



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA VINAZA, SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN  
DEL PISCO, COMO ACONDICIONADOR DE SUELO**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO Y AL GRADO DE MAGÍSTER EN  
CIENCIAS AGROPECUARIAS MENCIÓN PRODUCCIÓN FRUTÍCOLA

ÁLVARO SAMUEL SILVA PÉREZ

DIRECTORES DE TESIS

RODRIGO CALLEJAS RODRÍGUEZ  
MARÍA CECILIA PEPPI ARONOWSKY

PROFESORES CONSEJEROS

GABINO REGINATO MEZA  
ÓSCAR SEGUEL SEGUEL

SANTIAGO DE CHILE  
**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

Sin duda, todo estudiante anhela llegar a este momento, pues significa el fin de una etapa llena de buenos momentos en la cual aprendí día a día a crecer como persona y a conocer esta hermosa carrera como lo es la Agronomía.

Para culminar este trabajo de investigación recