y contenido de nutrientes en su tejido foliar, lo que debiera llevar a un aumento en la concentración de nutrientes en el agua de pluviolavado encontradas bajo las parcelas regadas en relación a la testigo.

Cualquiera sea la explicación, el hecho es que no hubo un efecto que permitiera respaldar la hipótesis de que se iba a producir una diferencia en la concentración de nutrientes del agua de pluviolavado bajo las parcelas regadas con distintas dosis de efluente.

4.7.3 Agua del suelo y escurrimiento superficial

De los resultados observados en las muestras de agua del suelo, se puede afirmar en general, que la concentración de sales disueltas arrastradas por el agua de

percolación se encuentra en proporción a las dosis de efluente aplicadas. Esto quiere decir que el suelo satura su complejo de intercambio con una fracción de las sales aplicadas en el riego y el resto se mueve en profundidad con el agua de percolación.

Sin embargo este comportamiento general no se cumple para la parcela que fue regada con la mayor dosis, ya que en ella la concentración de sales en el agua del suelo extraída desde los 25 cm de profundidad fue menor que aquellas muestras recolectadas desde los 90 cm. Esto se debe en parte al deterioro del sistema poroso del suelo en esa parcela al poco tiempo de iniciar el riego, dificultando así la infiltración del efluente aplicado durante el resto del tiempo que duró el experimento.

Otra variación que explica este comportamiento en la parcela de 100 mm de riego mensual es la ubicación topográfica de los tubos de succión que extraían el agua del suelo desde los 25 cm de profundidad. Ocurrió que en esa zona específica de aquella parcela, la topografía del terreno limitó el acceso del efluente al suelo donde estaban localizados los tubos de succión causando una dilución que no reflejó la cantidad de sales infiltradas en esa profundidad.

Referente al escurrimiento superficial observado en todas las parcelas de riego, éste ocurrió mucho antes en la parcela de riego de 100 mm de efluente mensual, seguida por la de 50 mm mensuales y por la de 25 mm mensuales. A la larga se deterioró la estructura de todas las parcelas dificultando la infiltración del efluente.

4.7.4 Dosis máxima

Uno de los principales objetivos de esta tesis era inferir la dosis máxima de efluente que pudiese ser aceptada por el suelo sin provocar efectos negativos desde el punto de vista del suelo y el agua del suelo.

Las dosis probadas se fundamentaron en cálculos realizados durante la época de planificación del riego. Teniendo en consideración que la industria de levaduras produce 650.000 litros de efluente cada día es que se llegó a las dosis experimentadas que se presentan en el cuadro 4.12. Sin embargo, y en base a los antecedentes entregados y discutidos en este trabajo, se recomienda moverse hacia dosis mucho más bajas.

La aplicación de la fórmula desarrollada por Myers en 1999, y que se utilizó para calcular la cantidad de nitrógeno que contenía el agua de lixiviación, es la que se utilizó para llegar a las dosis que se recomiendan probar. Según esta fórmula, la aplicación de efluente con una concentración de 560 miligramos de nitrógeno por litro (concentración promedio del efluente en este estudio) en el área de ensayo, a razón de 5 mm/mes, resulta en una concentración promedio anual de 27 miligramos de nitrógeno por litro en el agua de lixiviación que accede a los arroyos, en cuyo cauce puede ser diluido aún más.

En el cuadro 4.12 se observan algunos de los parámetros de interés que caracterizan la aplicabilidad de las dosis.

Cuadro 4.12 Cifras orientadoras con respecto a las dosis mensuales recomendadas.

	Dosis experimentadas (mm)			Dosis diluidas (mm)*		
	100	50	25	12,5	7,5	5
Carbono incorporado (kg/ha-año)	42.720	21.360	10.680	5.340	3.204	2.136
Nitrógeno Incorporado (kg/ha-año)	6.720	3.360	1.680	840	504	336
Sales incorporadas NaCl y K ₂ SO ₄ (kg/ha-año)	84.400	42.200	21.100	10.600	6.400	4.300
Superficie de terrenos a regar (ha/año)	19,5	39	78	156	260	390

* Dosis máxima recomendada

Se observa claramente como al disminuir las dosis, aumenta la superficie que debe ser regada para satisfacer los 650.000 litros diarios de efluente producidos por la fábrica de levaduras.

5. CONCLUSIONES

El ensayo demostró que la aplicación del efluente, con el objetivo de solucionar el problema de eliminación de los residuos líquidos industriales, desde el punto de vista ambiental y de la dinámica del recurso hídrico, no es posible bajo las mismas condiciones experimentadas.

La concentración estimada de nitrógeno en el agua de lixiviación es muy elevada pudiendo ocasionar la contaminación con nitratos de las napas subterráneas, si no se bajan las dosis y diluye el efluente.

El efluente tiene una relación de adsorción de sodio (RAS) promedio de 42,3 y una conductivimetría promedio de 10,7 dS/m. Estas cifras corroboran que el efluente es inadecuado para el riego. Debe evaluarse la posibilidad de modificar la composición del efluente, disminuyendo su concentración de sodio y/o aumentando la de calcio y magnesio, con objeto de alcanzar valores adecuados de RAS para que pueda ser empleado para el riego.

Los altos contenidos de sales sódicas y potásicas que posee el efluente causaron un daño estructural al suelo limitando la infiltración. Esto provocó que tanto el agua lluvia como el efluente aplicado escurrieran superficialmente en distinta magnitud. El escurrimiento se inició a las 4 y 7 semanas de instalado el ensayo dependiendo de la cantidad de riego aplicada.

El análisis químico efectuado al efluente con anterioridad al ensayo difiere notablemente con aquel del monitoreo efectuado a cada carga de efluente efectivamente aplicado en terreno. Estas diferencias fueron causales importantes para que la estimación efectuada con anterioridad al ensayo fuera distinta.

La concentración de elementos móviles en el agua de pluviolavado bajo la cubierta del bosque no acusó efecto del efluente aplicado y las cifras no difieren entre las zonas regadas con efluente y la testigo que no se regó.

El riego provoca que el suelo sature su complejo de intercambio con una fracción de las sales contenidas en el efluente. El resto se mueve en profundidad con el agua de percolación causando un aumento de la concentración de las muestras de agua del suelo extraídas en profundidad.

El análisis de las muestras efectuado en el estero no entregó resultados que demuestren una variación en la calidad del agua de la microcuenca, probablemente debido al efecto de dilución a causa de que la superficie regada fue muy reducida. Un experimento a mayor escala sería requerido para evaluar de manera completa y más precisa este efecto.

En base a las conclusiones y con objeto de seguir investigando la factibilidad de regar con el efluente, se recomienda experimentar el riego con dosis más bajas y mucho más diluidas.

Como consecuencia de esta primera etapa del proyecto se adoptaron varias medidas para su continuación, las que se pueden resumir en las siguientes:

- Disminuir las dosis de prueba en las parcelas diseñadas a través de tres formas:
 - o Bajando la cantidad de sales sódicas y potásicas del efluente industrial en la planta de producción de levadura antes de que éste llegue a regar los bosques del fundo Collico.
 - o Diluyendo el efluente bajando de esta manera la concentración de elementos.
 - o Disminuyendo la cantidad de elementos aportados al sistema aumentando la superficie de aplicación.
- Aumentar el número y cambiar la manera en que están dispuestas las mangueras de riego para que el regadío se produzca de manera más homogénea.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1963. Aguas y aguas de desecho; Incluyendo sedimentos bentales y lodos. 11ª ed. México D.F., Interamericana. 609p.
- ARMSON, A. 1977. Forest soils; properties and processes. Toronto, University of Toronto. 390 p.
- ASSIMAKOPOULOS, J. 2000. Effect of Sodium-Vinasse Application on Seed Germination and Growth of Three Species Differing in Salt Tolerance. Atenas, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry. 18 p.
- ATTIWILL, P.; ADAMS, A.; 1996. Nutrition of Eucalypts. Collingwood, Australia. CSIRO. 440 p.
- BAKER, F. 1950. Principles of silviculture. New York, McGraw-Hill. 414 p.
- BRADY, N.; WEIL, R. 1999. The Nature and Properties of Soils. s.l., Prentice-Hall. 881p.
- BENNETT, H. 1965. Elementos de conservación de suelos. México D. F., Fondo de cultura económica. 412p.
- CARROW, R. DUNCAN, R. HUCK, M. 1999. Tratamiento del agua de riego para mejorar la infiltración. INTERNET: http://www.aag.com.ar/boletin_97_03.html
- DONOSO, C. 1981. Ecología Forestal; El bosque y su medio ambiente. Santiago (Chile), Universitaria. 369 p.
- DORRONSORO, C. 2000. Contaminación por sales solubles. INTERNET: <http://www.edafologia.ugr.es/Conta/Tema12/1Concep.html> 14 de mayo de 2000.
- HILLEL, D. 1998. Environmental Soil Physics. San Diego, Academic Press. 771 p.
- HEREDIA, O.; MEDINA, C. 1999. Enseñanza de los Criterios de Interpretación de la Calidad del Agua para la Agricultura. INTERNET: <http://www.iica.org.uy/p1-17-pon11.htm>. 14 de mayo de 2000.
- HEWLETT, J.; NUTTER, W. 1969. An outline of forest hydrology. Georgia (E.U.A). University of Georgia. 132 p.

- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (COLOMBIA). 1999. Demanda Bioquímica de Oxígeno. INTERNET: <http://www.ideam.gov.co/quimica/metodologia/dbo.html> 16 de mayo de 2000.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (CHILE). 1985. Suelos volcánicos de Chile. Santiago (Chile). 723p.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (CHILE). 1989. Mapa agroclimático de Chile. Santiago (Chile), Impresos FOCET. 87p.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (CHILE); UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Santiago (Chile), IREN. 177p.
- LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULUS, J. 1977. Hidrología para Ingenieros. Bogotá, McGraw-Hill Latinoamericana. 382 p.
- MARINO, O.; JACOTT, M.; FRANCO, A. 2000. Proyecto Emisiones Espacio Virtual. INTERNET: http://www.laneta.apc.org/emis/docs/glos_d-h.htm. 10 de mayo de 2000.
- MARTIN, B. 2001. Efecto de la aplicación de un efluente industrial sobre las propiedades de un suelo de la serie Los Ulmos, Provincia de Valdivia. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 40 p.
- MÜLLER, G. 1971. Einheitliche Anforderungen an die Beschaffenheit, Untersuchung und Beurteilung von Trinkwasser in Europa. Stuttgart, Gustav Fisher Verlag. 50 p.
- MYERS, B. 1999. Sustainable Effluent-Irrigated Plantations: An Australian Guideline. Canberra, Australia. CSIRO. 286 p.
- NAPOLI, A.; DI PAOLA, M. 1999. Programa Buenos Aires Sustentable: Calidad del agua. INTERNET: http://www.farn-sustentar.org/docs/p12/publicaciones_12-1.html. 27 de mayo de 2000.
- PRITCHETT, W. 1990. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. México D.F., Limusa. 634 p.
- RICHARDS, L. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington DC. 15 p.
- SCHLATTER, J.; GREZ, R.; BÖHM, L.; MARTIN, B. 2001. Reciclaje de efluente de industria de levadura como fertilizante forestal. Informe Final. Universidad Austral de Chile, Levaduras Collico S.A. Valdivia, Chile. 60 p.

SCHLATTER, J.; GREZ, R.; GERDING, V. Curso corto de Postítulo (Fertilización Forestal). Universidad Austral de Chile. 166p.

SOKHAL, R.; RHOLF F. 2000. Biometry. 3 ed. New York, Freeman and Company. 887p.

STEEL, R.; TORRIE, J. 1960. Principles and procedures of statistics: with special reference to biological sciences. U.S. McGraw-Hill Book Company, Inc. 471 p.

7. ABSTRACT

This thesis consist in a study that examines the possibility of recycling the effluent of the Valdivian yeast company "Harinas y Levaduras Collico Ltda." in the forest flour of an Eucalyptus plantation in the 10th Region of Chile. It is focused in the effects on water dynamics after four months of irrigation.

Its main goal is to determine the feasibility of irrigating such liquid residue without damaging soil properties and water quality, and to determine proper doses in order to accomplish such goals.

After the established period of irrigation the high contents of sodic and potasic salts contained in the effluent produced the dispersion of the soil colloids causing the loss of soil structure. This determined that the effluent stopped infiltrating the soil after a few weeks of irrigation, causing mayor runoff.

Besides the high content of salts, the high levels of nitrogen contained in the effluent caused leaching water to be well over the maximum nitrate content that is acceptable.

Conclusions established that new doses, among other measures, like improvement of some practical problems in the irrigation system, and some changes in the salt contents of the effluent, were recommended in order to continue investigations in this matter.

ANEXOS

ANEXO 1

Análisis Estadístico del Pluviolavado

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

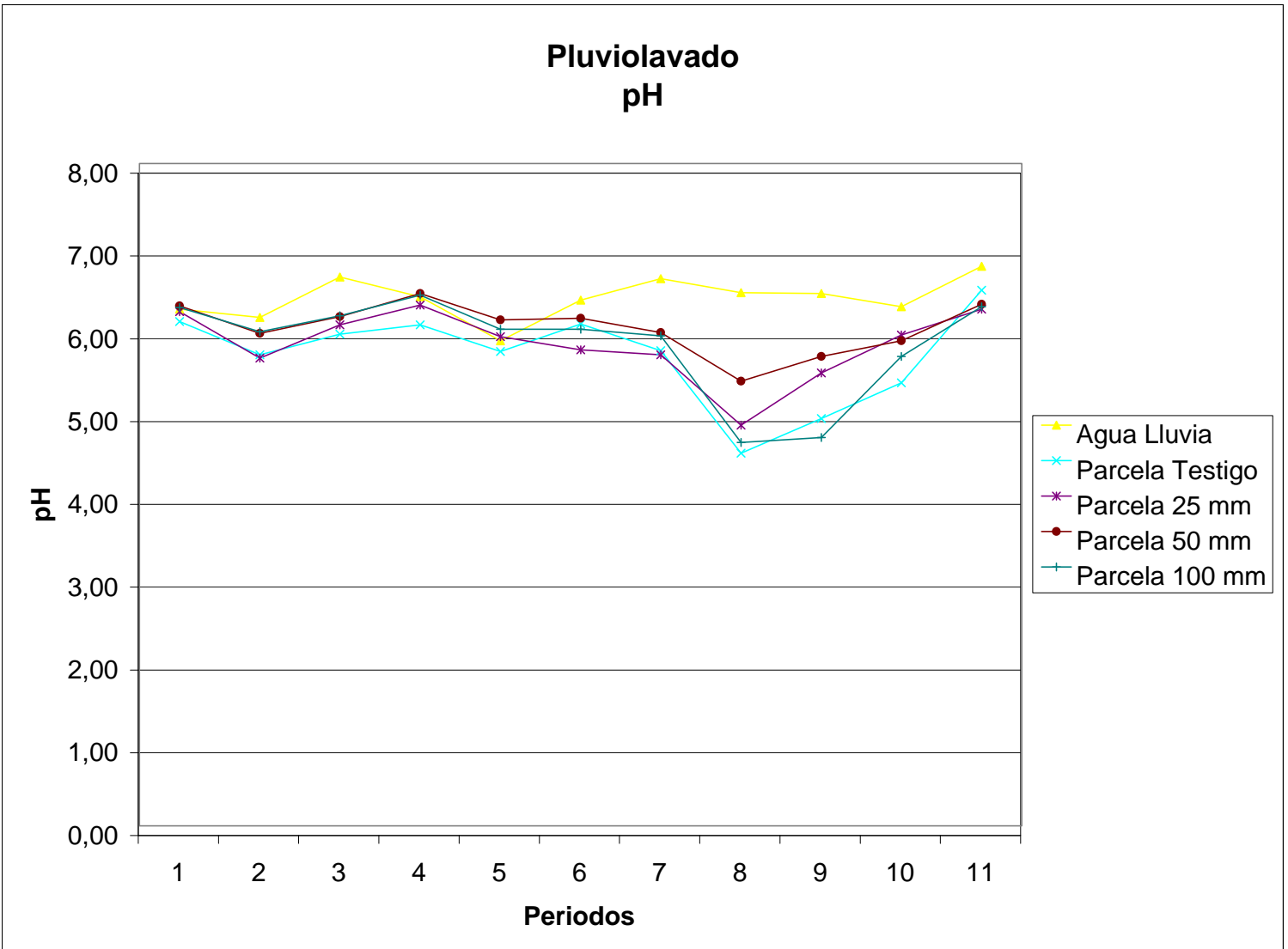
		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	6,09	5,69	5,94	6,05	5,73	6,06	5,74	4,50	4,92	5,35	6,47	62,5
	2	6,21	5,65	6,05	6,29	5,91	5,75	5,69	4,84	5,47	5,93	6,24	64,0
	3	6,28	5,95	6,15	6,43	6,11	6,13	5,96	5,37	5,67	5,86	6,30	66,2
	4	6,26	5,97	6,16	6,41	6,00	6,00	5,92	4,63	4,69	5,67	6,27	64,0
Suma		24,84	23,26	24,3	25,18	23,75	23,94	23,31	19,34	20,75	22,81	25,28	256,8
suma cuadrados observaciones		154,2782	135,342	147,6542	158,5996	141,0931	143,363	135,8917	93,9494	108,2723	130,2759	159,8014	1508,5208
suma de suma^2		617,0256	541,0276	590,49	634,0324	564,0625	573,1236	543,3561	374,0356	430,5625	520,2961	639,0784	1506,7726
													1498,93609

TC = 1498,31131

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	8,46129091	0,84612909	22,60	*	8,79	27,23
Filas Dosis	3	0,62478182	0,20826061	5,56	ns	8,79	27,23
Error	30	1,12341818	0,03744727				
Total	43	10,2094909					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	25,00	20,80	44,40	43,30	65,00	44,00	30,00	43,00	41,00	26,00	28,10	410,6
	2	22,00	19,90	42,40	36,80	57,00	58,00	20,00	23,00	22,00	16,00	21,20	338,3
	3	19,00	16,10	39,20	35,40	47,00	48,00	20,00	23,00	17,00	22,00	25,30	312,0
	4	26,00	25,00	44,50	40,80	63,00	53,00	30,00	44,00	41,00	24,00	25,50	416,8
Suma		92	81,8	170,5	156,3	232	203	100	133	121	88	100,1	1477,7
suma cuadrados observaciones		2146	1712,86	7286,01	6146,93	13652	10413	2600	4843	4135	1992	2529,39	57456,19
suma de suma^2		8464	6691,24	29070,25	24429,69	53824	41209	10000	17689	14641	7744	10020,01	50373,2264

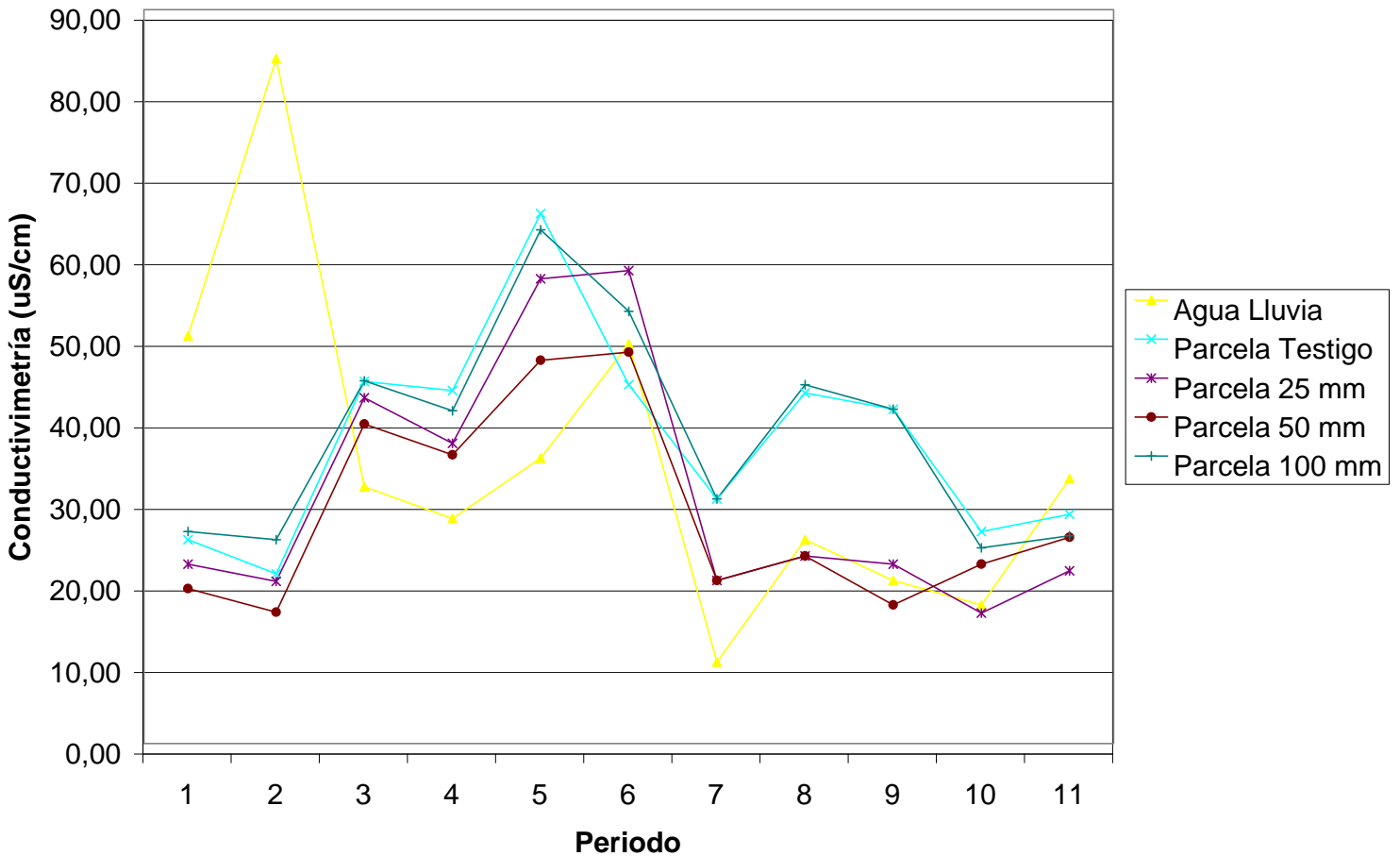
TC = 49627,2111

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	6318,33636	631,833636	24,79	*	8,79	27,23
Filas Dosis	3	746,015227	248,671742	9,76	*	8,79	27,23
Error	30	764,627273	25,4875758				
Total	43	7828,97886					

Pluviolavado Conductivimetría



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	1,50	1,25	3,71	3,66	4,93	5,00	2,90	2,30	2,63	1,84	0,96	30,7
	2	1,30	1,15	3,59	3,10	3,95	5,00	2,60	1,73	1,75	1,58	0,57	26,3
	3	1,20	1,15	3,56	3,23	3,50	4,30	2,90	1,87	1,37	1,98	0,86	25,9
	4	1,50	1,29	3,84	3,49	4,35	4,70	3,80	2,64	2,35	1,86	0,81	30,6
Suma	5,5	4,84	14,7	13,48	16,73	19	12,2	8,54	8,1	7,26	3,2	113,6	
suma cuadrados observaciones	7,63	5,8716	54,0714	45,6186	71,0799	90,58	38,02	18,7494	17,3788	13,262	2,6422	364,9039	
suma de suma^2	30,25	23,4256	216,09	181,7104	279,8929	361	148,84	72,9316	65,61	52,7076	10,24	360,674525	
												294,9134636	

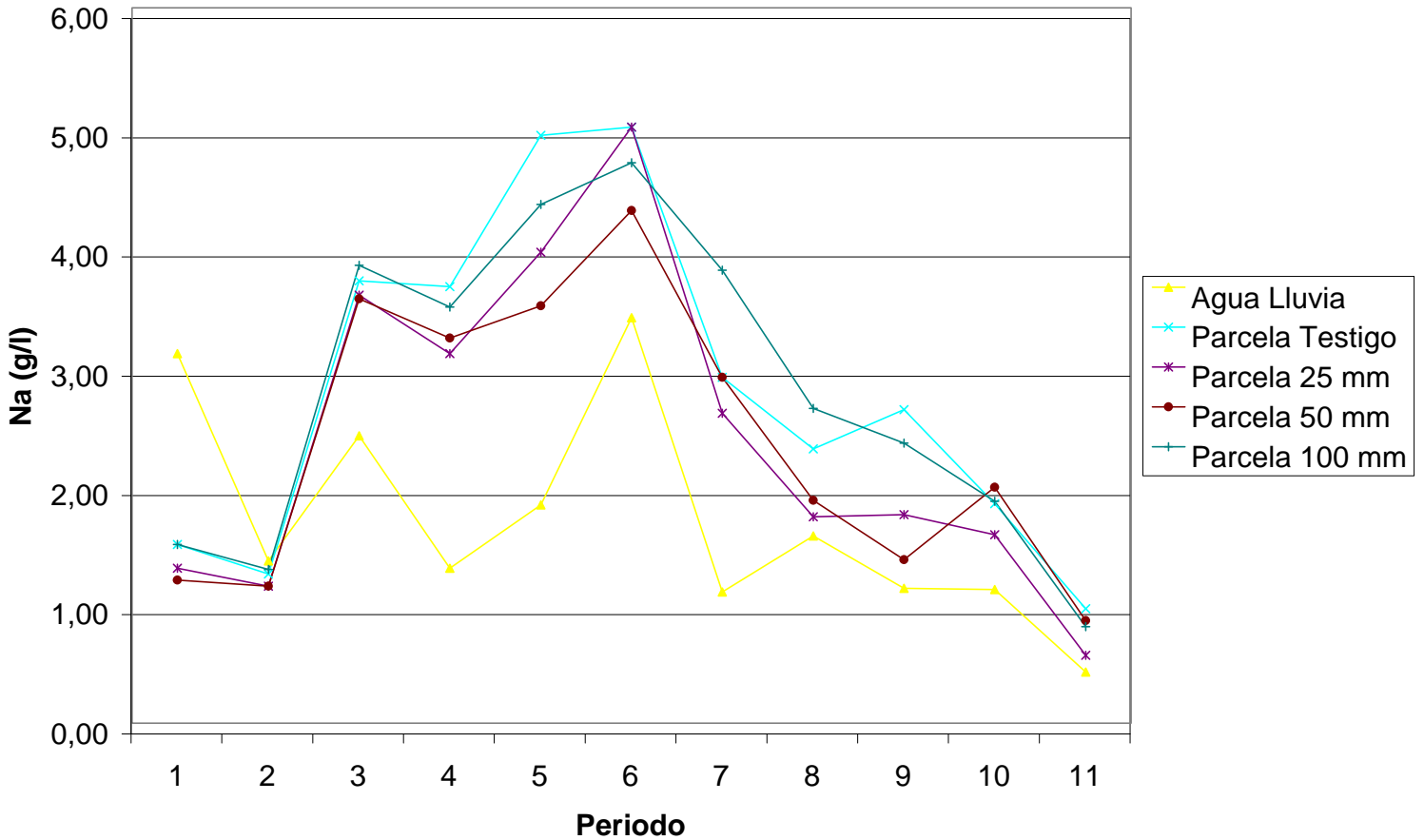
TC = 293.0364205

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	67,63810455	6,763810455	86,26	**	8,79	27,23
Filas Dosis	3	1,877043182	0,625681061	7,98	ns	8,79	27,23
Error	30	2,352331818	0,078411061				
Total	43	71,86747955					

Pluviolavado Na



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	0,90	1,08	2,13	2,72	4,79	2,40	2,10	2,25	1,71	0,87	0,50	21,5
	2	1,00	1,61	2,32	2,57	6,14	2,70	2,70	1,30	1,07	0,60	0,27	22,3
	3	1,10	0,96	2,13	2,61	3,91	2,30	3,20	1,88	0,70	1,03	0,49	20,3
	4	1,70	2,22	2,33	2,86	6,02	3,50	3,60	4,19	5,04	0,70	0,52	32,7
Suma		4,7	5,87	8,91	10,76	20,86	10,9	11,6	9,62	8,52	3,2	1,78	96,7
suma cuadrados observaciones		5,91	9,6085	19,8851	28,995	112,1722	30,59	34,9	27,843	29,9606	2,6678	0,8334	303,3656
suma de suma^2		22,09	34,4569	79,3881	115,7776	435,1396	118,81	134,56	92,5444	72,5904	10,24	3,1684	279,69135
													221,543582

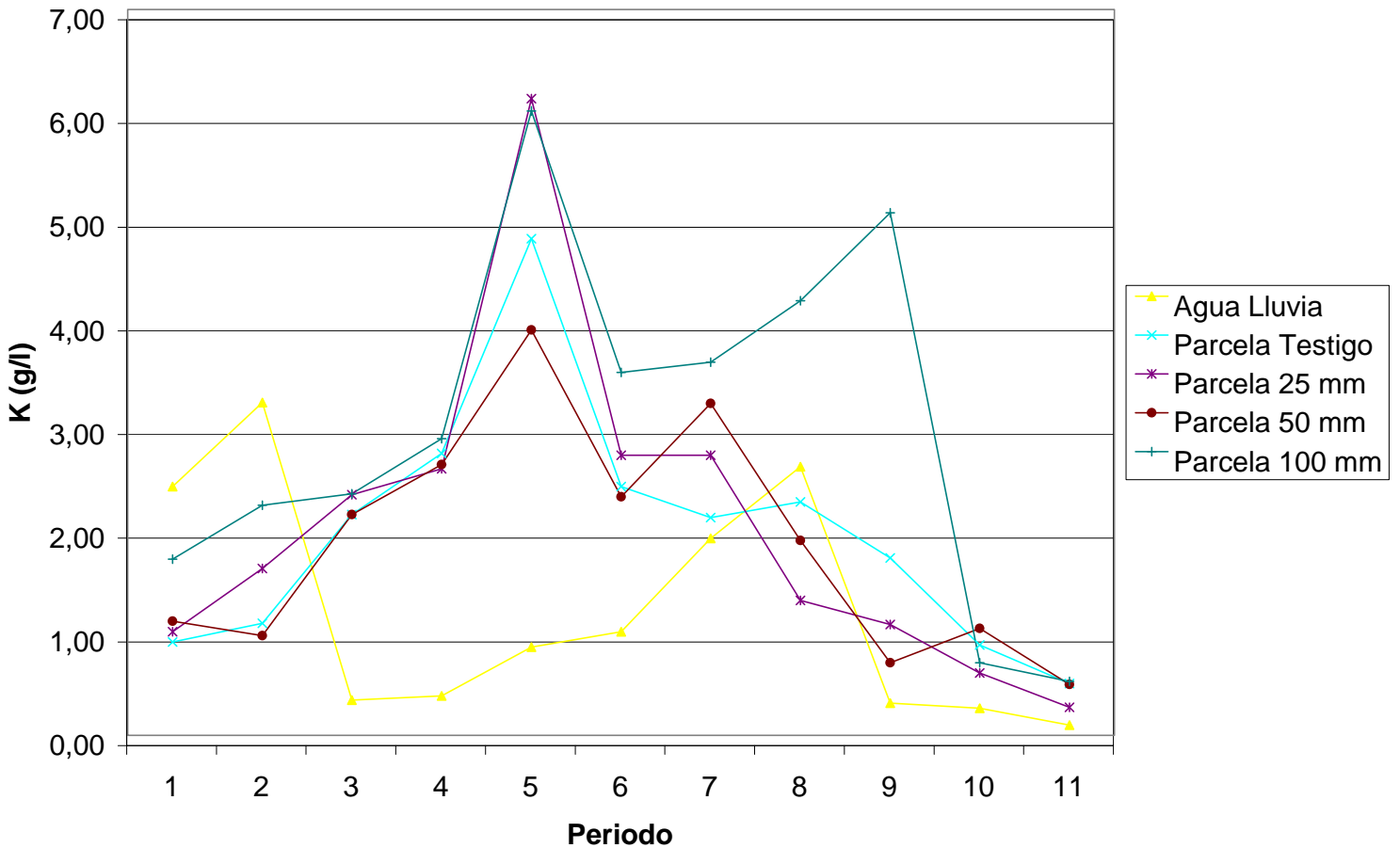
TC = 212.608145

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	67,0832045	6,70832045	13,65	*	8,79	27,23
Filas Dosis	3	8,93543636	2,97847879	6,06	ns	8,79	27,23
Error	30	14,7388136	0,49129379				
Total	43	90,7574545					

Pluviolavado
K



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

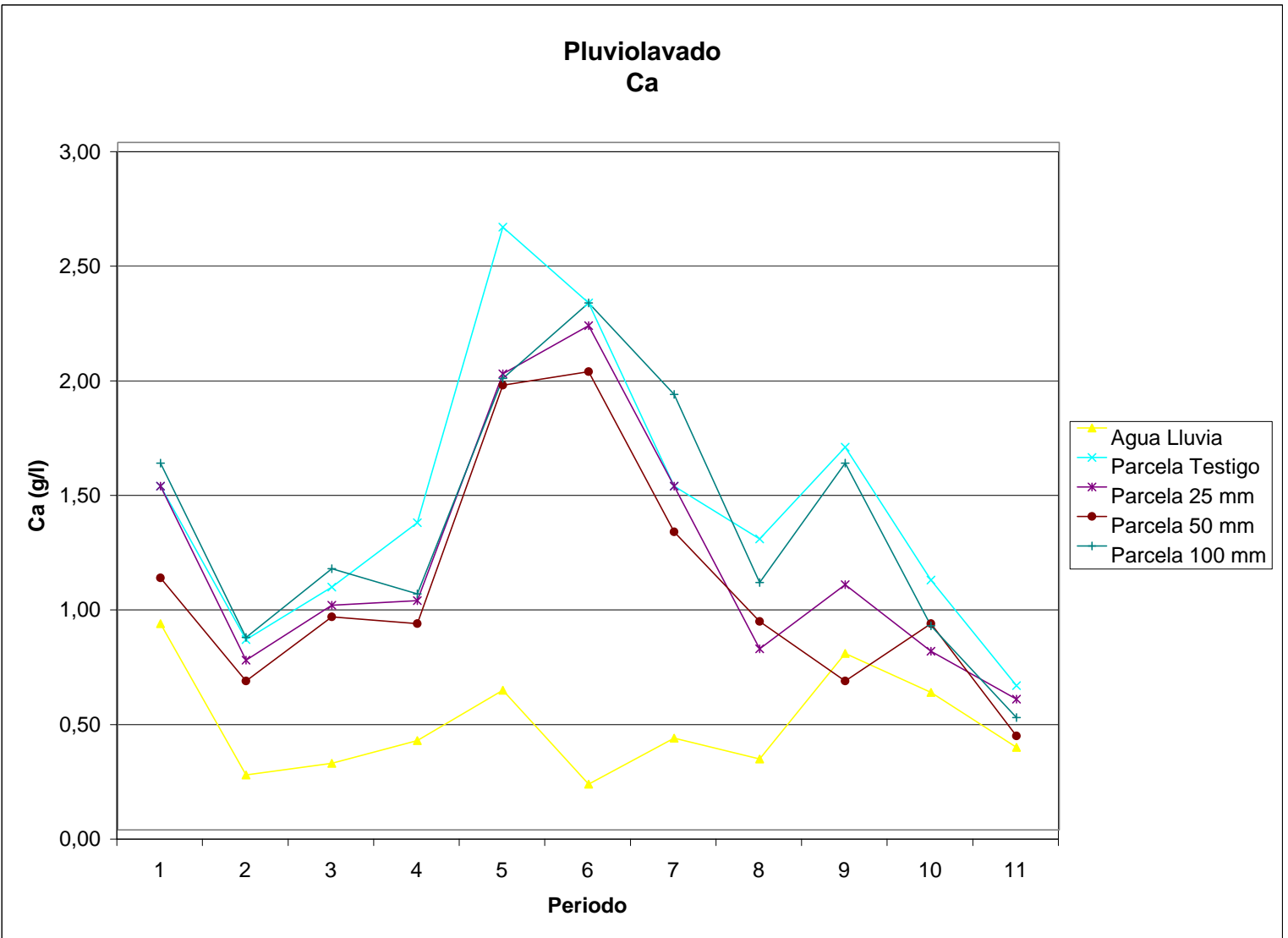
		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	1,50	0,83	1,06	1,34	2,63	2,30	1,50	1,27	1,67	1,09	0,63	15,8
	2	1,50	0,74	0,98	1,00	1,99	2,20	1,50	0,79	1,07	0,78	0,57	13,1
	3	1,10	0,65	0,93	0,90	1,94	2,00	1,30	0,91	0,65	0,90	0,41	11,7
	4	1,60	0,84	1,14	1,03	1,97	2,30	1,90	1,08	1,60	0,89	0,49	14,8
Suma		5,7	3,06	4,11	4,27	8,53	8,8	6,2	4,05	4,99	3,66	2,1	55,5
suma cuadrados observaciones		8,27	2,3646	4,2485	4,6665	18,5215	19,42	9,8	4,2315	6,9163	3,3986	1,13	82,9675
suma de suma^2		32,49	9,3636	16,8921	18,2329	72,7609	77,44	38,44	16,4025	24,9001	13,3956	4,41	81,181925
													70,8444091

TC = 69.9300205

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	11,2519045	1,12519045	38,75	**	8,79	27,23
Filas Dosis	3	0,91438864	0,30479621	10,50	*	8,79	27,23
Error	30	0,87118636	0,02903955				
Total	43	13,0374795					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (4x11) SIN REPETICION

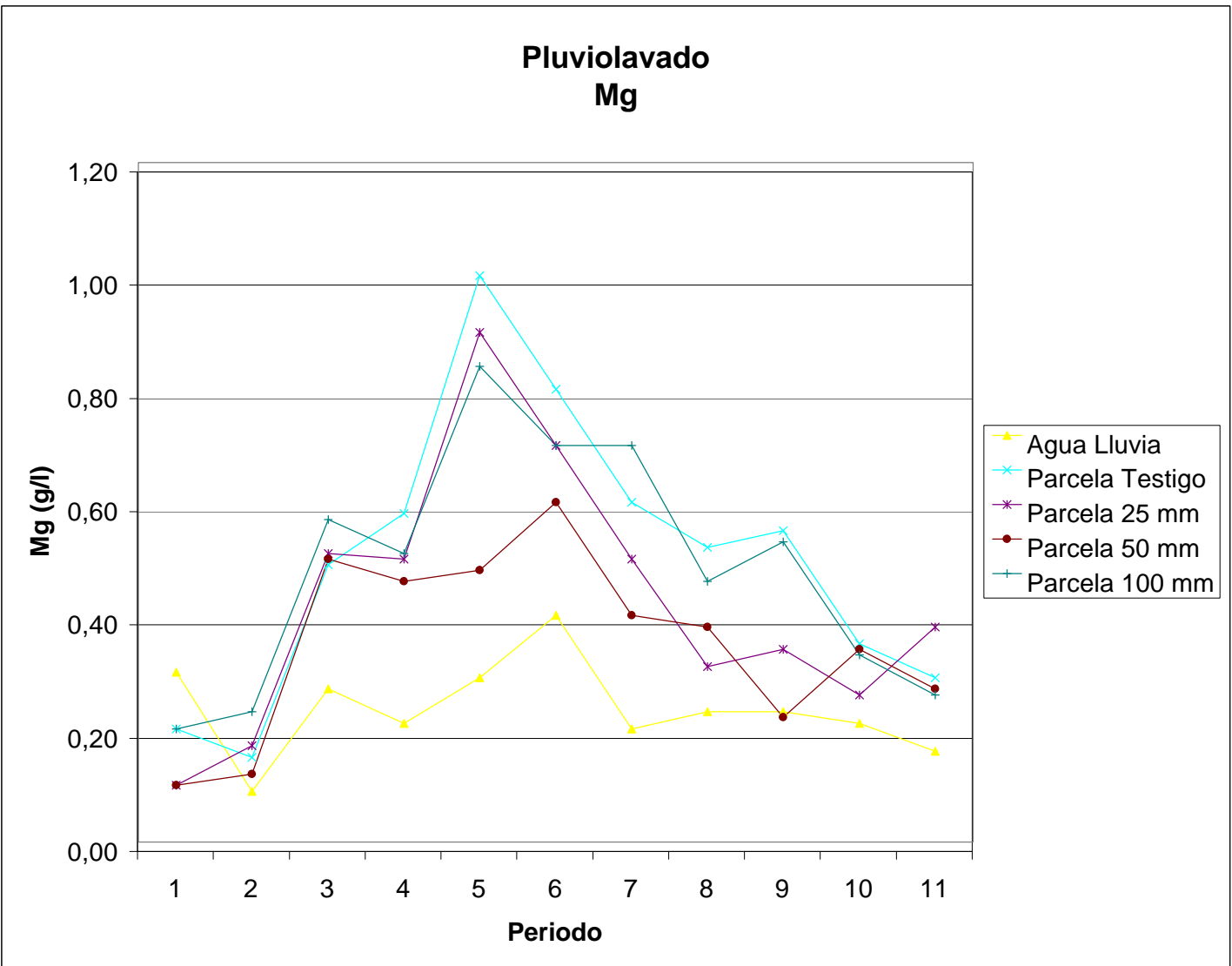
		Periodo											Suma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dosis	1	0,20	0,15	0,49	0,58	1,00	0,80	0,60	0,52	0,55	0,35	0,29	5,5
	2	0,10	0,17	0,51	0,50	0,90	0,70	0,50	0,31	0,34	0,26	0,38	4,7
	3	0,10	0,12	0,50	0,46	0,48	0,60	0,40	0,38	0,22	0,34	0,27	3,9
	4	0,20	0,23	0,57	0,51	0,84	0,70	0,70	0,46	0,53	0,33	0,26	5,3
Suma		0,6	0,67	2,07	2,05	3,22	2,8	2,2	1,67	1,64	1,28	1,2	19,4
suma cuadrados observaciones		0,1	0,1187	1,0751	1,0581	2,746	1,98	1,26	0,7225	0,7474	0,4146	0,369	10,5914
suma de suma^2		0,36	0,4489	4,2849	4,2025	10,3684	7,84	4,84	2,7889	2,6896	1,6384	1,44	10,2254
													8,70687273

TC = 8,55363636

- 1 Gran total.
- 2 Suma de los cuadrados de las observaciones.
- 3 Suma de los cuadrados totales de las columnas dividida por el tamaño muestral de una columna.
- 4 Suma de los cuadrados totales de las filas dividida por el tamaño muestral de una fila.
- 5 Gran total elevado al cuadrado y dividido por el tamaño total de la muestra.

Tabla ANOVA

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas Periodo	10	1,67176364	0,16717636	23,57	*	8,79	27,23
Filas Dosis	3	0,15323636	0,05107879	7,20	ns	8,79	27,23
Error	30	0,21276364	0,00709212				
Total	43	2,03776364					



ANEXO 2

Análisis Estadístico del Agua del Suelo

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

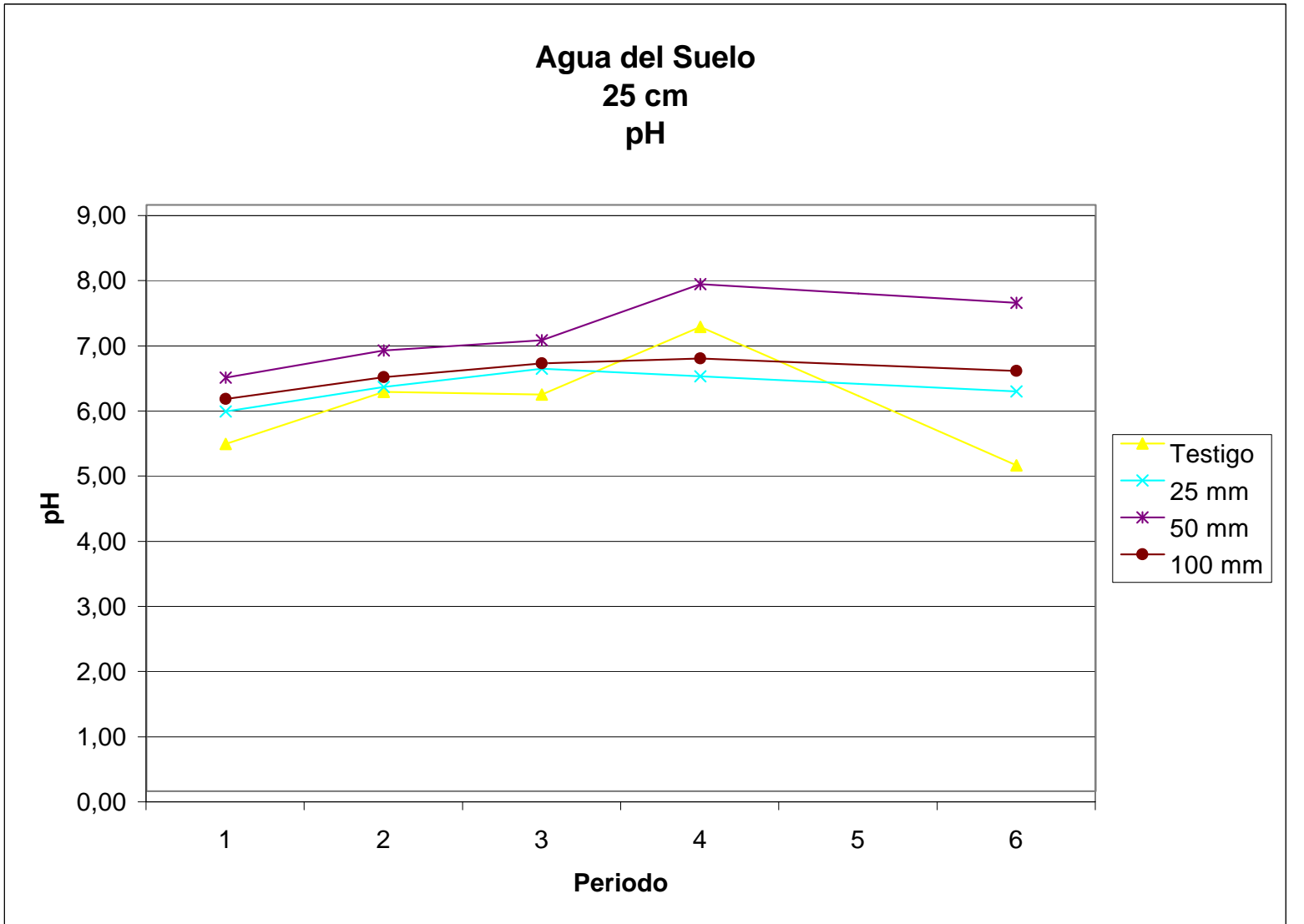
pH 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Dosis (mm)								
0	5,33	6,13	6,09	7,13		5,00	29,68	880,9024
25	5,83	6,20	6,48	6,37		6,14	31,02	962,44721
50	6,35	6,77	6,92	7,79		7,50	35,32	1247,7379
100	6,02	6,35	6,57	6,64		6,45	32,03	1025,9209
(1) Suma	23,53	25,45333333	26,06	27,92333333		25,09	128,06	823,40168
(2) Suma cuadrado observaciones	138,9607	162,2108667	170,1292222	196,0931222		160,5521	827,94601	
(3) Suma ^2	553,6609	647,8721778	679,1236	779,7125444		629,5081	822,46933	
(5) TC	819,9254939							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: pH 25 cm

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	2,54383667	0,63595917	3,81	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	3,47618389	1,15872796	6,95	ns	9,12	28,71
Error		12	2,00049667	0,167				
Total		19	8,02051722					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

pH 90 cm

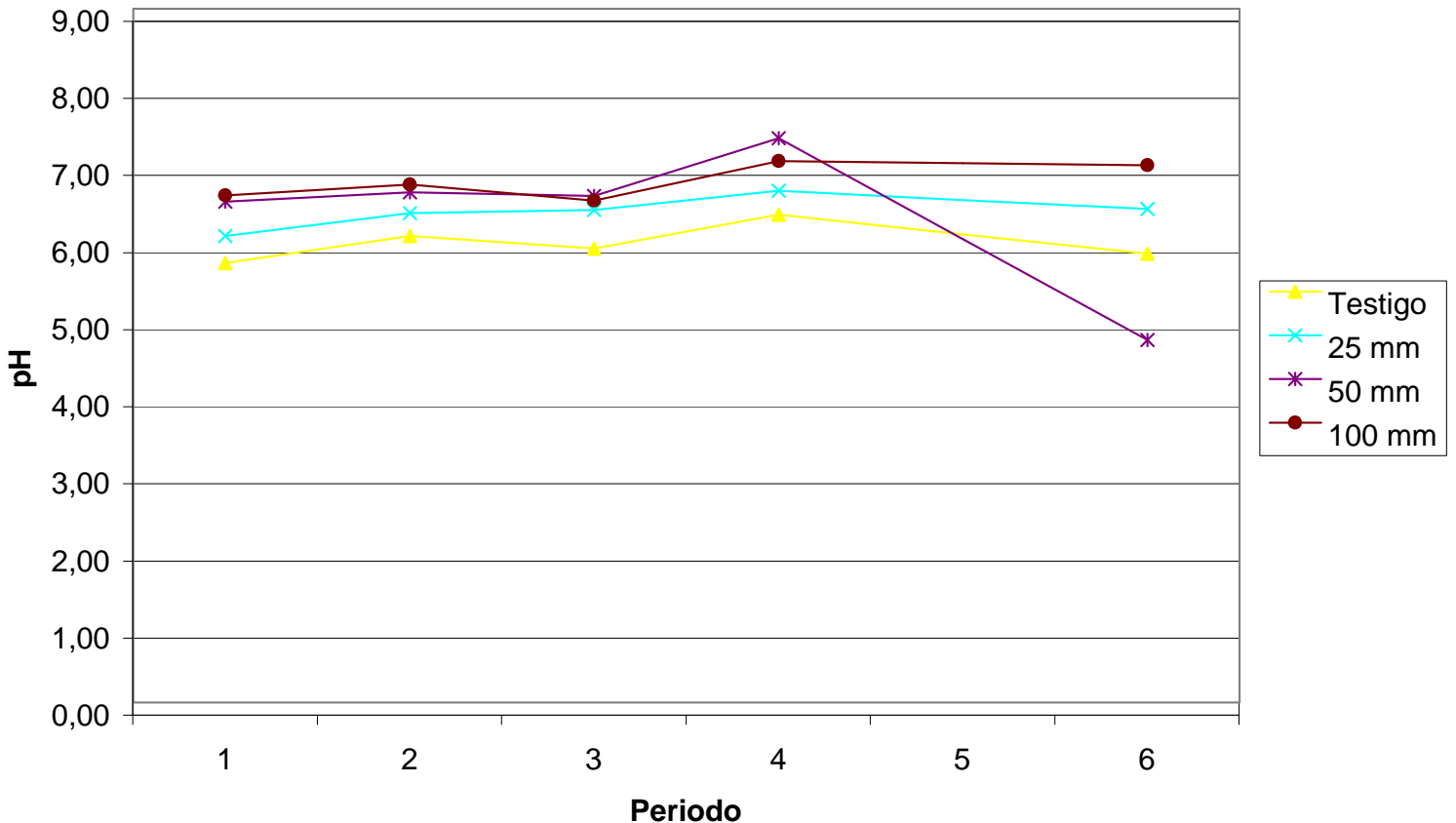
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Dosis (mm)								
0	5,70	6,05	5,89	6,33		5,82	29,79	887,4441
25	6,05	6,35	6,39	6,64		6,40	31,83	1013,1489
50	6,50	6,62	6,57	7,32		4,70	31,71	1005,5241
100	6,58	6,72	6,51	7,02		6,97	33,80	1142,44
(1) Suma	24,83	25,74	25,36	27,31		23,89	127,13	809,71142
(2) Suma cuadrado observaciones	154,6389	165,9078	161,0692	187,0213		145,5033	814,1405	
(3) Suma ^2	616,5289	662,5476	643,1296	745,8361		570,7321	809,69358	
(5) TC	808,101845							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: pH 90 cm

							F tabulado	
Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	1,59173	0,3979325	1,68	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	1,609575	0,536525	2,27	ns	9,12	28,71
Error		12	2,83735	0,236				
Total		19	6,038655					

**Agua del Suelo
 90 cm
 pH**



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Dosis (mm)

VARIABLE:

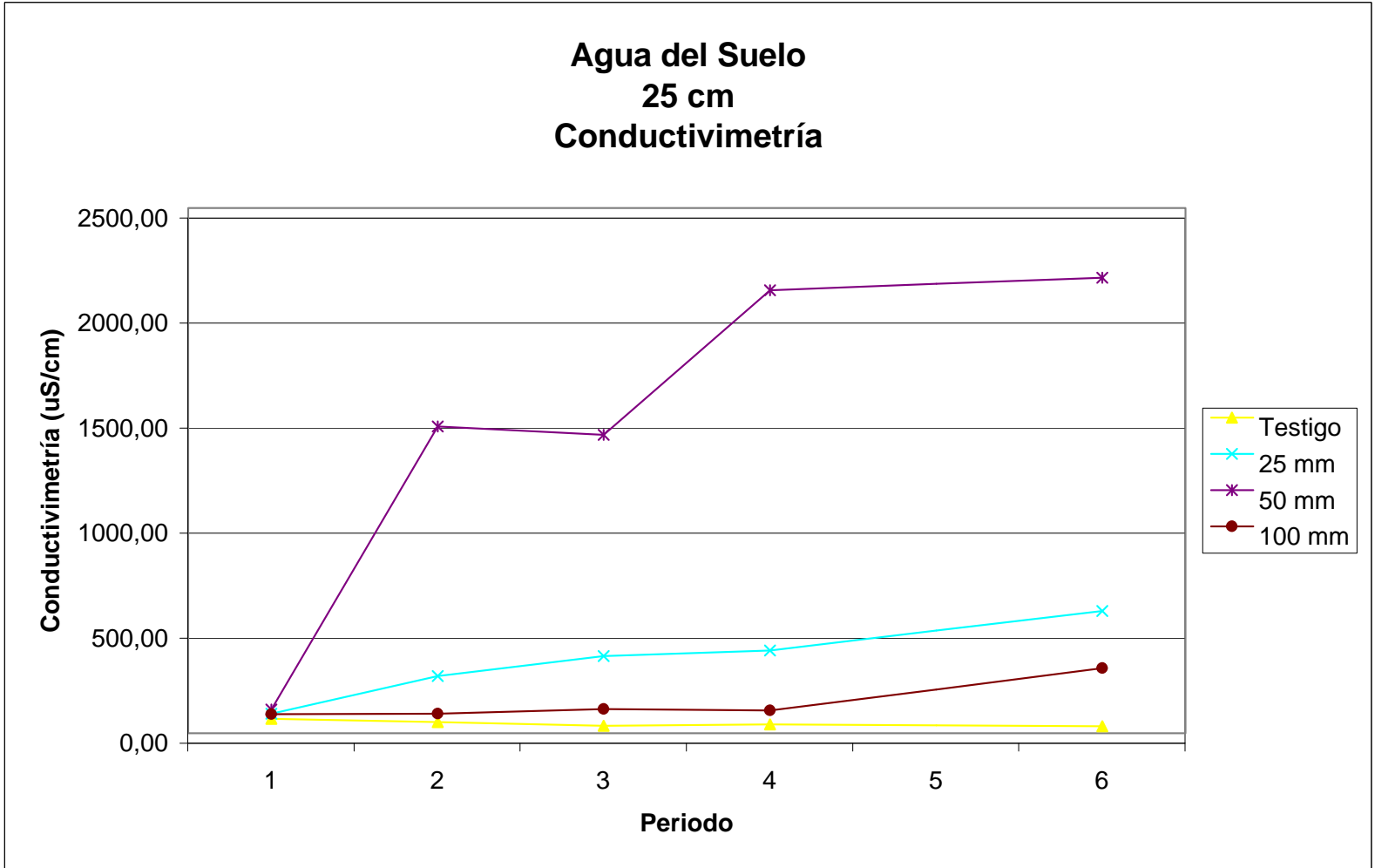
Cond. 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	68,00	52,20	34,90	42,20		33,00	230,30	53038,09	
25	93,00	272,53	368,00	394,73		581,00	1709,27	2921592,538	
50	113,00	1460,00	1420,93	2108,57		2169,00	7271,50	52874712,25	
100	91,00	92,50	114,43	107,93		310,00	715,87	512465,0844	
(1) Suma	365	1877,233333	1938,266667	2653,433333		3093	9926,93	11272361,59	
(2) Suma cuadrado observaciones	34323	2217155,508	2168788,536	4615298,237		5139311	14174876,28		
(3) Suma ^2	133225	3524004,988	3756877,671	7040708,454		9566649	6005366,278		
(5) TC								4927200,27	

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Cond. 25 cm

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado		
						P = 0,05	P = 0,01	
Columnas	Periodo	4	1078166,008	269541,502	1,77	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	6345161,322	2115053,774	13,91	*	9,12	28,71
Error		12	1824348,679	152029,057				
Total		19	9247676,01					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Dosis (mm)

VARIABLE:

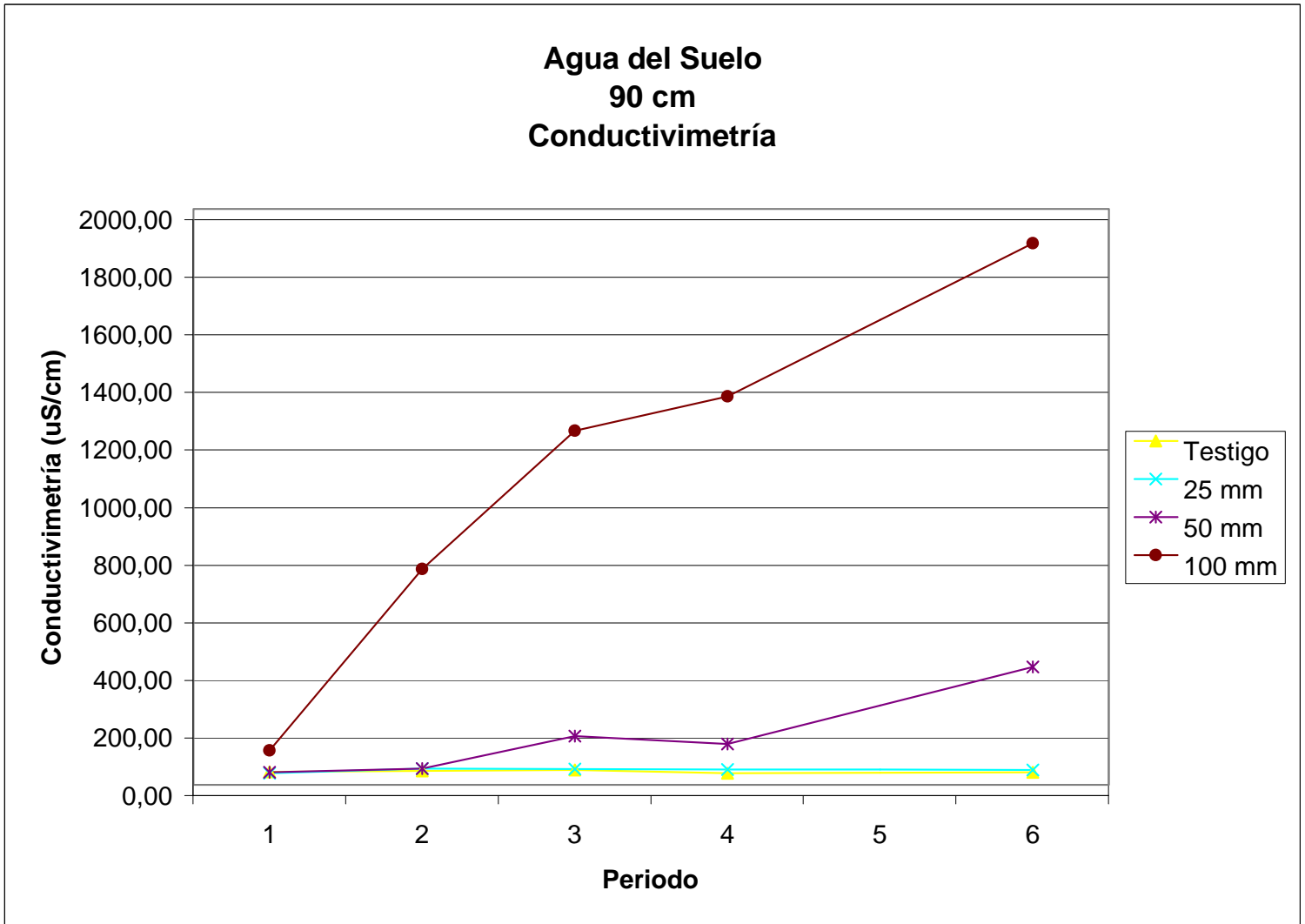
Cond. 90 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Dosis (mm)								
0	45,00	49,10	52,20	40,50		44,00	230,80	53268,64
25	40,00	56,20	55,60	52,90		52,00	256,70	65894,89
50	44,00	56,80	170,00	141,60		410,00	822,40	676341,76
100	119,00	749,00	1230,00	1349,00		1880,00	5327,00	28376929
(1) Suma	248	911,1	1507,8	1584		2386	6636,90	5834486,858
(2) Suma cuadrado	19722	569796,49	1547616,2	1844290,22		3707140	7688564,91	
(3) Suma ^2	61504	830103,21	2273460,84	2509056		5692996	2841780,013	
(5) TC	2202422,081							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Cond. 90 cm

						F tabulado		
Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	639357,932	159839,483	1,58	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	3632064,778	1210688,259	11,96	*	9,12	28,71
Error		12	1214720,12	101226,677				
Total		19	5486142,83					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

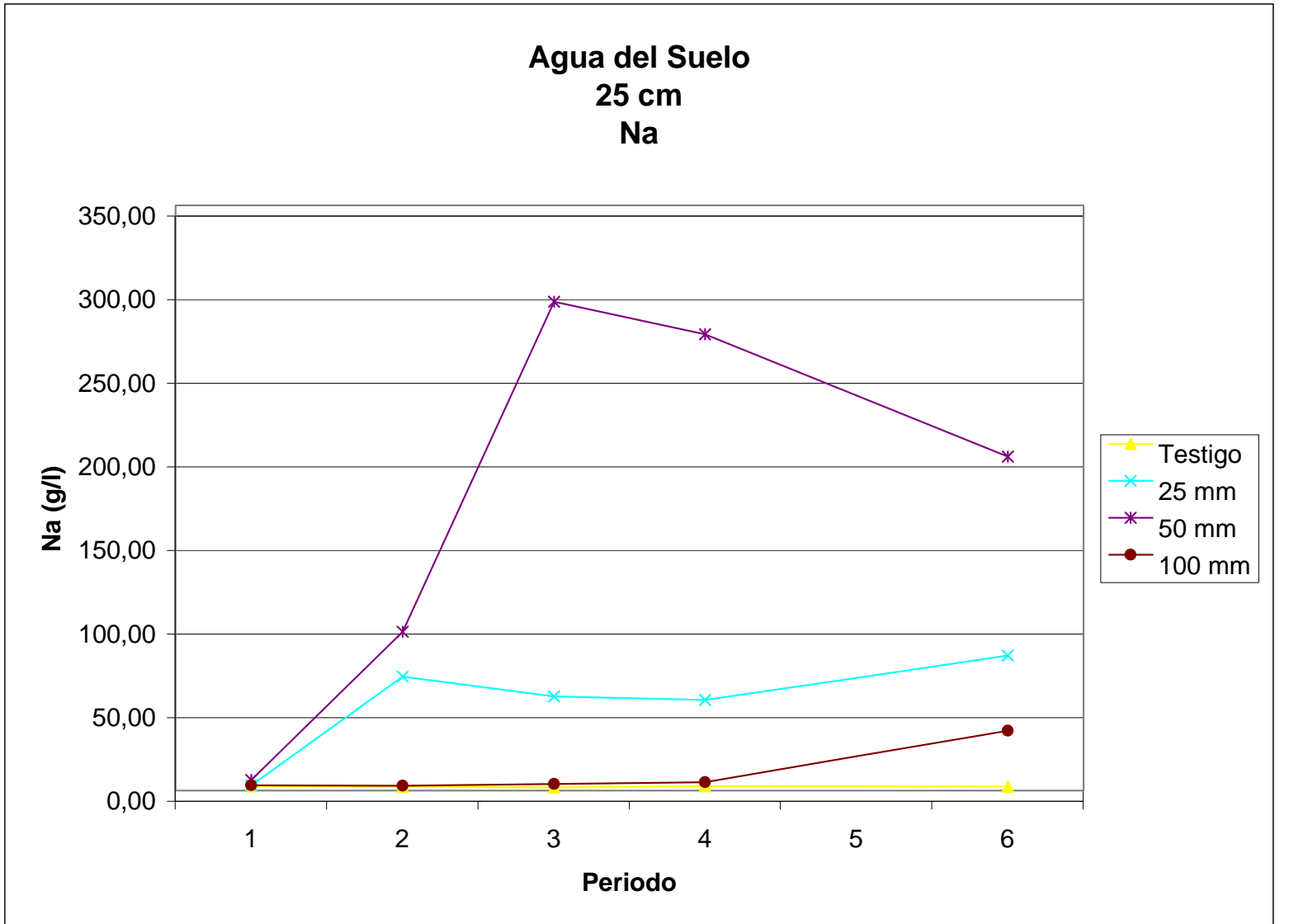
Na 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	2,70	2,30	1,75	2,53		2,50	11,78	138,7684	
25	3,20	68,16	56,29	54,22		80,70	262,57	68943,005	
50	6,37	94,93	292,36	272,82		199,70	866,18	750267,79	
100	3,10	2,93	3,93	5,13		35,70	50,79	2579,9626	
(1) Suma	15,36666667	168,3266667	354,3333333	334,6966666		318,6	1191,32	164385,91	
(2) Suma cuadrado observaciones	67,67444444	13672,01782	88663,04113	77401,78709		47673,32	227477,84		
(3) Suma ^2	236,1344444	28333,86671	125552,1111	112021,8582		101505,96	91912,483		
(5) TC	70962,56415								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Na 25 cm

Fuente de variación	Variable	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	20949,9185	5237,47962	1,49	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	93423,3415	31141,1138	8,87	ns	9,12	28,71
Error		12	42142,0163	3511,835				
Total		19	156515,276					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

Na 90 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Dosis (mm)								
0	2,20	2,18	2,25	2,07		2,60	11,30	127,69
25	2,10	2,09	2,73	2,37		2,60	11,89	141,3721
50	2,30	2,48	17,45	12,10		36,30	70,63	4988,5969
100	12,00	89,00	192,00	222,00		323,00	838,00	702244
(1) Suma	18,6	95,75	214,43	238,54		364,5	931,82	141500,33
(2) Suma cuadrado observaciones	158,54	7936,2709	37181,0179	49440,3118		105660,21	200376,35	
(3) Suma ^2	345,96	9168,0625	45980,2249	56901,3316		132860,25	61313,957	
(5) TC	43414,42562							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Na 90 cm

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	17899,5316	4474,88291	1,31	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	98085,9062	32695,3021	9,57	*	9,12	28,71
Error		12	40976,4872	3414,707				
Total		19	156961,925					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

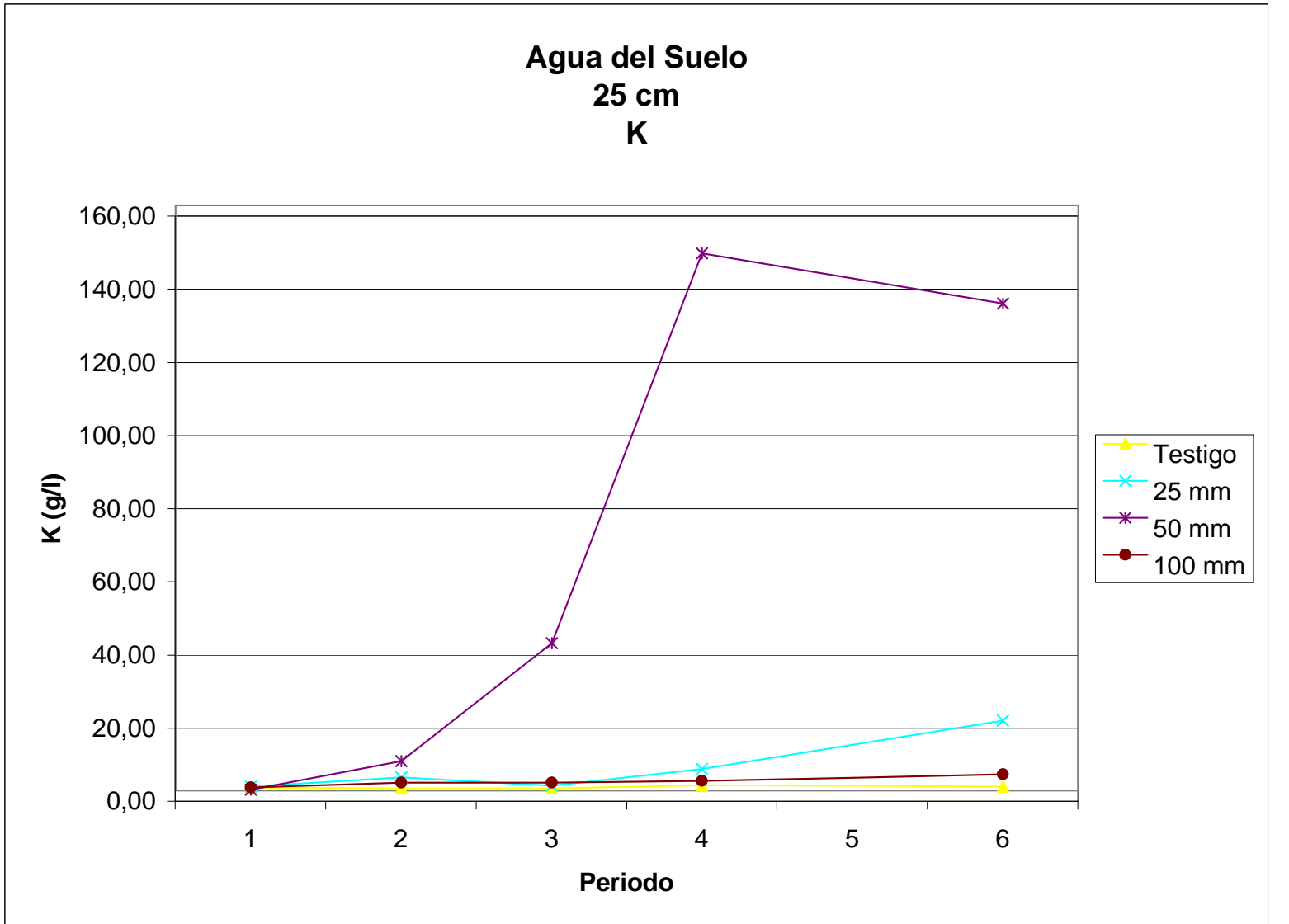
K 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	0,90	0,60	0,56	1,44		1,10	4,60	21,16	
25	1,05	3,62	1,28	5,89		19,10	30,95	957,69618	
50	0,30	8,02	40,35	146,91		133,20	328,77	108089,71	
100	0,85	2,12	2,19	2,60		4,40	12,16	147,94668	
(1) Suma	3,1	14,35333333	44,38333333	156,8433333		157,8	376,48	21843,303	
(2) Suma cuadrado observaciones	2,725	82,21162222	1634,624767	21625,15103		18127,62	41472,332		
(3) Suma ^2	9,61	206,0181778	1969,880278	24599,83121		24900,84	12921,545		
(5) TC	7086,85952								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: K 25 cm

Fuente de variación	Variable	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	5834,6854	1458,67135	1,27	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	14756,4436	4918,81454	4,28	ns	9,12	28,71
Error		12	13794,3439	1149,529				
Total		19	34385,4729					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

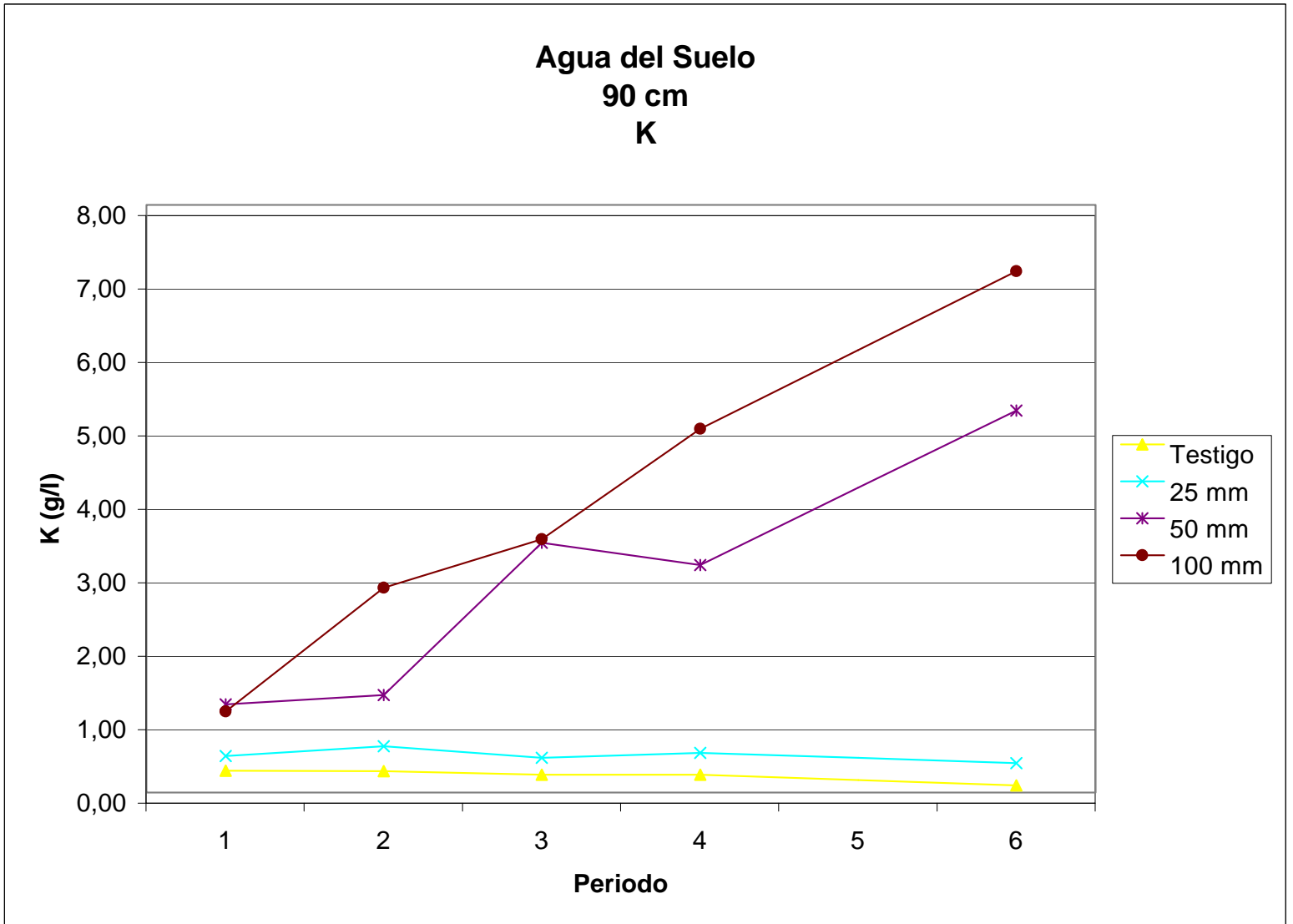
K 90 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma ²	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	0,30	0,29	0,24	0,24		0,10	1,17	1,3689	
25	0,50	0,63	0,47	0,54		0,40	2,54	6,4516	
50	1,20	1,33	3,40	3,10		5,20	14,23	202,4929	
100	1,10	2,79	3,45	4,95		7,10	19,39	375,9721	
(1) Suma	3,1	5,04	7,56	8,83		12,8	37,33	117,2571	
(2) Suma cuadrado observaciones	2,99	10,034	23,741	34,4617		77,62	148,8467		
(3) Suma ²	9,61	25,4016	57,1536	77,9689		163,84	83,493525		
(5) TC	69,676445								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: K 90 cm

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	13,81708	3,45427	2,33	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	47,580655	15,8602183	10,71	*	9,12	28,71
Error		12	17,77252	1,481				
Total		19	79,170255					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

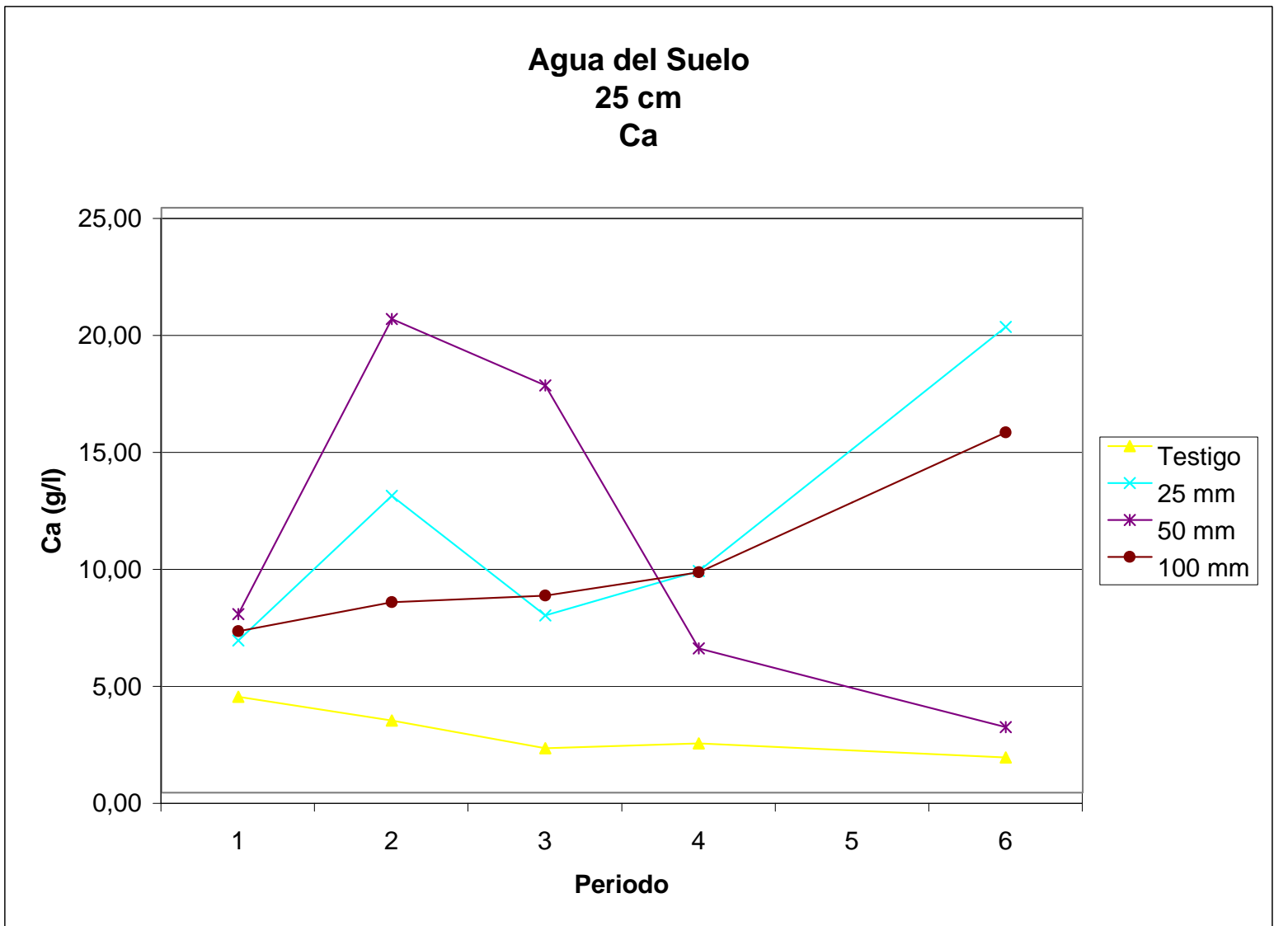
Ca 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	4,10	3,08	1,89	2,11		1,50	12,68	160,7824	
25	6,50	12,69	7,57	9,48		19,90	56,13	3150,5769	
50	7,63	20,25	17,40	6,16		2,80	54,25	2942,7008	
100	6,90	8,15	8,42	9,42		15,40	48,28	2330,9584	
(1) Suma	25,13333333	44,16	35,27666667	27,16666667		39,6	171,34	1717,0037	
(2) Suma cuadrado observaciones	164,9377778	646,7336	434,5428333	220,9196		643,26	2110,3938		
(3) Suma ^2	631,6844444	1950,1056	1244,443211	738,0277778		1568,16	1533,1053		
(5) TC	1467,812667								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Ca 25 cm

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado		
						P = 0,05	P = 0,01	
Columnas	Periodo	4	65,2925911	16,3231478	0,60	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	249,191042	83,0636806	3,04	ns	9,12	28,71
Error		12	328,097511	27,341				
Total		19	642,581144					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

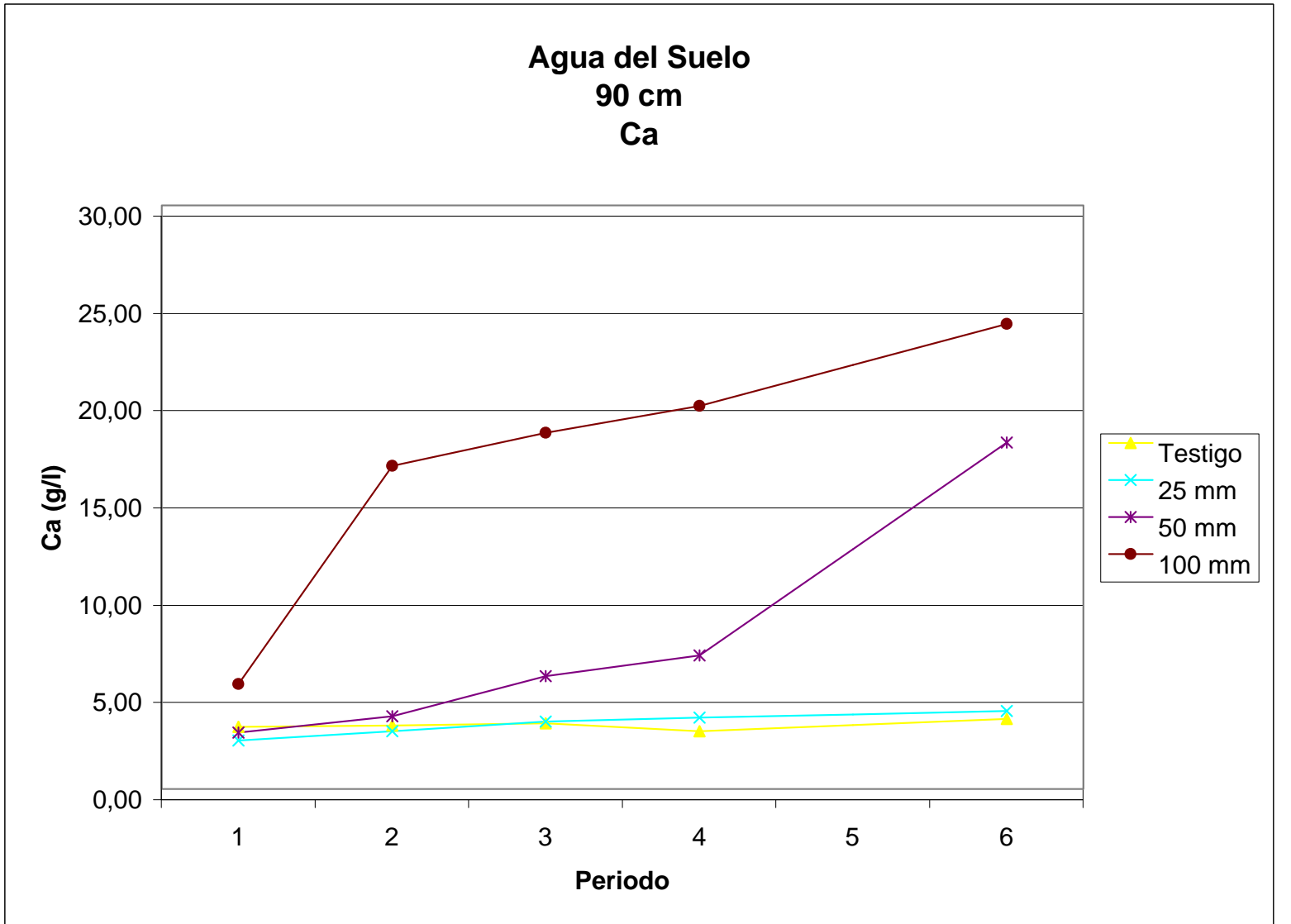
Ca 90 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	3,20	3,27	3,37	2,96		3,60	16,40	268,96	
25	2,50	2,96	3,46	3,68		4,00	16,60	275,56	
50	2,90	3,75	5,80	6,87		17,80	37,12	1377,8944	
100	5,40	16,60	18,30	19,69		23,90	83,89	7037,5321	
(1) Suma	14	26,58	30,93	33,2		49,3	154,01	1791,9893	
(2) Suma cuadrado observaciones	54,06	309,077	391,8585	457,197		917,01	2129,2025		
(3) Suma ^2	196	706,4964	956,6649	1102,24		2430,49	1347,9728		
(5) TC	1185,954005								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Ca 90 cm

							F tabulado	
Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	162,01882	40,504705	2,77	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	606,035295	202,011765	13,84	*	9,12	28,71
Error		12	175,19438	14,600				
Total		19	943,248495					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

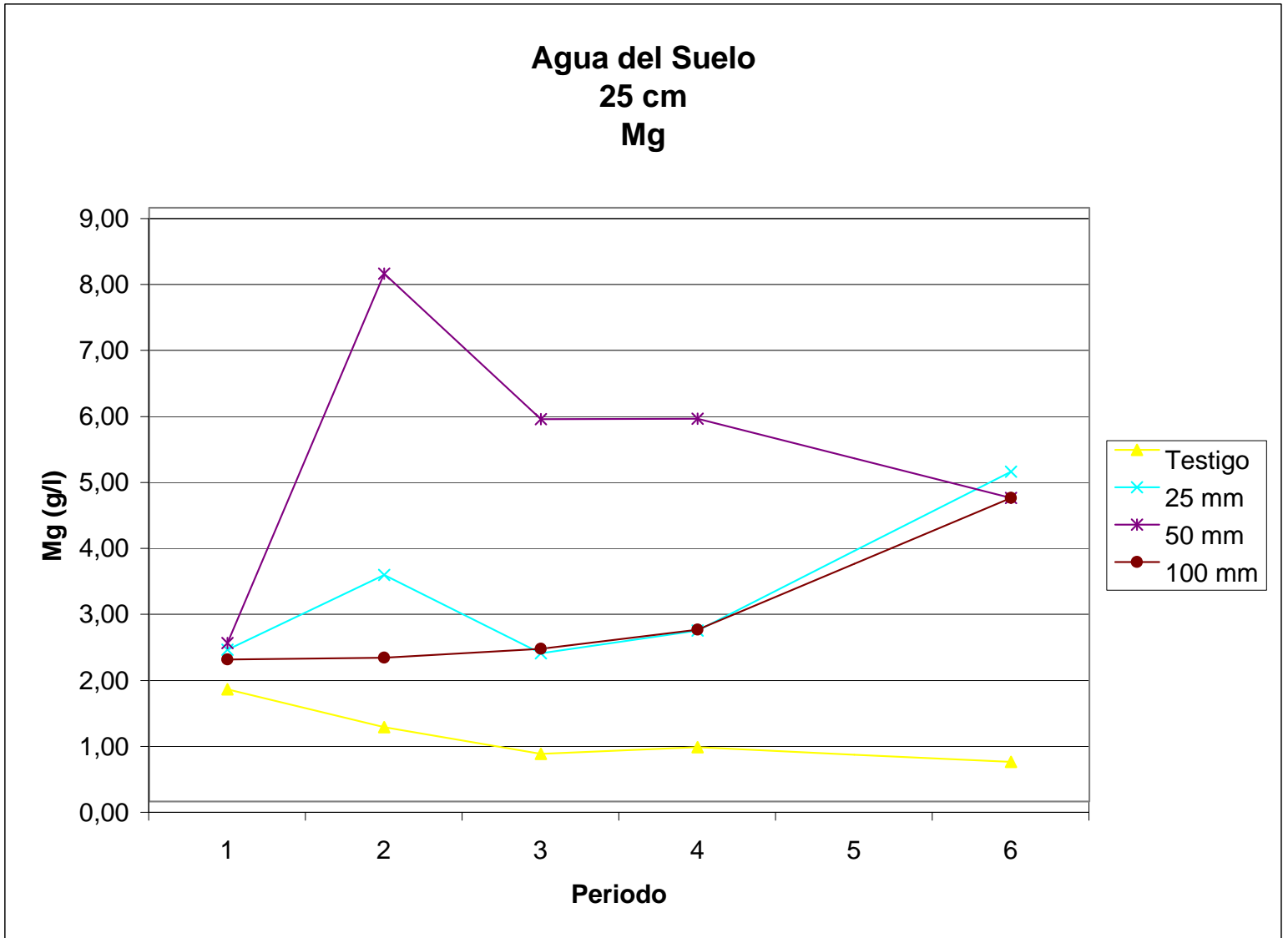
Mg 25 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	1,70	1,13	0,72	0,82		0,60	4,97	24,7009	
25	2,30	3,43	2,25	2,59		5,00	15,57	242,52871	
50	2,40	8,00	5,80	5,80		4,60	26,60	707,38268	
100	2,15	2,18	2,32	2,60		4,60	13,85	191,73018	
(1) Suma	8,55	14,74	11,08333333	11,81333333		14,8	60,99	233,26849	
(2) Suma cuadrado observaciones	18,5625	81,80255556	44,54918889	47,79784444		67,68	260,39209		
(3) Suma ^2	73,1025	217,2676	122,8402778	139,5548444		219,04	192,95131		
(5) TC	185,9686756								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Mg 25 cm

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado		
						P = 0,05	P = 0,01	
Columnas	Periodo	4	6,98263	1,7456575	1,04	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	47,2998178	15,7666059	9,39	*	9,12	28,71
Error		12	20,1409656	1,678				
Total		19	74,4234133					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

FACTOR A (5 columnas):
 FACTOR B (4 filas):
 VARIABLE:

Periodo
 Dosis (mm)

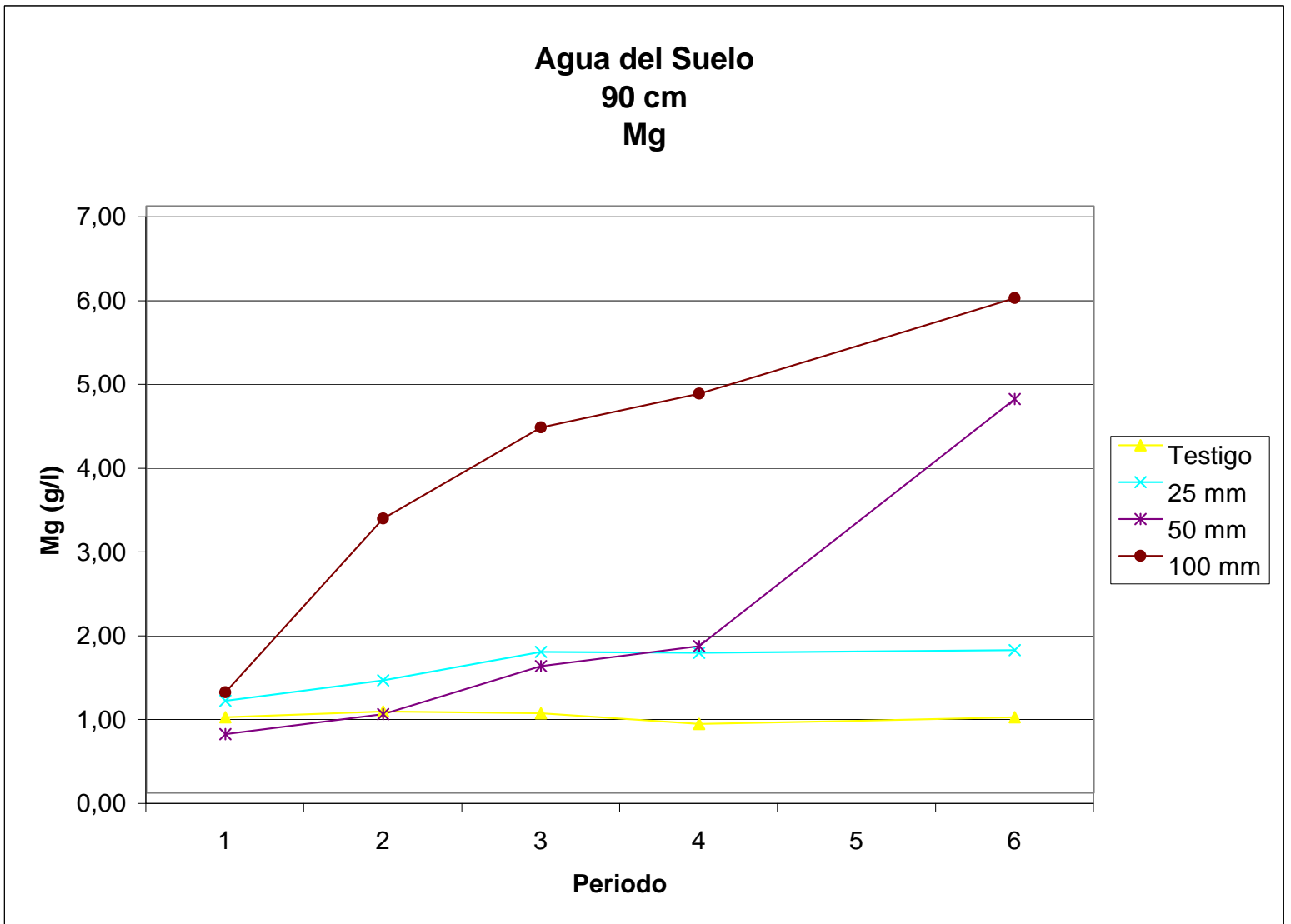
Mg 90 cm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Dosis (mm)									
0	0,90	0,97	0,95	0,82		0,90	4,54	20,6116	
25	1,10	1,34	1,68	1,67		1,70	7,49	56,1001	
50	0,70	0,94	1,51	1,75		4,70	9,60	92,16	
100	1,20	3,27	4,36	4,76		5,90	19,49	379,8601	
(1) Suma	3,9	6,52	8,5	9		13,2	41,12	109,74636	
(2) Suma cuadrado observaciones	3,95	14,313	25,0146	29,1814		60,6	133,059		
(3) Suma ^2	15,21	42,5104	72,25	81		174,24	96,3026		
(5) TC	84,54272								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (5x4) SIN REPETICION

Variable: Mg 90 cm

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	4	11,75988	2,93997	3,05	ns	9,12	28,71
Filas	Dosis (mm)	3	25,20364	8,40121333	8,73	ns	9,12	28,71
Error		12	11,55276	0,963				
Total		19	48,51628					



ANEXOS 3

Análisis Estadístico del Análisis Vertical

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

pH vertical Testigo

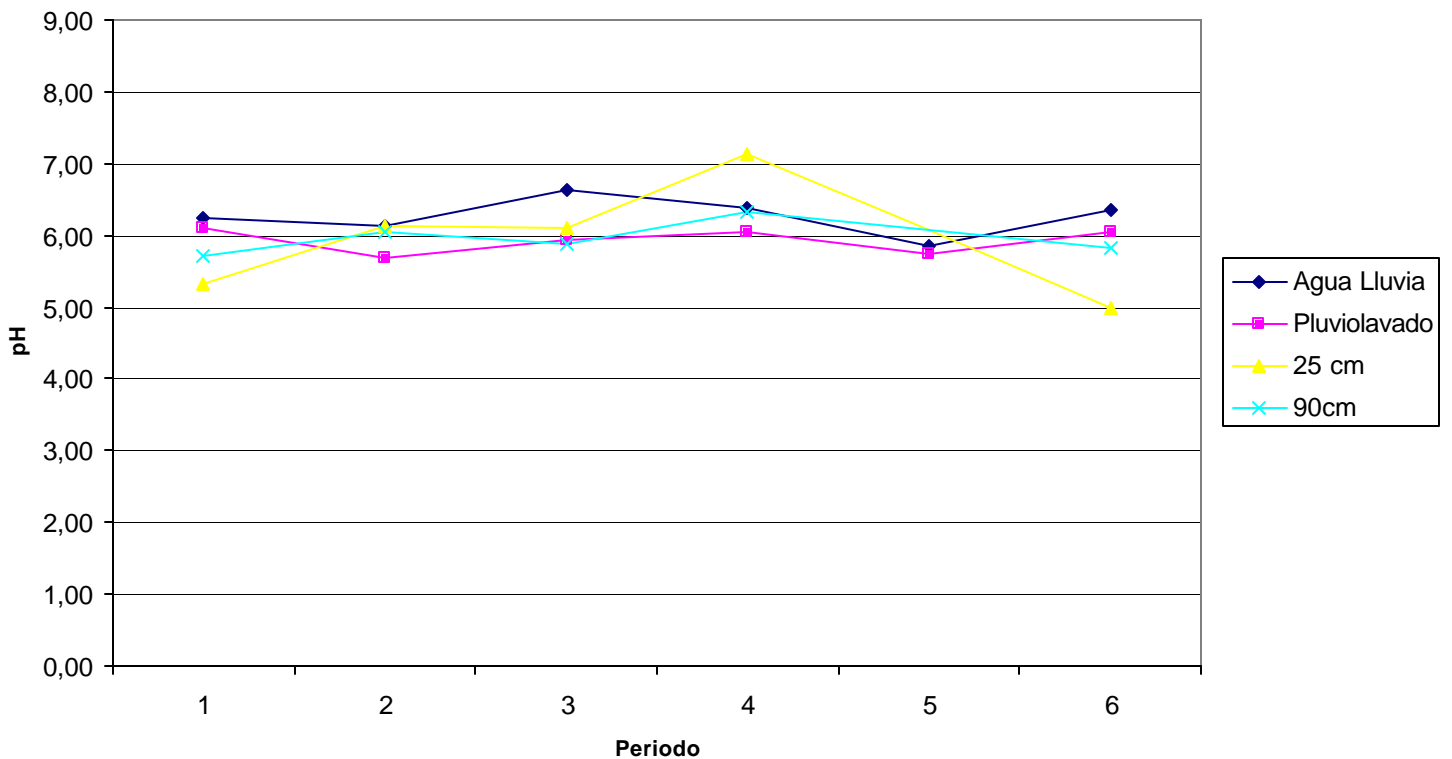
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma ²
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	6,24	6,14	6,63	6,39	5,86	6,35	37,61	1414,512
Pluviolavado	6,09	5,69	5,94	6,05	5,73	6,06	35,56	1264,514
25 cm	5,33	6,13	6,09	7,13	6,07	5,00	35,75	1277,705
90 cm	5,70	6,05	5,89	6,33	6,08	5,82	35,87	1286,298
(1) Suma	23,36	24,01	24,55	25,9	23,73	23,23	144,78	873,8382
(2) Suma cuadrado observaciones	136,9246	144,2551	151,0207	168,3404	140,86235	135,9185	877,3217	
(3) Suma ²	545,6896	576,4801	602,7025	670,81	563,1129	539,6329	874,607	
(5) TC	873,38535							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **pH vertical Testigo**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	1,22165	0,24433	1,62	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	0,45280833	0,15093611	1,00	ns	9,01	28,24
Error		15	2,26184167	0,151				
Total		23	3,9363					

Variacion vertical del pH
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Cond. vertical Testigo

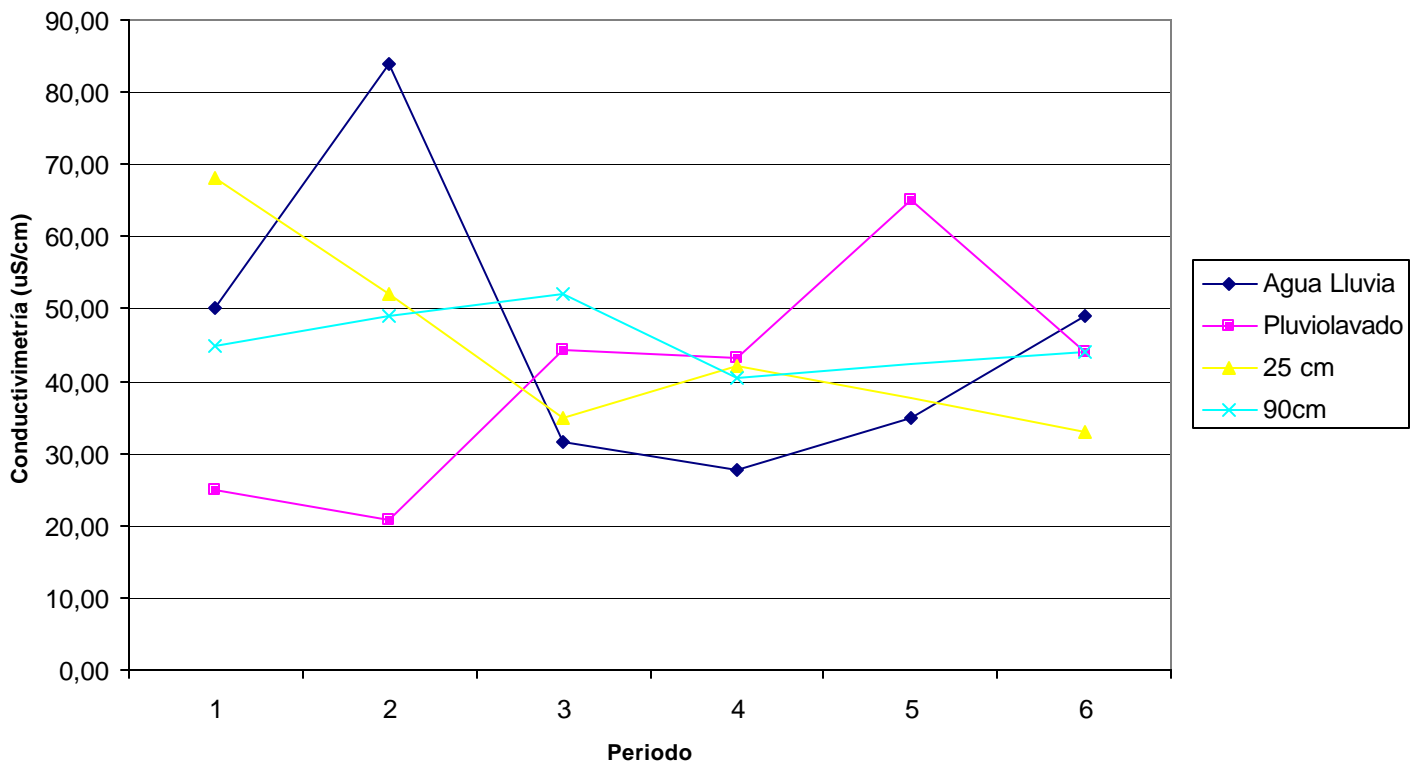
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Agua Lluvia	50,00	84,00	31,50	27,60	35,00	49,00	277,10	76784,41
Pluviolavado	25,00	20,80	44,40	43,30	65,00	44,00	242,50	58806,25
25 cm	68,00	52,20	34,90	42,20	37,60	33,00	267,90	71770,41
90 cm	45,00	49,10	52,20	40,50	42,25	44,00	273,05	74556,3
(1) Suma	188	206,1	163	153,6	179,85	170	1060,55	46986,23
(2) Suma cuadrado observaciones	9774	12624,29	6906,46	6057,74	8648,8225	7362	51373,31	
(3) Suma ^2	35344	42477,21	26569	23592,96	32346,0225	28900	47307,3	
(5) TC	46865,2626							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Cond. vertical Testigo**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	442,035521	88,4071042	0,34	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	120,966146	40,3220486	0,15	ns	9,01	28,24
Error		15	3945,04823	263,003				
Total		23	4508,0499					

Variación vertical de la conductivimetría
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Na vertical Testigo

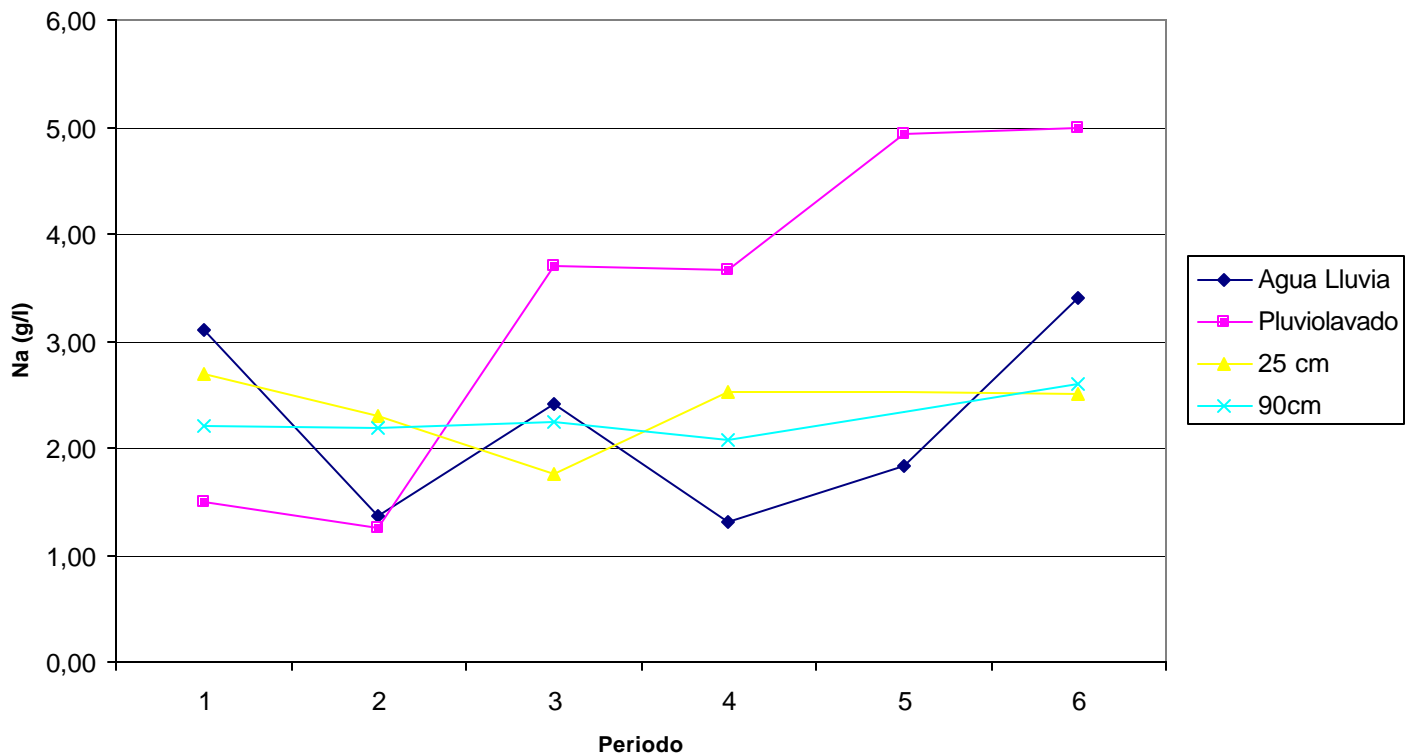
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Estrato									
Agua Lluvia	3,10	1,36	2,41	1,30	1,83	3,40	13,40	179,56	
Pluviolavado	1,50	1,25	3,71	3,66	4,93	5,00	20,05	402,0025	
25 cm	2,70	2,30	1,75	2,53	2,52	2,50	14,30	204,347	
90 cm	2,20	2,18	2,25	2,07	2,34	2,60	13,64	185,9132	
(1) Suma	9,5	7,09	10,12	9,56	11,61	13,5	61,38	161,9705	
(2) Suma cuadrado observaciones	23,99	13,4545	27,6972	25,7714	39,43125	49,57	179,9144		
(3) Suma ^2	90,25	50,2681	102,4144	91,3936	134,7921	182,25	162,8421		
(5) TC	156,97935								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Na vertical Testigo**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	5,8627	1,17254	1,46	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	4,99110833	1,66370278	2,07	ns	9,01	28,24
Error		15	12,0811917	0,805				
Total		23	22,935					

Variación vertical del Na
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

K vertical Testigo

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	2,40	3,21	0,34	0,38	0,85	1,00	8,18	66,9124
Pluviolavado	0,90	1,08	2,13	2,72	4,79	2,40	14,02	196,5604
25 cm	0,90	0,60	0,56	1,44	1,27	1,10	5,87	34,4569
90 cm	0,30	0,29	0,24	0,24	0,17	0,10	1,34	1,7956
(1) Suma	4,5	5,18	3,27	4,78	7,08	4,6	29,41	49,95422
(2) Suma cuadrado observaciones	7,47	11,9146	5,0237	9,674	25,3084	7,98	67,3707	
(3) Suma ^2	20,25	26,8324	10,6929	22,8484	50,1264	21,16	37,97753	
(5) TC	36,03950417							

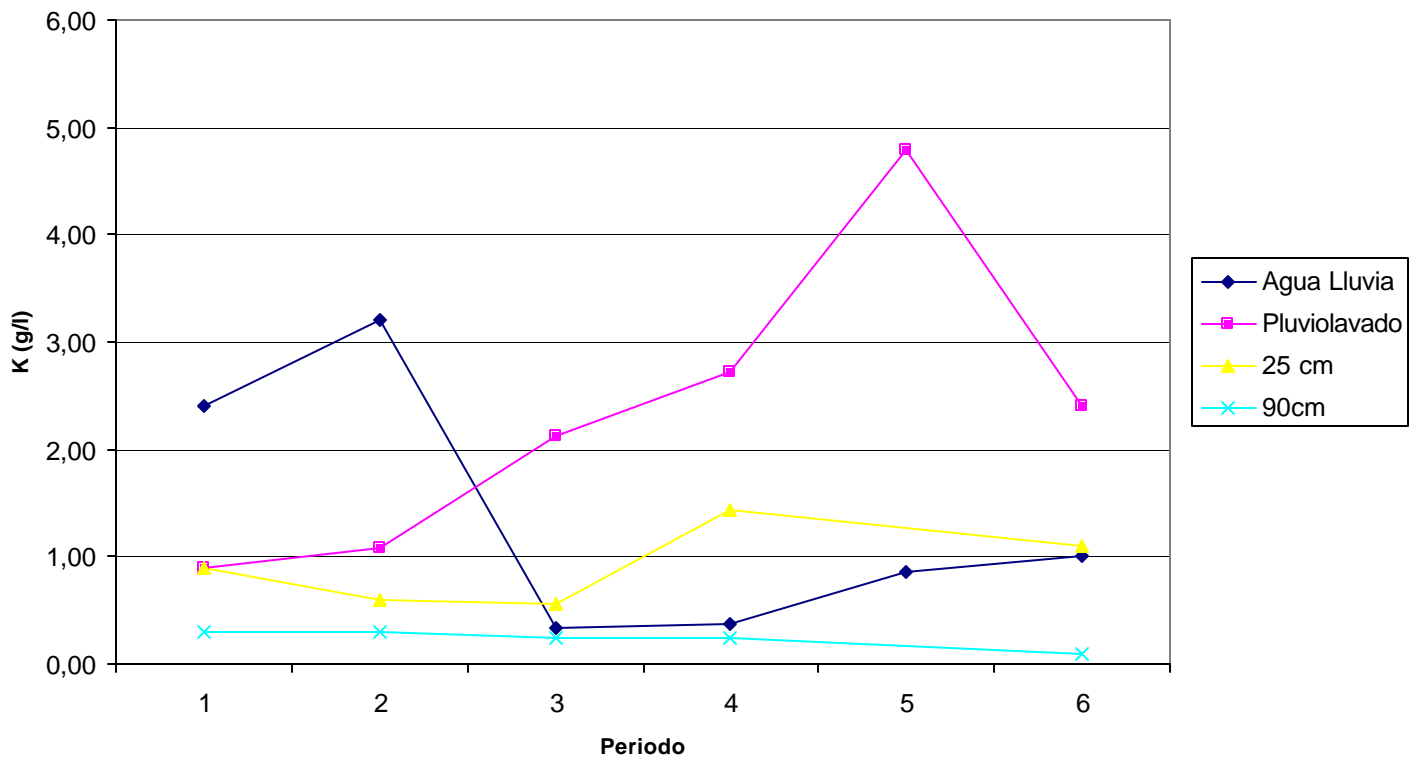
ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable:

K vertical Testigo

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	1,93802083	0,38760417	0,38	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	13,9147125	4,6382375	4,49	ns	9,01	28,24
Error		15	15,4784625	1,032				
Total		23	31,3311958					

Variación vertical del K
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Ca vertical Testigo

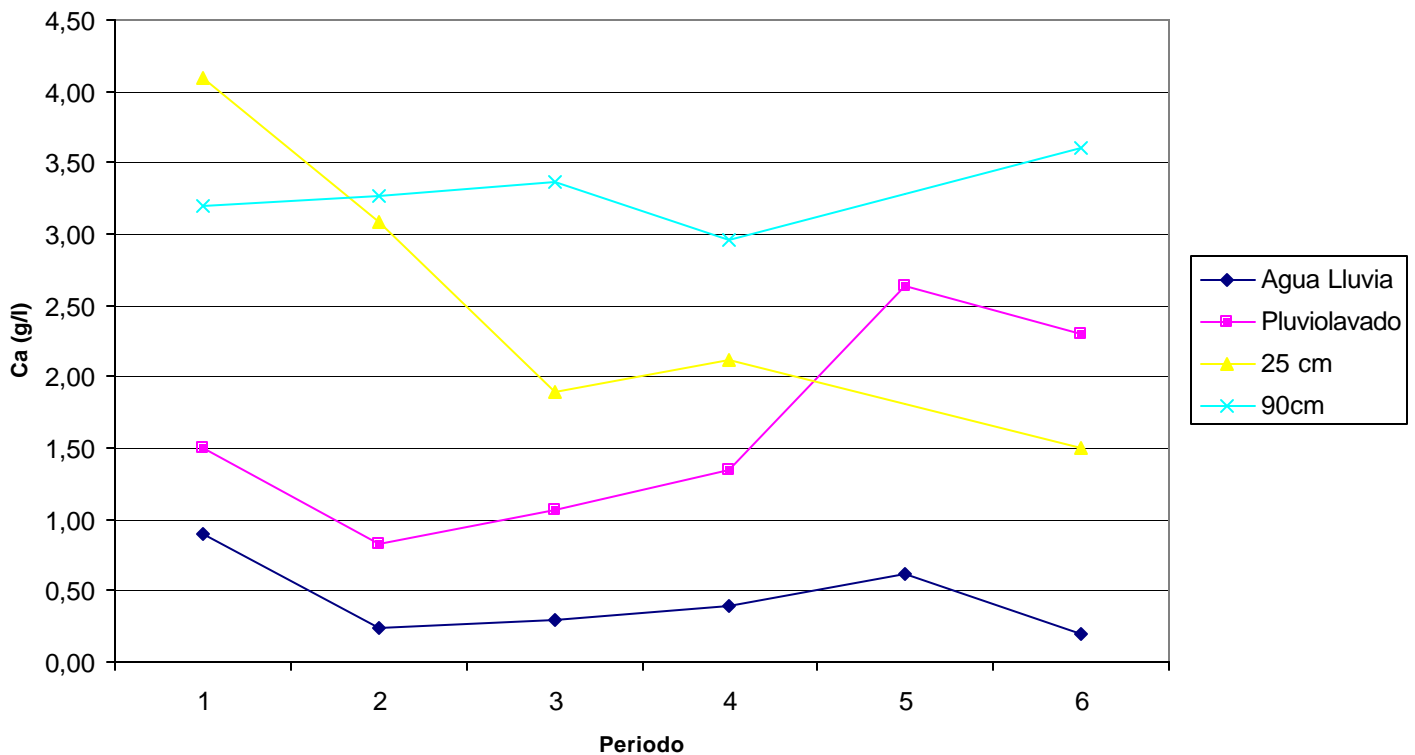
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,90	0,24	0,29	0,39	0,61	0,20	2,63	6,9169
Pluviolavado	1,50	0,83	1,06	1,34	2,63	2,30	9,66	93,3156
25 cm	4,10	3,08	1,89	2,11	1,81	1,50	14,49	209,8152
90 cm	3,20	3,27	3,37	2,96	3,28	3,60	19,68	387,3024
(1) Suma	9,7	7,42	6,61	6,8	8,325	7,6	46,46	116,225
(2) Suma cuadrado observaciones	30,11	20,9258	16,1367	15,1614	21,305425	20,54	124,1793	
(3) Suma ^2	94,09	55,0564	43,6921	46,24	69,305625	57,76	91,53603	
(5) TC	89,91945938							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Ca vertical Testigo**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	1,61657187	0,32331437	0,77	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	26,3055615	8,76852049	20,75	*	9,01	28,24
Error		15	6,33773229	0,423				
Total		23	34,2598656					

Variación vertical del Ca
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Mg vertical Testigo

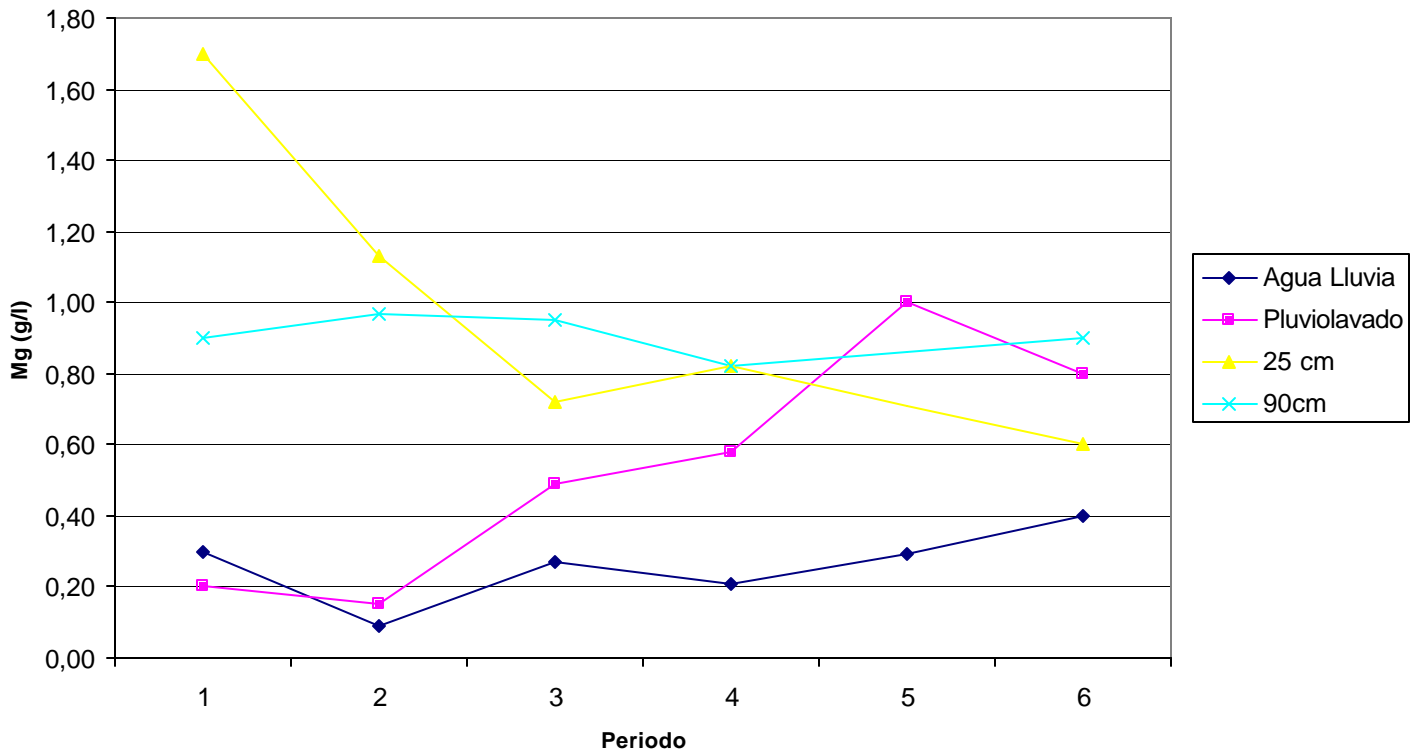
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Agua Lluvia	0,30	0,09	0,27	0,21	0,29	0,40	1,56	2,4336
Pluviolavado	0,20	0,15	0,49	0,58	1,00	0,80	3,22	10,3684
25 cm	1,70	1,13	0,72	0,82	0,71	0,60	5,68	32,2624
90 cm	0,90	0,97	0,95	0,82	0,86	0,90	5,40	29,16
(1) Suma	3,1	2,34	2,43	2,43	2,86	2,7	15,86	12,37073
(2) Suma cuadrado observaciones	3,83	2,2484	1,7339	1,7253	2,3278	1,97	13,8354	
(3) Suma ^2	9,61	5,4756	5,9049	5,9049	8,1796	7,29	10,59125	
(5) TC	10,48081667							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Mg vertical Testigo**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	0,11043333	0,02208667	0,24	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	1,88991667	0,62997222	6,98	ns	9,01	28,24
Error		15	1,35423333	0,090				
Total		23	3,35458333					

Variación vertical del Mg
Parcela Testigo



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

pH vertical 25 mm

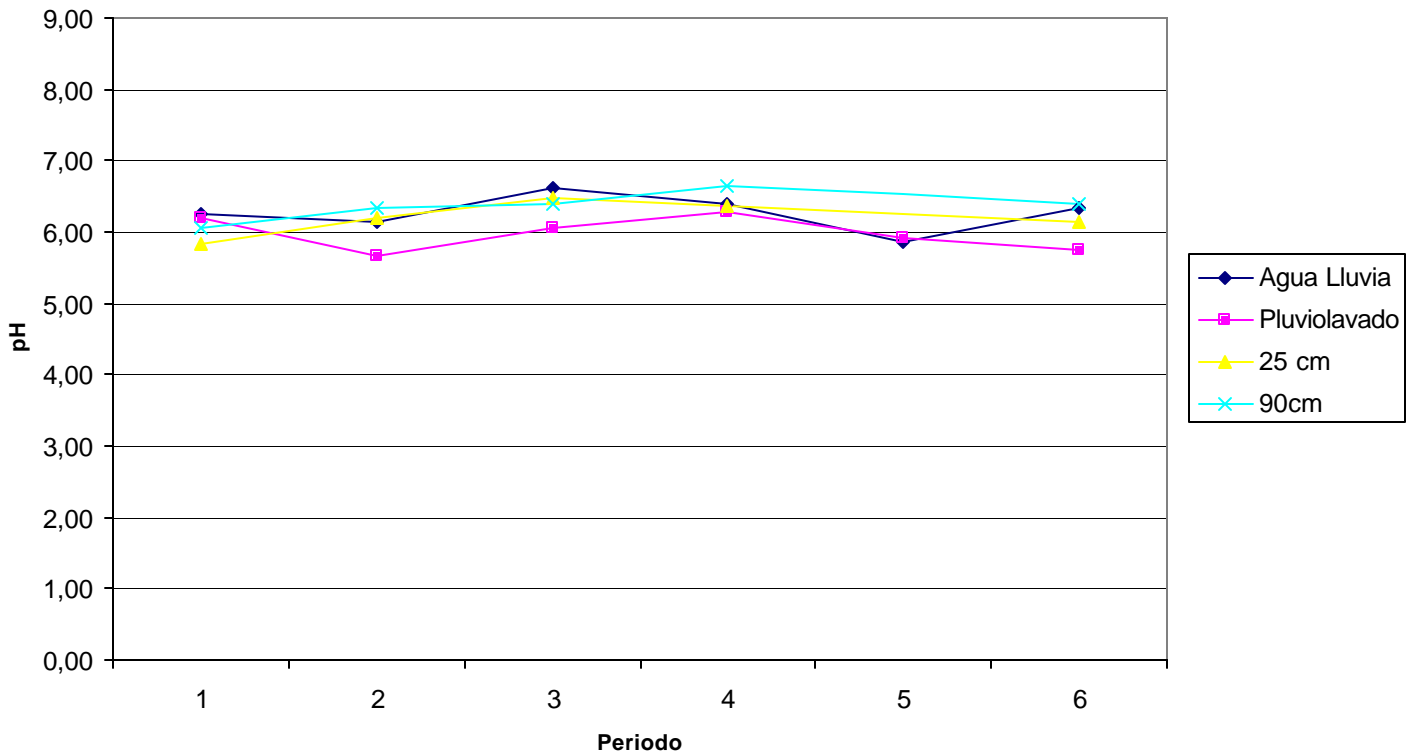
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	6,24	6,14	6,63	6,39	5,86	6,35	37,61	1414,512
Pluviolavado	6,21	5,65	6,05	6,29	5,91	5,75	35,86	1285,94
25 cm	5,83	6,20	6,48	6,37	6,25	6,14	37,28	1389,55
90 cm	6,05	6,35	6,39	6,64	6,52	6,40	38,35	1470,723
(1) Suma	24,33	24,34333333	25,55333333	25,68666667	24,54333333	24,64	149,10	926,7873
(2) Suma cuadrado observaciones	148,0931	148,4259444	163,4251111	165,0202444	150,8822778	152,0446	927,8913	
(3) Suma ^2	591,9489	592,5978778	652,9728444	659,8048444	602,3752111	607,1296	926,7073	
(5) TC	926,2423338							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **pH vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	0,46498565	0,09299713	2,18	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	0,5450125	0,18167083	4,26	ns	9,01	28,24
Error		15	0,63894583	0,043				
Total		23	1,64894398					

Variacion vertical del pH
Parcela 25 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Cond. vertical 25 mm

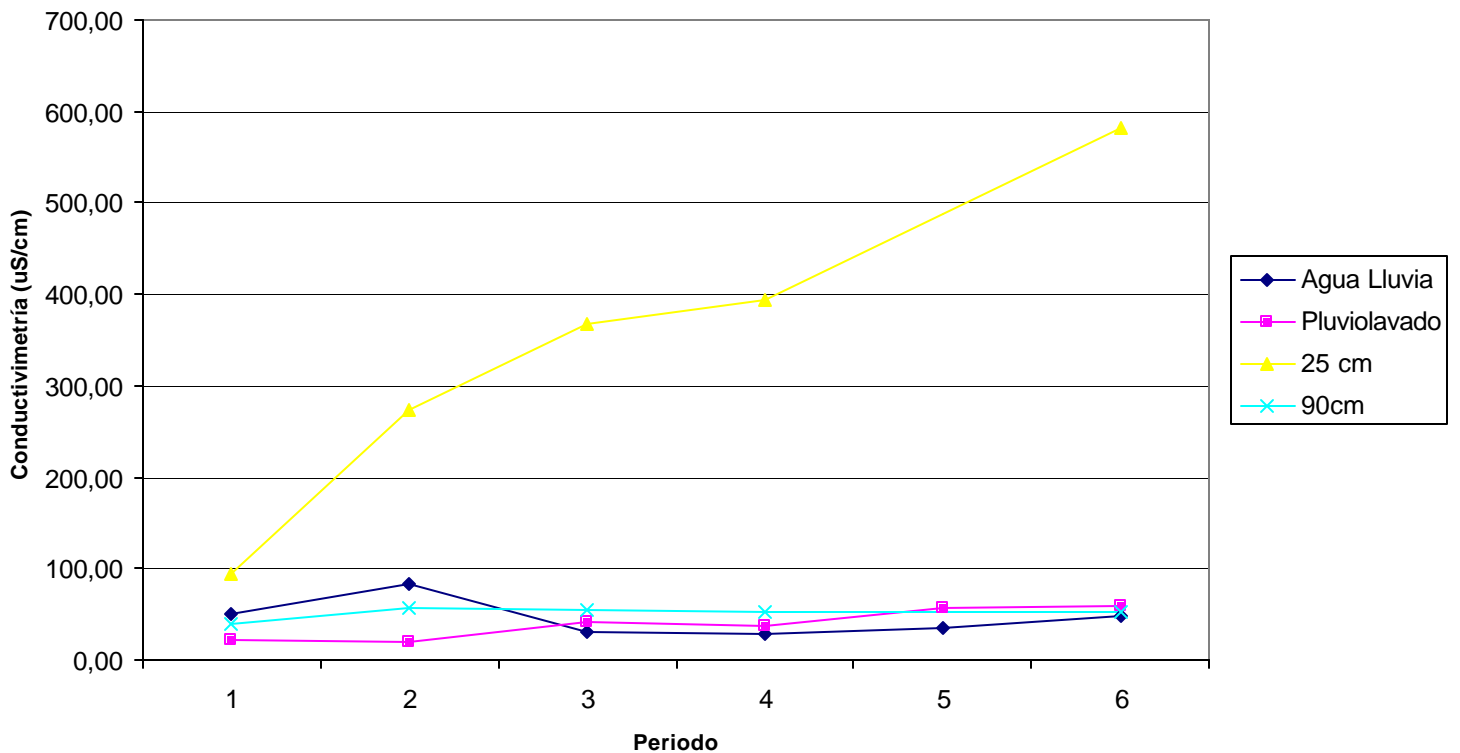
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	50,00	84,00	31,50	27,60	35,00	49,00	277,10	76784,41
Pluviolavado	22,00	19,90	42,40	36,80	57,00	58,00	236,10	55743,21
25 cm	93,00	272,53	368,00	394,73	487,87	581,00	2197,13	4827395
90 cm	40,00	56,20	55,60	52,90	52,45	52,00	309,15	95573,72
(1) Suma	205	432,6333333	497,5	512,0333333	632,3166667	740	3019,48	842582,7
(2) Suma cuadrado observaciones	13233	84884,86778	141305,37	160728,8144	245238,8869	346030	991420,9	
(3) Suma ^2	42025	187171,6011	247506,25	262178,1344	399824,3669	547600	421576,3	
(5) TC								379886,65

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Cond. vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	41689,6881	8337,93762	1,17	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	462696,054	154232,018	21,59	*	9,01	28,24
Error		15	107148,547	7143,236				
Total		23	611534,289					

Variación vertical de la conductivimetría
Parcela 25 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Na vertical 25 mm

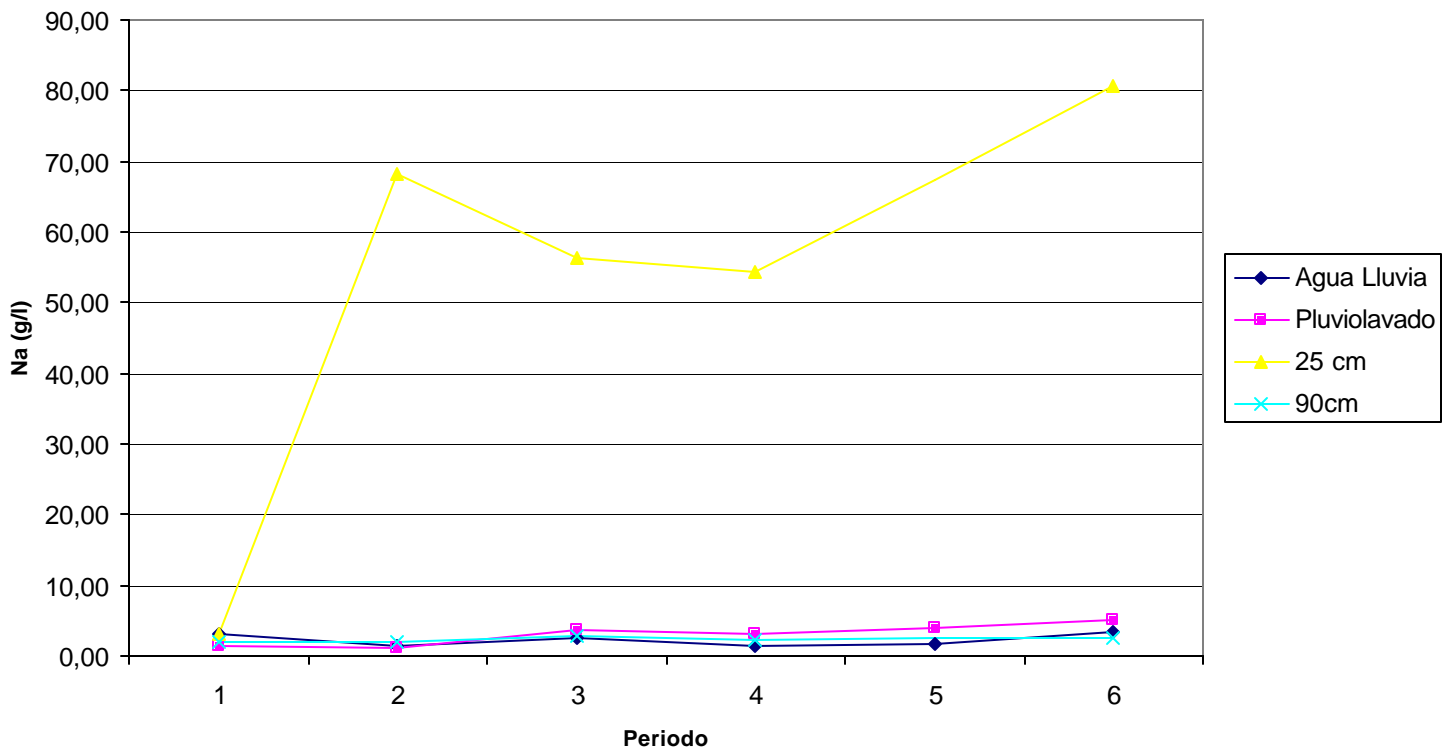
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	3,10	1,36	2,41	1,30	1,83	3,40	13,40	179,56
Pluviolavado	1,30	1,15	3,59	3,10	3,95	5,00	18,09	327,2481
25 cm	3,20	68,16	56,29	54,22	67,46	80,70	330,03	108920,9
90 cm	2,10	2,09	2,73	2,37	2,49	2,60	14,38	206,6406
(1) Suma	9,7	72,76	65,01666667	60,99333333	75,72666667	91,7	375,90	18272,39
(2) Suma cuadrado observaciones	25,95	4653,3258	3194,337944	2957,086778	4576,203094	6555,81	21962,71	
(3) Suma ^2	94,09	5294,0176	4227,166944	3720,186711	5734,528044	8408,89	6869,72	
(5) TC								5887,429334

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Na vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	982,290491	196,458098	1,09	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	12384,9623	4128,32076	22,87	*	9,01	28,24
Error		15	2708,0315	180,535				
Total		23	16075,2843					

Variación vertical del Na
Parcela 25 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

K vertical 25 mm

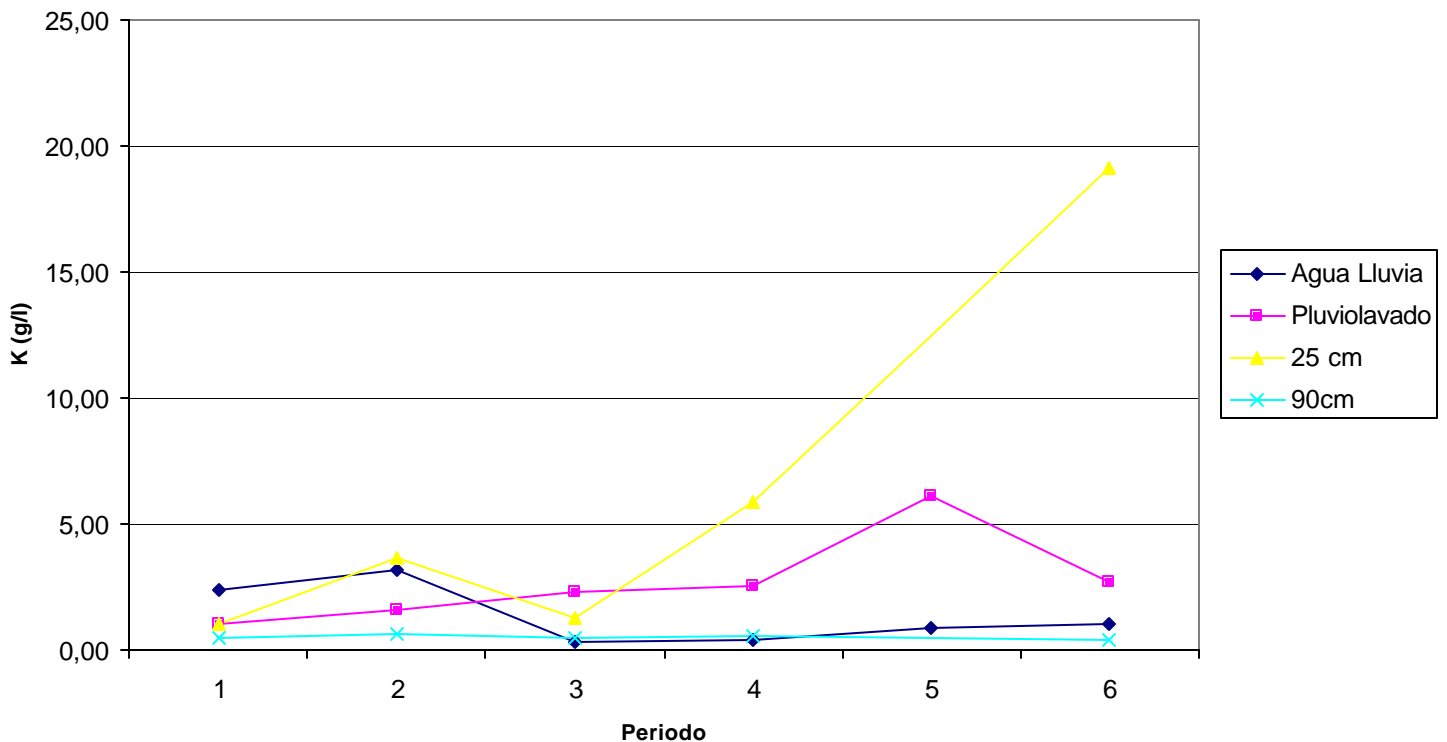
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Agua Lluvia	2,40	3,21	0,34	0,38	0,85	1,00	8,18	66,9124
Pluviolavado	1,00	1,61	2,32	2,57	6,14	2,70	16,34	266,9956
25 cm	1,05	3,62	1,28	5,89	12,50	19,10	43,44	1887,323
90 cm	0,50	0,63	0,47	0,54	0,47	0,40	3,01	9,0601
(1) Suma	4,95	9,07	4,413333333	9,383333333	19,95666667	23,2	70,97	371,7152
(2) Suma cuadrado observaciones	8,1125	26,3975	7,365844444	41,77227778	194,8096778	373,26	651,7178	
(3) Suma ^2	24,5025	82,2649	19,47751111	88,04694444	398,2685444	538,24	287,7001	
(5) TC	209,8839185							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **K vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	77,8161815	15,5632363	1,15	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	161,8313	53,9437667	4,00	ns	9,01	28,24
Error		15	202,1864	13,479				
Total		23	441,833881					

Variación vertical del K
Parcela 25 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Ca. vertical 25 mm

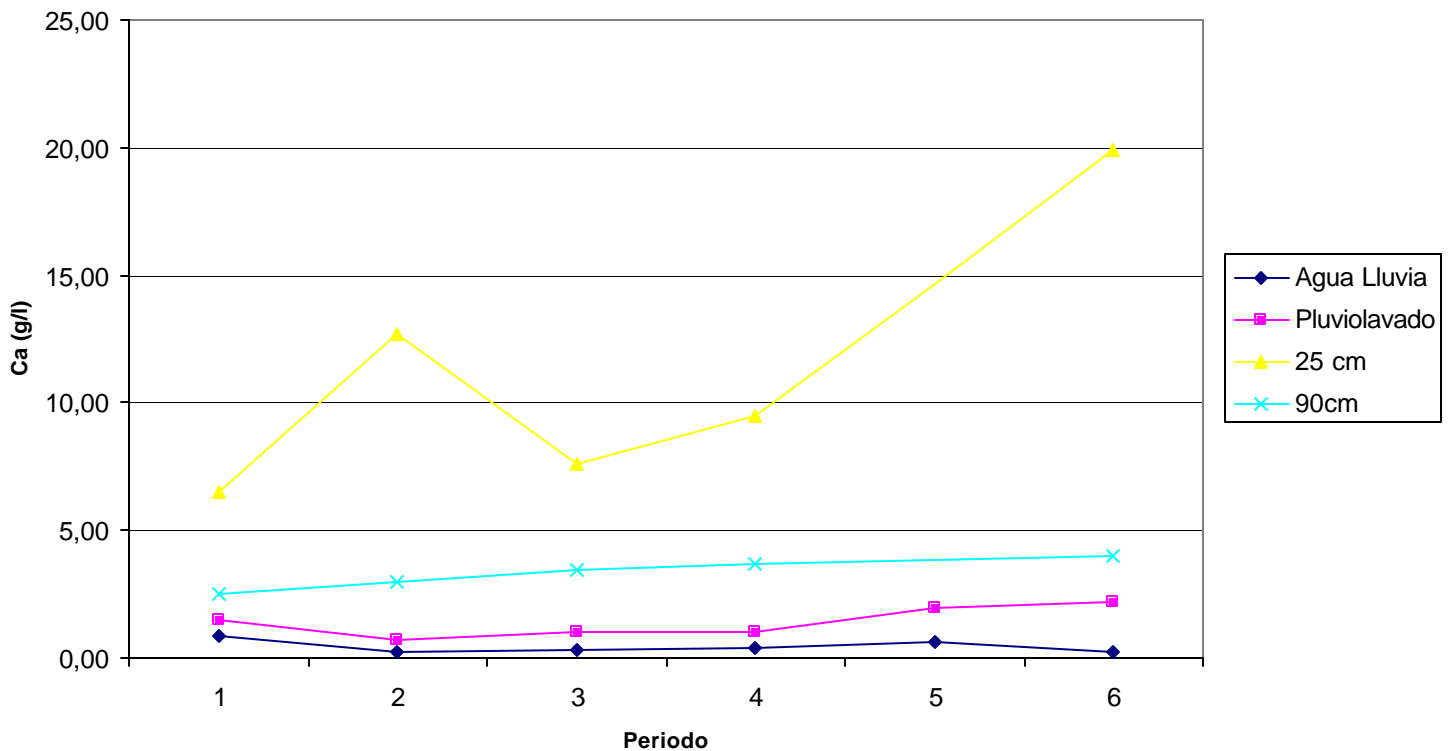
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,90	0,24	0,29	0,39	0,61	0,20	2,63	6,9169
Pluviolavado	1,50	0,74	0,98	1,00	1,99	2,20	8,41	70,7281
25 cm	6,50	12,69	7,57	9,48	14,69	19,90	70,82	5015,236
90 cm	2,50	2,96	3,46	3,68	3,84	4,00	20,44	417,7936
(1) Suma	11,4	16,62666667	12,29666667	14,54666667	21,12833333	26,3	102,30	918,4458
(2) Suma cuadrado observaciones	51,56	170,3183111	70,27054444	104,5017111	234,8249361	416,89	1048,366	
(3) Suma ^2	129,96	276,4460444	151,2080111	211,6055111	446,4064694	691,69	476,829	
(5) TC								436,0395418

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Ca. vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	40,7894672	8,15789345	1,37	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	482,406281	160,802094	27,06	*	9,01	28,24
Error		15	89,1302128	5,942				
Total		23	612,325961					

Variación vertical del Ca
Parcela 25 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

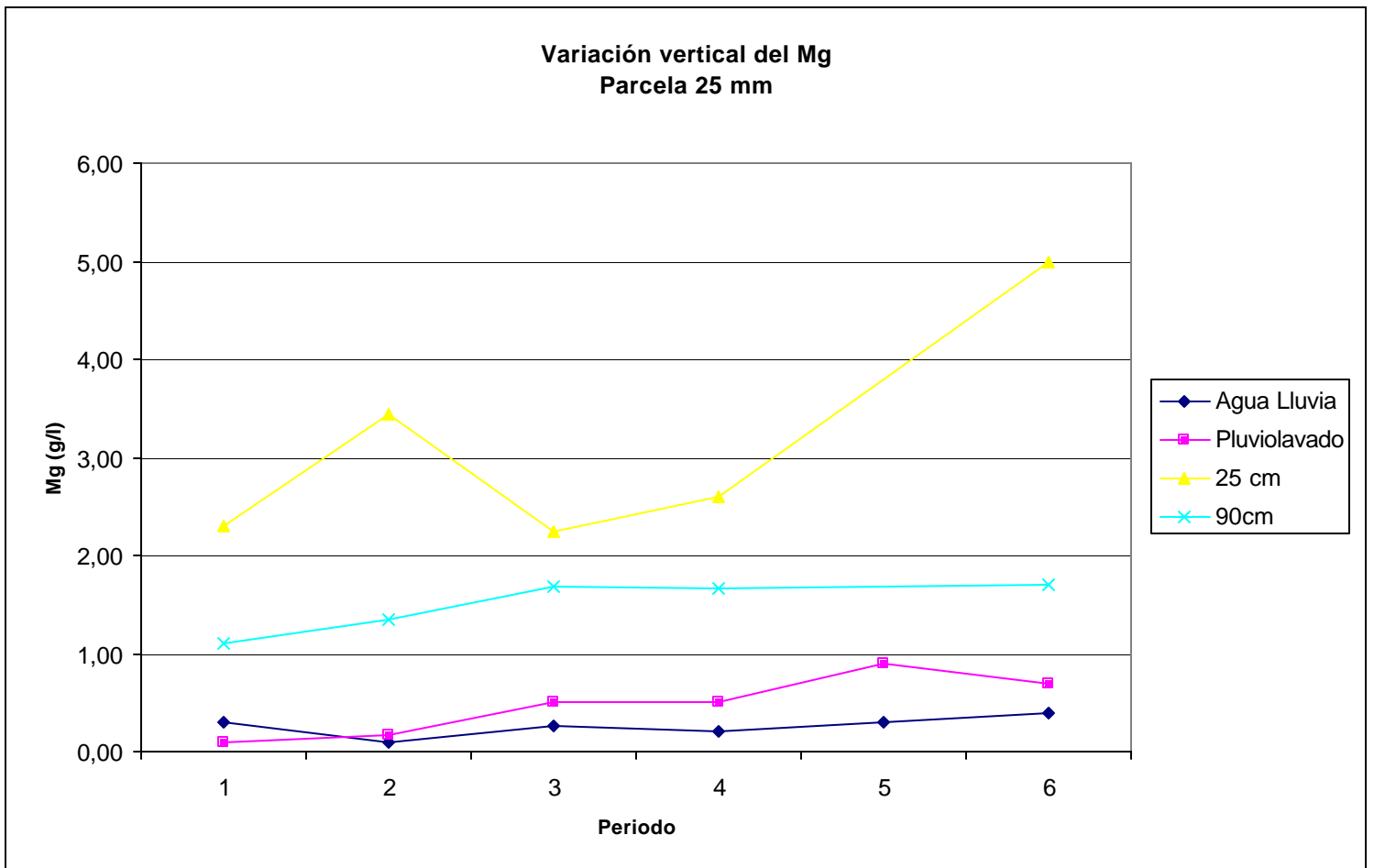
Mg vertical 25 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,30	0,09	0,27	0,21	0,29	0,40	1,56	2,4336
Pluviolavado	0,10	0,17	0,51	0,50	0,90	0,70	2,88	8,2944
25 cm	2,30	3,43	2,25	2,59	3,80	5,00	19,37	375,1323
90 cm	1,10	1,34	1,68	1,67	1,69	1,70	9,18	84,18063
(1) Suma	3,8	5,033333333	4,71	4,97	6,67	7,8	32,98	78,34016
(2) Suma cuadrado observaciones	6,6	13,62037778	8,2179	9,7911	18,13535	28,54	84,90473	
(3) Suma ^2	14,44	25,33444444	22,1841	24,7009	44,4889	60,84	47,99709	
(5) TC								45,32917824

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Mg vertical 25 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	2,66790787	0,53358157	2,05	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	33,0109819	11,0036606	42,36	**	9,01	28,24
Error		15	3,89665972	0,260				
Total		23	39,5755495					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

pH vertical 50 mm

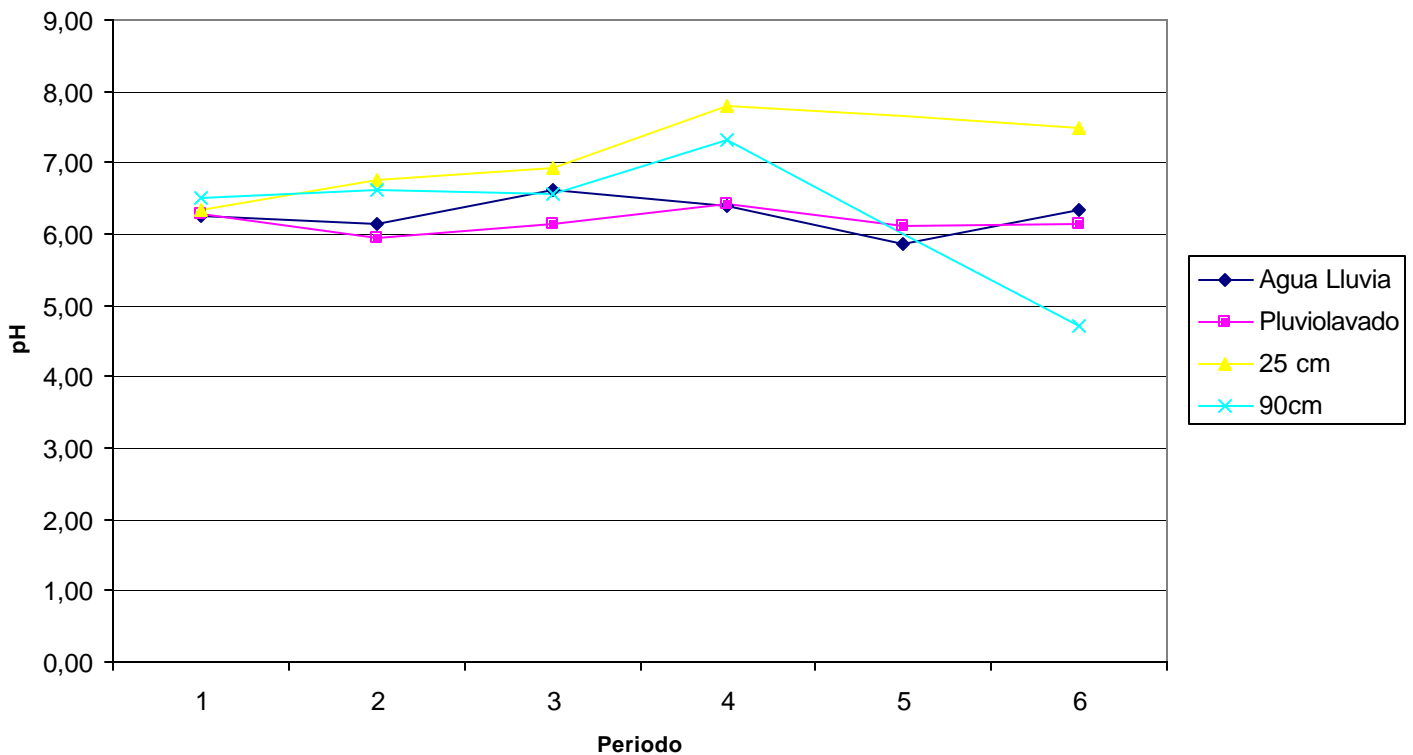
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	6,24	6,14	6,63	6,39	5,86	6,35	37,61	1414,512
Pluviolavado	6,28	5,95	6,15	6,43	6,11	6,13	37,05	1372,703
25 cm	6,35	6,77	6,92	7,79	7,64	7,50	42,97	1846,134
90 cm	6,50	6,62	6,57	7,32	6,01	4,70	37,72	1422,798
(1) Suma	25,37	25,47666667	26,27	27,92666667	25,62333333	24,68	155,35	1009,358
(2) Suma cuadrado observaciones	160,9485	162,7142778	172,8307	196,3915778	166,2123444	156,2394	1015,337	
(3) Suma ^2	643,6369	649,0605444	690,1129	779,8987111	656,5552111	609,1024	1007,092	
(5) TC							1005,524452	

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **pH vertical 50 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	1,56721481	0,31344296	1,07	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	3,83345556	1,27781852	4,34	ns	9,01	28,24
Error		15	4,41167778	0,294				
Total		23	9,81234815					

Variacion vertical del pH
Parcela 50 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Cond. vertical 50 mm

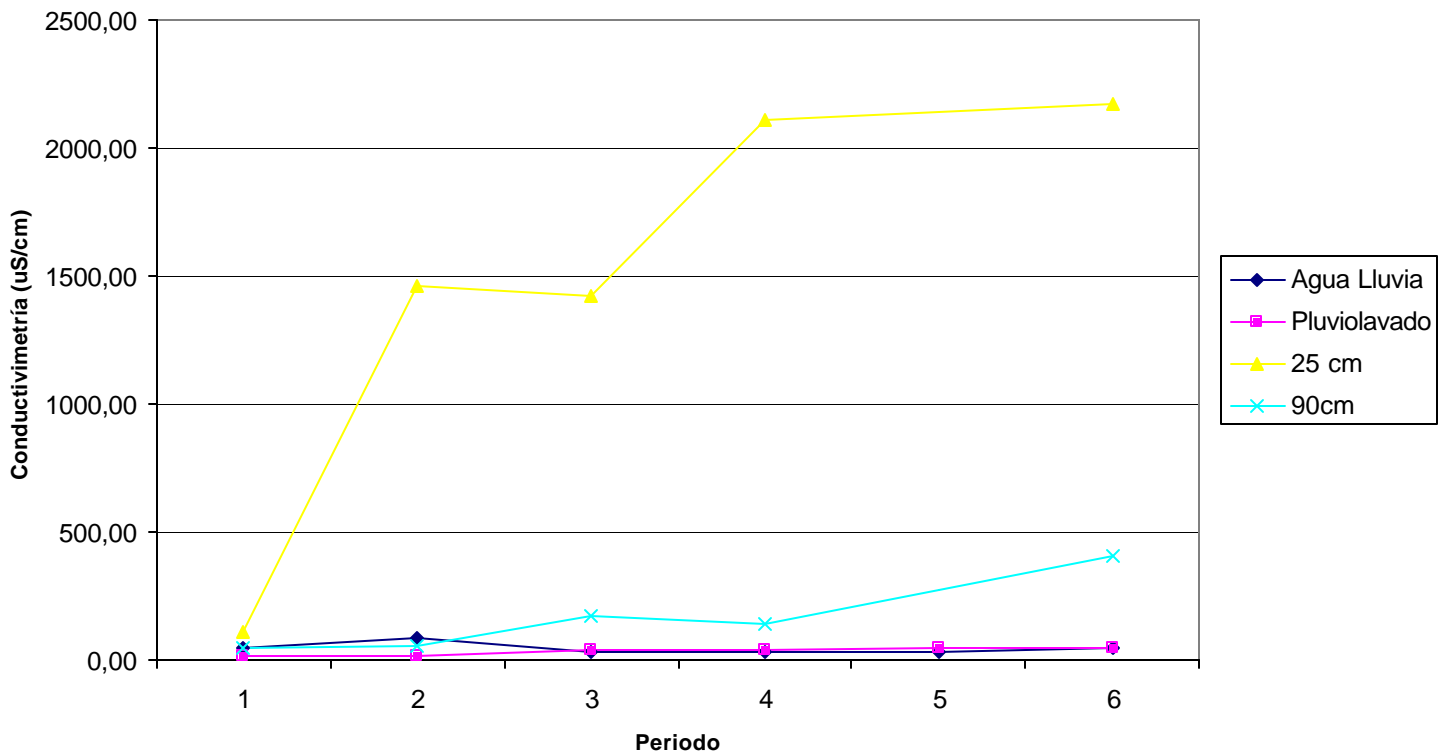
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma ²
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	50,00	84,00	31,50	27,60	35,00	49,00	277,10	76784,41
Pluviolavado	19,00	16,10	39,20	35,40	47,00	48,00	204,70	41902,09
25 cm	113,00	1460,00	1420,93	2108,57	2138,78	2169,00	9410,28	88553432
90 cm	44,00	56,80	170,00	141,60	275,80	410,00	1098,20	1206043
(1) Suma	226	1616,9	1661,633333	2313,166667	2496,583333	2676	10990,28	14979694
(2) Suma cuadrado observaciones	17566	2142141,45	2050480,428	4468118,868	4653893,787	4877366	18209567	
(3) Suma ²	51076	2614365,61	2761025,334	5350740,028	6232928,34	7160976	6042778	
(5) TC							5032763,656	

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Cond. vertical 50 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	1010014,17	202002,834	1,36	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	9946930,04	3315643,35	22,40	*	9,01	28,24
Error		15	2219858,67	147990,578				
Total		23	13176802,9					

Variación vertical de la conductivimetría
Parcela 50 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

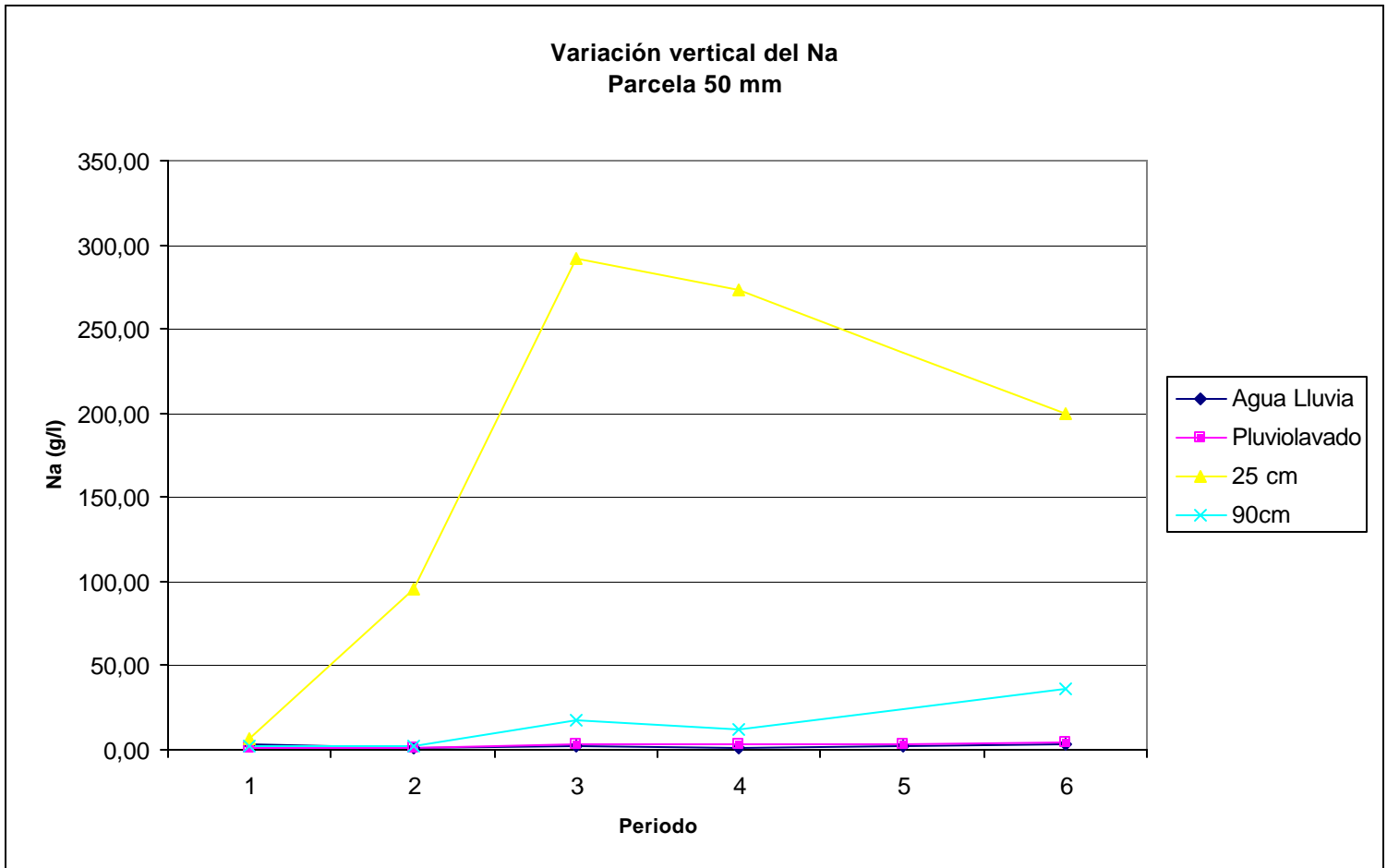
Na vertical 50 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2	
	1	2	3	4	5	6			
Estrato									
Agua Lluvia	3,10	1,36	2,41	1,30	1,83	3,40	13,40	179,56	
Pluviolavado	1,20	1,15	3,56	3,23	3,50	4,30	16,94	286,9636	
25 cm	6,37	94,93	292,36	272,82	236,26	199,70	1102,44	1215370	
90 cm	2,30	2,48	17,45	12,10	24,20	36,30	94,83	8992,729	
(1) Suma	12,96666667	99,92333333	315,7833333	289,4466667	265,7883333	243,7	1227,61	204138,3	
(2) Suma cuadrado observaciones	56,87444444	9021,660278	85799,30288	74587,46651	56419,23897	41227,83	267112,4		
(3) Suma ^2	168,1344444	9984,672544	99719,11361	83779,37284	70643,43814	59389,69	80921,11		
(5) TC	62792,5925								

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Na vertical 50 mm**

Fuente de variación	g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado		
						P = 0,05	P = 0,01	
Columnas	Periodo	5	18128,5129	3625,70258	1,21	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	141345,663	47115,2209	15,76	*	9,01	28,24
Error		15	44845,605	2989,707				
Total		23	204319,781					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

K vertical 50 mm

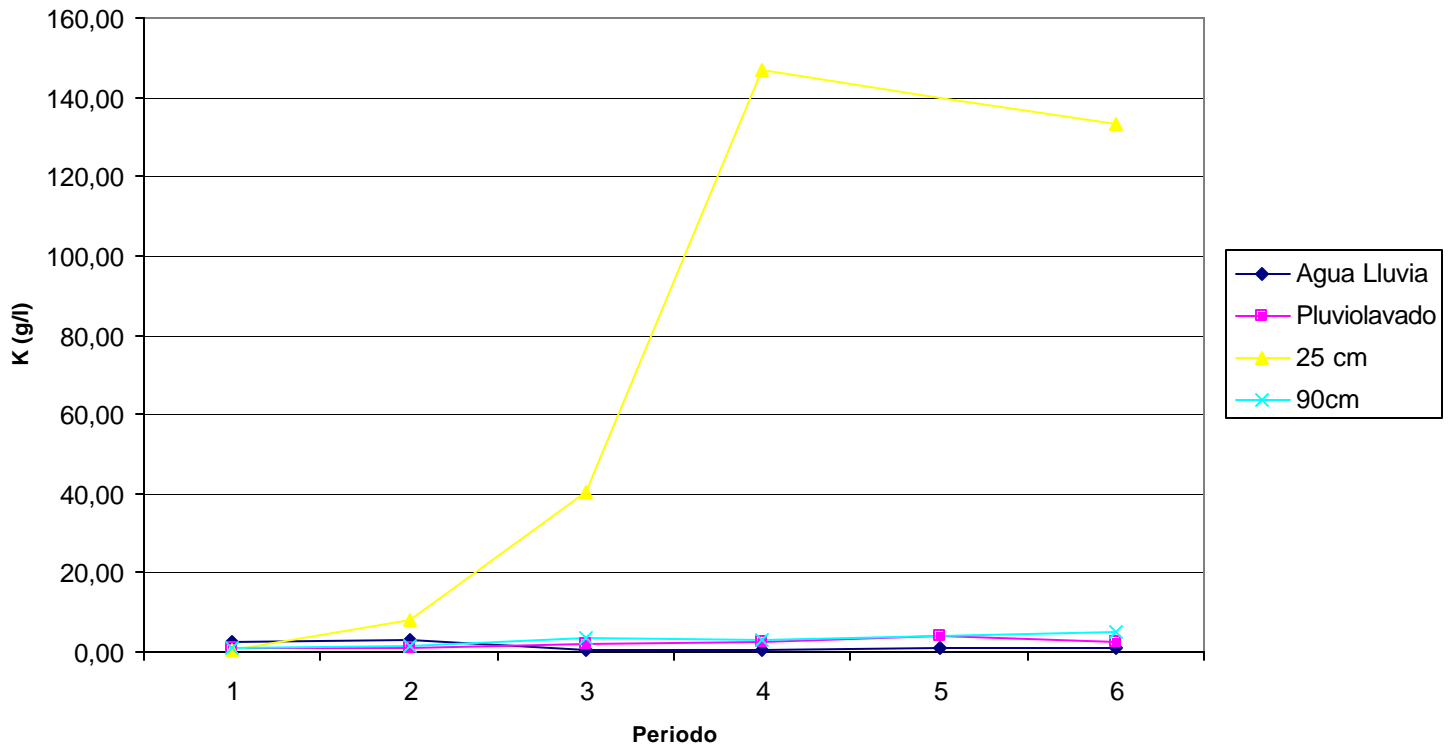
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	2,40	3,21	0,34	0,38	0,85	1,00	8,18	66,9124
Pluviolavado	1,10	0,96	2,13	2,61	3,91	2,30	13,01	169,2601
25 cm	0,30	8,02	40,35	146,91	140,05	133,20	468,82	219795,3
90 cm	1,20	1,33	3,40	3,10	4,15	5,20	18,38	337,8244
(1) Suma	5	13,51666667	46,21666667	152,9966667	148,9633333	141,7	508,39	36728,22
(2) Suma cuadrado observaciones	8,5	77,26154444	1644,066011	21598,13521	19648,16928	17775,57	60751,7	
(3) Suma ^2	25	182,7002778	2135,980278	23407,98001	22190,07468	20078,89	17005,16	
(5) TC								10769,32422

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **K vertical 50 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	6235,83209	1247,16642	1,05	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	25958,8949	8652,96497	7,30	ns	9,01	28,24
Error		15	17787,6508	1185,843				
Total		23	49982,3778					

Variación vertical del K
Parcela 50 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Ca vertical 50 mm

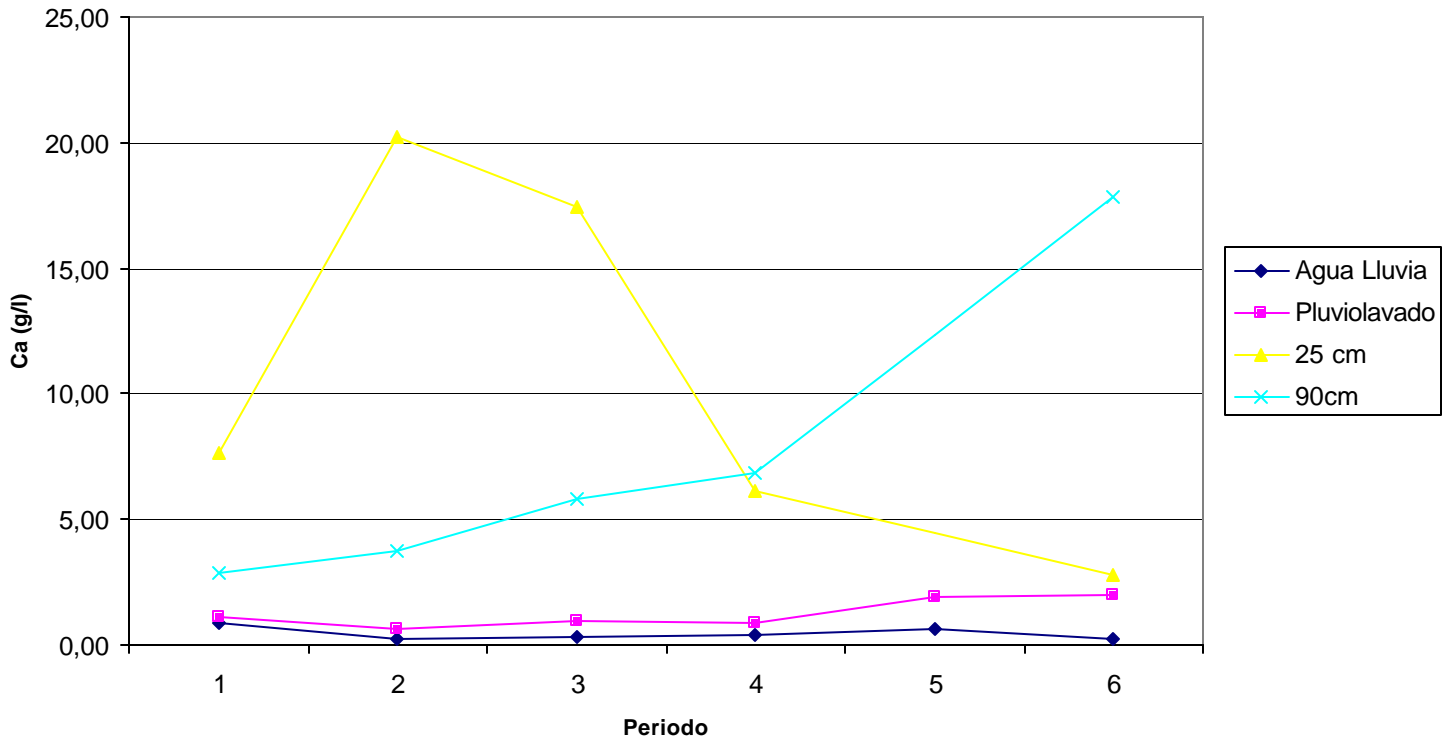
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,90	0,24	0,29	0,39	0,61	0,20	2,63	6,9169
Pluviolavado	1,10	0,65	0,93	0,90	1,94	2,00	7,52	56,5504
25 cm	7,63	20,25	17,40	6,16	4,48	2,80	58,73	3449,017
90 cm	2,90	3,75	5,80	6,87	12,34	17,80	49,46	2445,797
(1) Suma	12,53333333	24,88666667	24,42333333	14,32333333	19,36666667	22,8	118,33	993,0469
(2) Suma cuadrado observaciones	68,69777778	424,4701111	337,4650111	86,14567778	176,3732611	328,72	1421,872	
(3) Suma ^2	157,0844444	619,3461778	596,4992111	205,1578778	375,0677778	519,84	618,2489	
(5) TC	583,4490741							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Ca vertical 50 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	34,7997981	6,95995963	0,26	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	409,597836	136,532612	5,20	ns	9,01	28,24
Error		15	394,025131	26,268				
Total		23	838,422765					

Variación vertical del Ca
Parcela 50 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

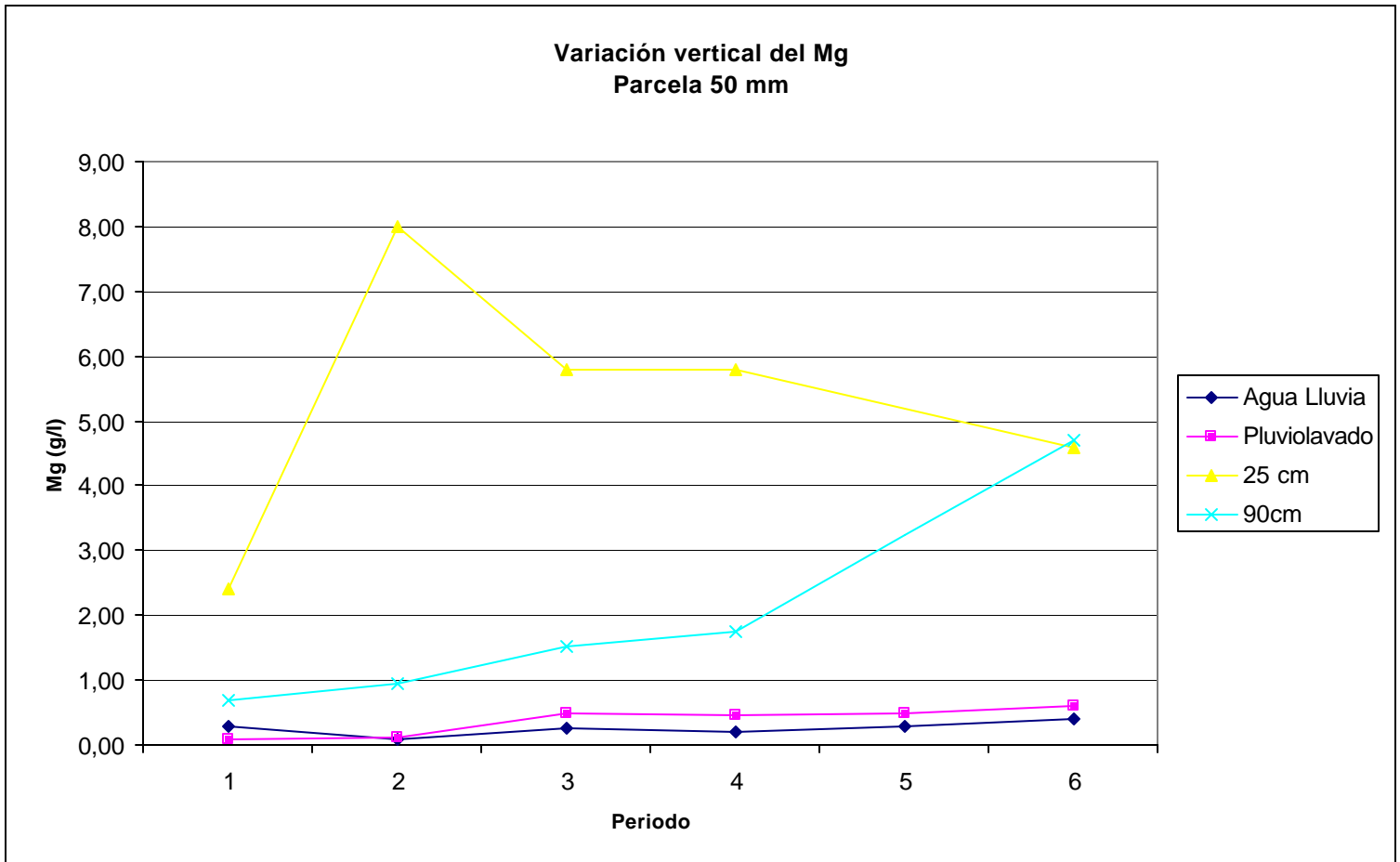
Mg vertical 50 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma ²
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,30	0,09	0,27	0,21	0,29	0,40	1,56	2,4336
Pluviolavado	0,10	0,12	0,50	0,46	0,48	0,60	2,26	5,1076
25 cm	2,40	8,00	5,80	5,80	5,20	4,60	31,80	1011,028
90 cm	0,70	0,94	1,51	1,75	3,23	4,70	12,83	164,4806
(1) Suma	3,5	9,15	8,076666667	8,22	9,195	10,3	48,44	197,175
(2) Suma cuadrado observaciones	6,35	64,9061	36,20434444	36,9582	37,755125	43,77	225,9438	
(3) Suma ^2	12,25	83,7225	65,23254444	67,5684	84,548025	106,09	104,8529	
(5) TC	97,77479456							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Mg vertical 50 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	7,0780728	1,41561456	0,98	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	99,4001781	33,1333927	22,91	*	9,01	28,24
Error		15	21,690724	1,446				
Total		23	128,168975					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

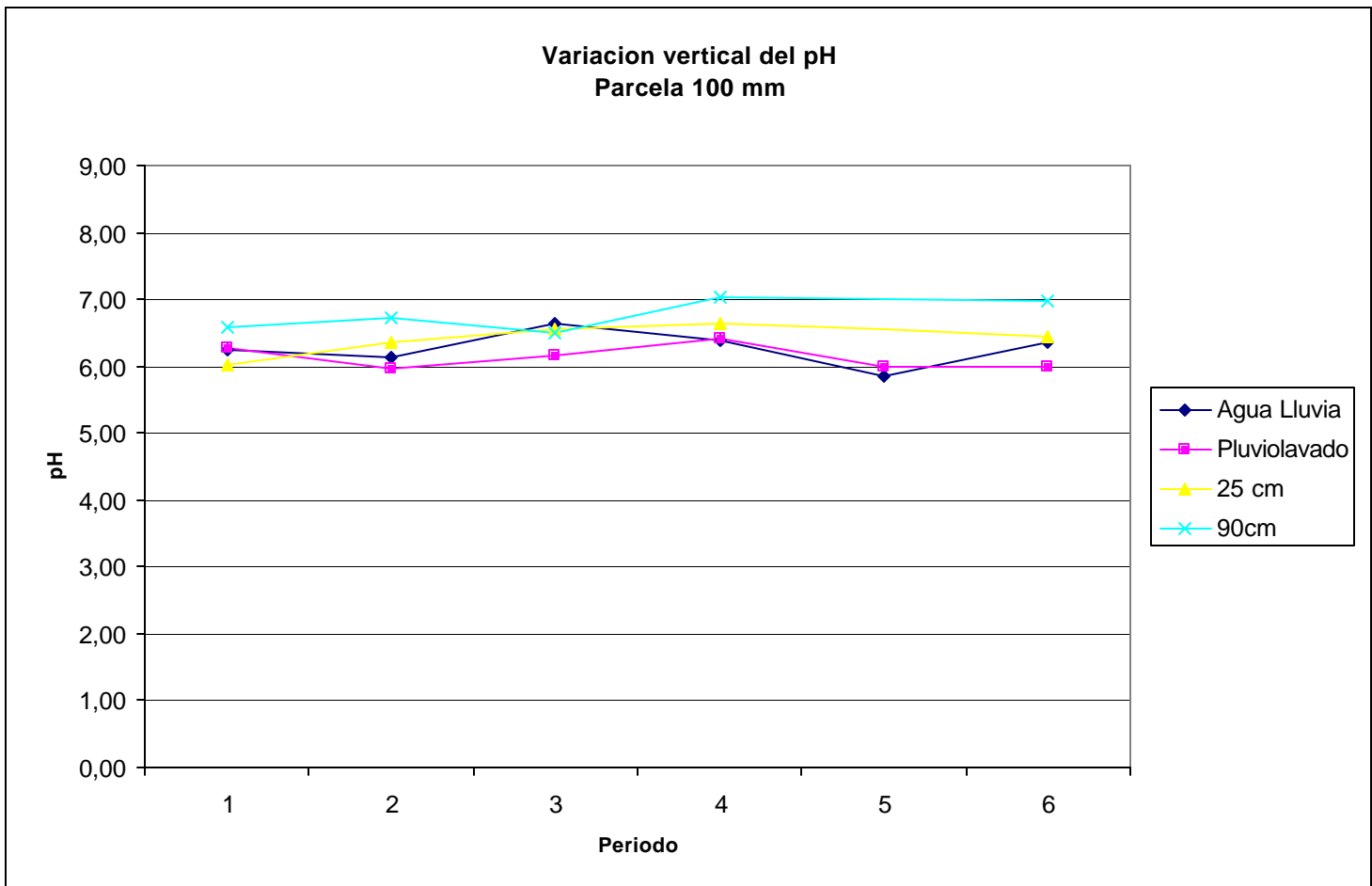
pH vertical 100 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	6,24	6,14	6,63	6,39	5,86	6,35	37,61	1414,512
Pluviolavado	6,26	5,97	6,16	6,41	6,00	6,00	36,80	1354,24
25 cm	6,02	6,35	6,57	6,64	6,55	6,45	38,58	1488,031
90 cm	6,58	6,72	6,51	7,02	7,00	6,97	40,80	1664,232
(1) Suma	25,1	25,18333333	25,86666667	26,46	25,4	25,77	153,78	986,8358
(2) Suma cuadrado observaciones	157,662	158,8637444	167,4037111	175,2902	162,10665	166,5059	987,8322	
(3) Suma ^2	630,01	634,2002778	669,0844444	700,1316	645,16	664,0929	985,6698	
(5) TC	985,34535							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **pH vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	0,32445556	0,06489111	1,45	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	1,49044167	0,49681389	11,09	*	9,01	28,24
Error		15	0,67195833	0,045				
Total		23	2,48685556					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Cond.vertical 100 mm

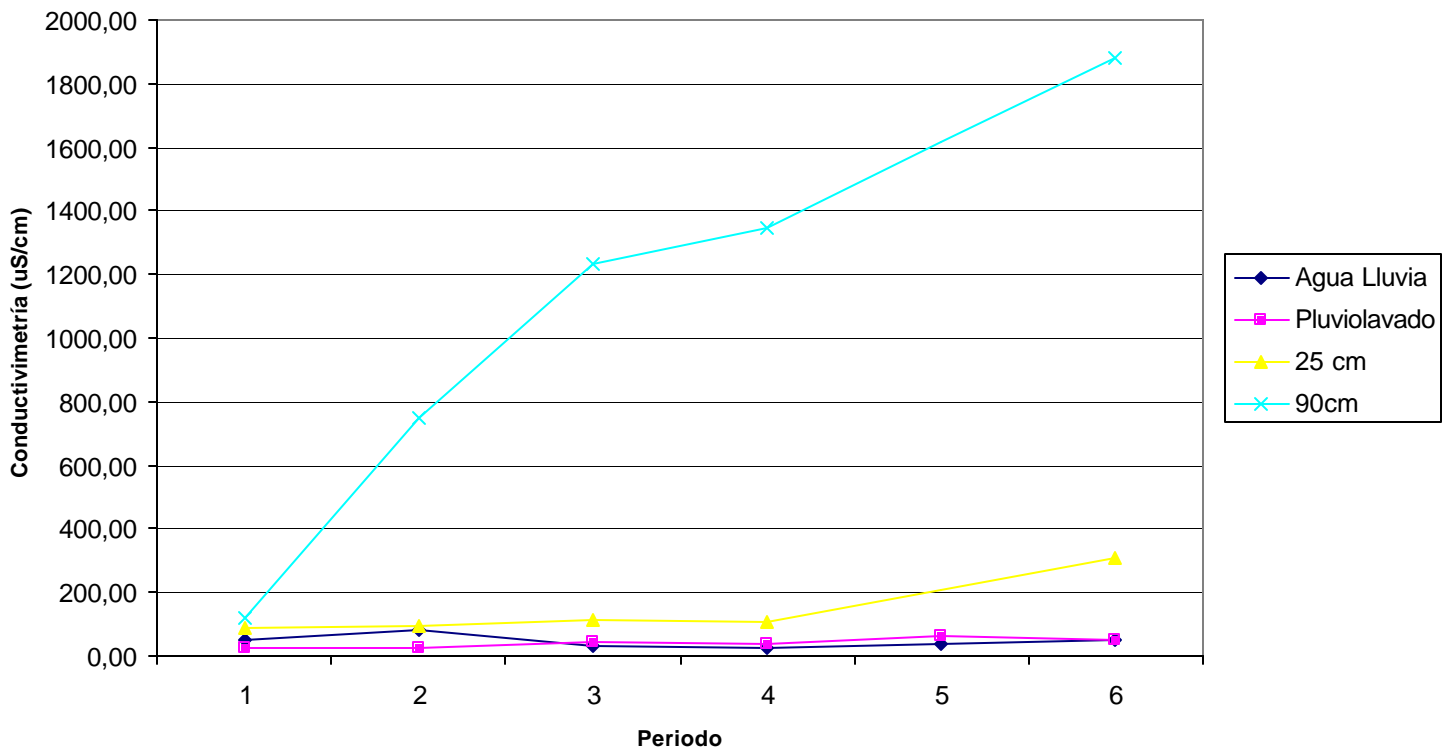
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	50,00	84,00	31,50	27,60	35,00	49,00	277,10	76784,41
Pluviolavado	26,00	25,00	44,50	40,80	63,00	53,00	252,30	63655,29
25 cm	91,00	92,50	114,43	107,93	208,97	310,00	924,83	855316,7
90 cm	119,00	749,00	1230,00	1349,00	1614,50	1880,00	6941,50	48184422
(1) Suma	286	950,5	1420,433333	1525,333333	1921,466667	2292	8395,73	8196696
(2) Suma cuadrado observaciones	25618	577238,25	1528967,488	1833877,004	2655471,318	3635710	10256882	
(3) Suma ^2	81796	903450,25	2017630,854	2326641,778	3692034,151	5253264	3568704	
(5) TC	2937014,092							

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Cond.vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	631690,166	126338,033	1,33	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	5259682,35	1753227,45	18,41	*	9,01	28,24
Error		15	1428495,45	95233,030				
Total		23	7319867,97					

Variación vertical de la conductivimetría
Parcela 100 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

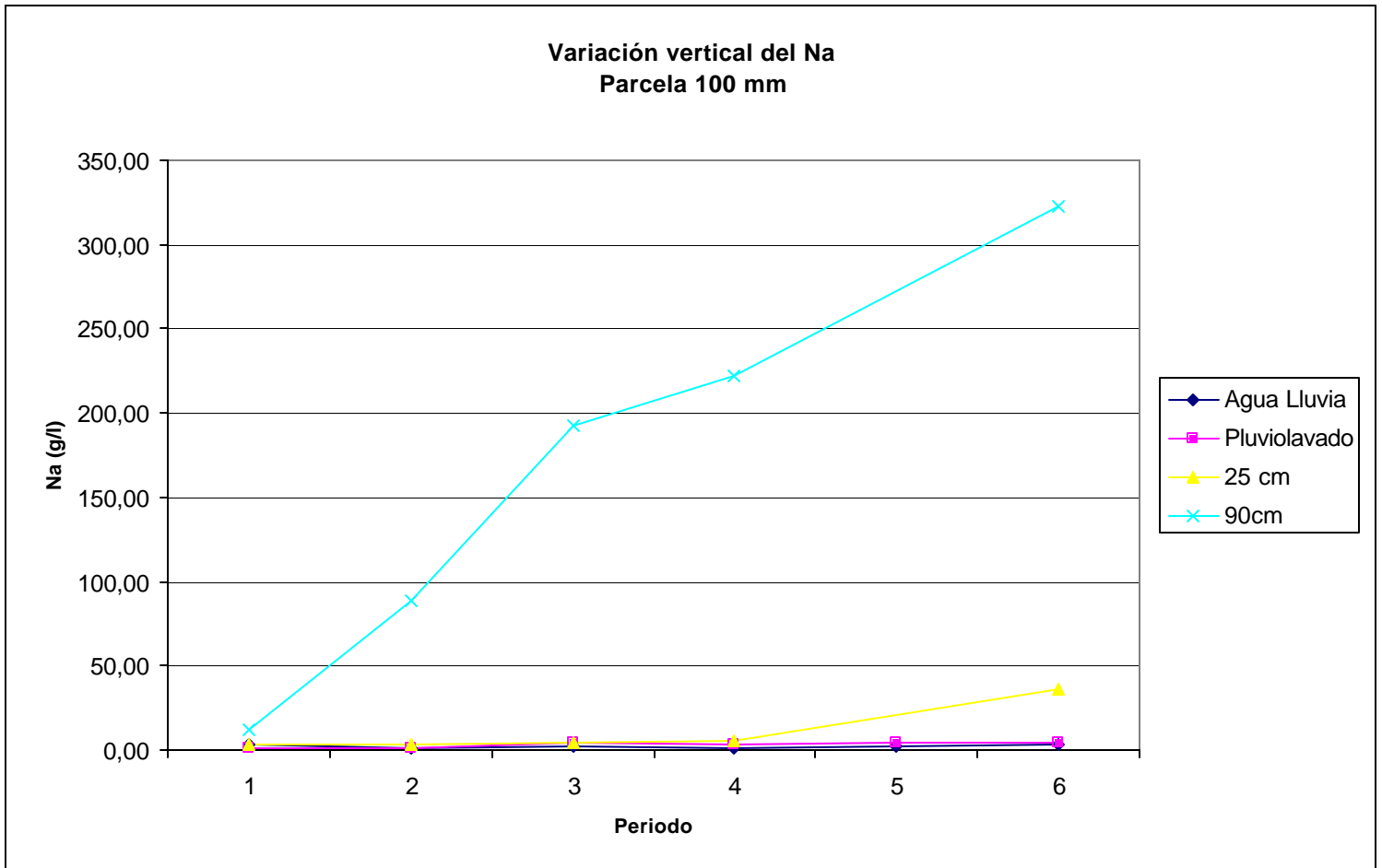
Na vertical 100 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	3,10	1,36	2,41	1,30	1,83	3,40	13,40	179,56
Pluviolavado	1,50	1,29	3,84	3,49	4,35	4,70	19,17	367,4889
25 cm	3,10	2,93	3,93	5,13	20,41	35,70	71,21	5070,389
90 cm	12,00	89,00	192,00	222,00	272,50	323,00	1110,50	1233210
(1) Suma	19,7	94,58333333	202,1833333	231,916666	299,093333	366,8	1214,28	206471,3
(2) Suma cuadrado observaciones	165,47	7933,118144	36900,02481	49324,1528	74695,22556	105637,14	274655,1	
(3) Suma ^2	388,09	8946,006944	40878,10028	53785,33997	89456,82185	134542,24	81999,15	
(5) TC								61436,1592

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Na vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	20562,9906	4112,59811	1,30	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	145035,122	48345,0407	15,23	*	9,01	28,24
Error		15	47620,8594	3174,724				
Total		23	213218,972					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

K vertical 100 mm

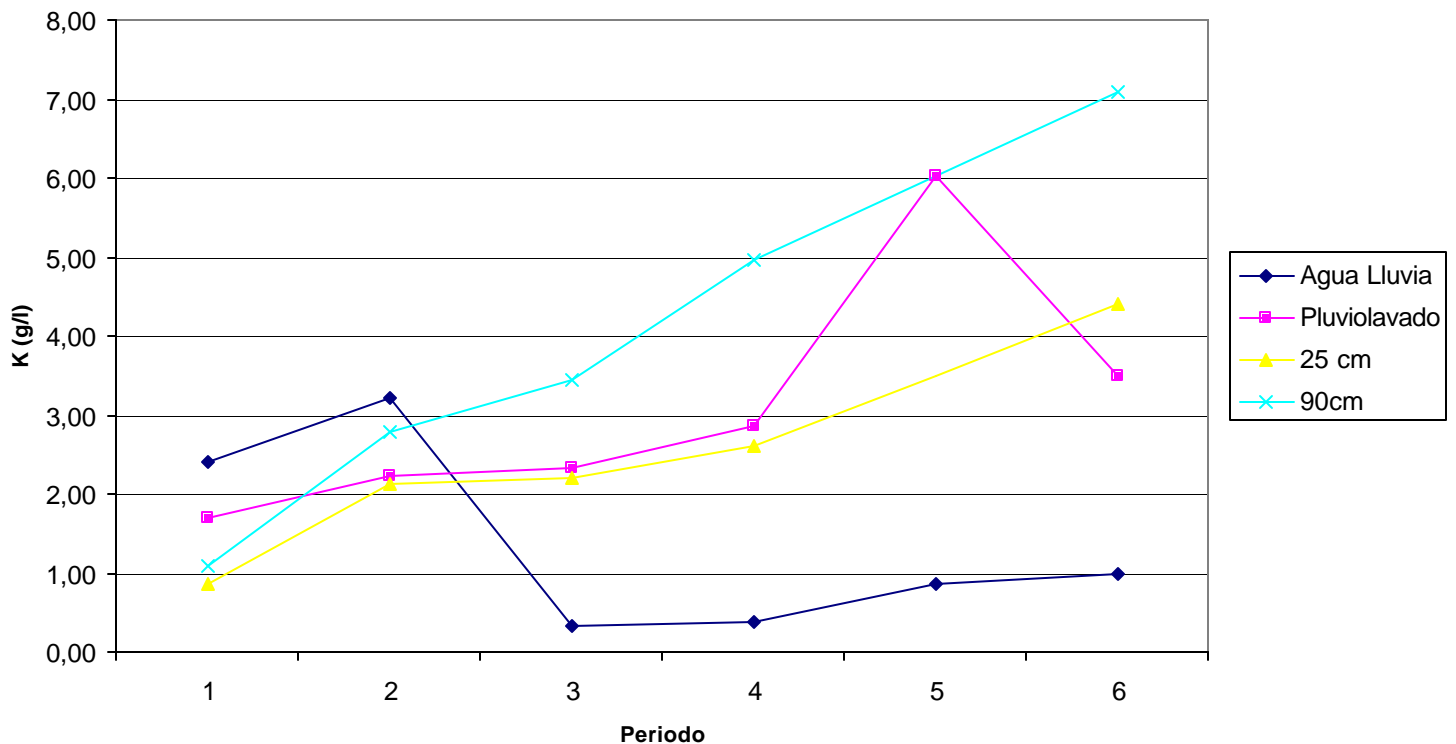
DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	2,40	3,21	0,34	0,38	0,85	1,00	8,18	66,9124
Pluviolavado	1,70	2,22	2,33	2,86	6,02	3,50	18,63	347,0769
25 cm	0,85	2,12	2,19	2,60	3,50	4,40	15,67	245,3922
90 cm	1,10	2,79	3,45	4,95	6,03	7,10	25,42	645,9222
(1) Suma	6,05	10,33666667	8,313333333	10,79333333	16,39666667	16	67,89	217,5506
(2) Suma cuadrado observaciones	10,5825	27,49687778	22,25771111	39,60384444	85,52519444	83,02	268,4861	
(3) Suma ^2	36,6025	106,8466778	69,11151111	116,4960444	268,8506778	256	213,4769	
(5) TC								192,0438375

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **K vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	21,4330153	4,28660306	2,18	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	25,5067875	8,5022625	4,32	ns	9,01	28,24
Error		15	29,5024875	1,967				
Total		23	76,4422903					

Variación vertical del K
Parcela 100 mm



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

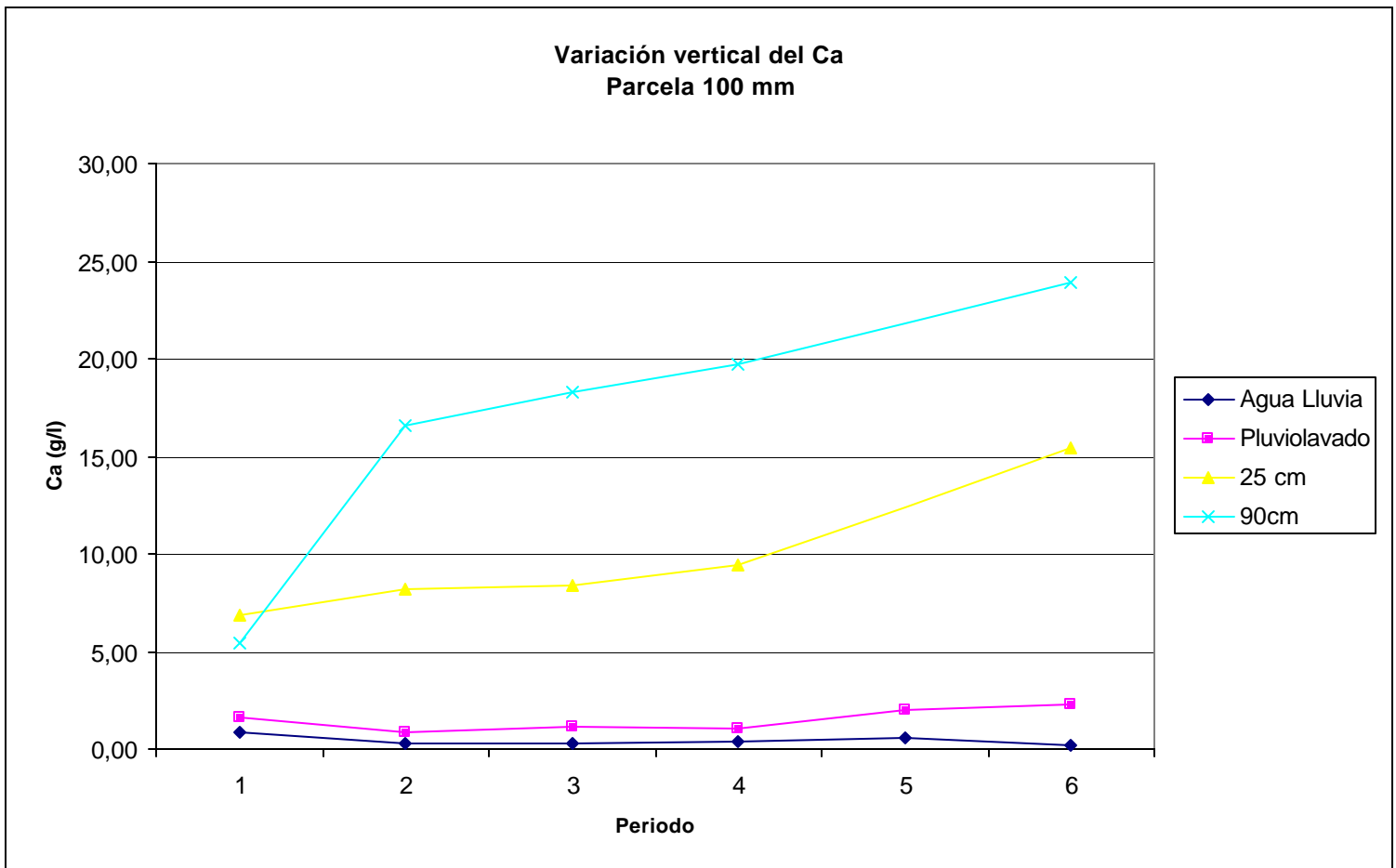
Ca vertical 100 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,90	0,24	0,29	0,39	0,61	0,20	2,63	6,9169
Pluviolavado	1,60	0,84	1,14	1,03	1,97	2,30	8,88	78,8544
25 cm	6,90	8,15	8,42	9,42	12,41	15,40	60,69	3683,074
90 cm	5,40	16,60	18,30	19,69	21,80	23,90	105,69	11169,32
(1) Suma	14,8	25,82666667	28,14666667	30,52666667	36,78333333	41,8	177,88	2489,694
(2) Suma cuadrado observaciones	80,14	342,6913778	407,1139778	477,5827111	633,2417611	813,7	2754,47	
(3) Suma ^2	219,04	667,0167111	792,2348444	931,8773778	1353,013611	1747,24	1427,606	
(5) TC								1318,436678

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Ca vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	109,168958	21,8337916	2,10	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	1171,25738	390,419125	37,64	**	9,01	28,24
Error		15	155,606815	10,374				
Total		23	1436,03315					



ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

FACTOR A (6 columnas):

Periodo

FACTOR B (4 filas):

Estrato

VARIABLE:

Mg vertical 100 mm

DATOS	Periodo						Suma	(4) Suma^2
	1	2	3	4	5	6		
Estrato								
Agua Lluvia	0,30	0,09	0,27	0,21	0,29	0,40	1,56	2,4336
Pluviolavado	0,20	0,23	0,57	0,51	0,84	0,70	3,05	9,3025
25 cm	2,15	2,18	2,32	2,60	3,60	4,60	17,45	304,4443
90 cm	1,20	3,27	4,36	4,76	5,33	5,90	24,82	616,0324
(1) Suma	3,85	5,766666667	7,516666667	8,083333333	10,06166667	11,6	46,88	155,3688
(2) Suma cuadrado observaciones	6,1925	15,49177778	24,77434444	29,73914444	42,17060278	56,62	174,9884	
(3) Suma ^2	14,8225	33,25444444	56,50027778	65,34027778	101,2371361	134,56	101,4287	
(5) TC								91,56575567

ANALISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES (6x4) SIN REPETICION

Variable: **Mg vertical 100 mm**

Fuente de variación		g.l.	S.C.	C.M.	F calculado	Significancia	F tabulado	
							P = 0,05	P = 0,01
Columnas	Periodo	5	9,86290336	1,97258067	3,03	ns	9,01	28,24
Filas	Estrato	3	63,8030503	21,2676834	32,70	**	9,01	28,24
Error		15	9,75666007	0,650				
Total		23	83,4226138					

Variación vertical del Mg
Parcela 100 mm

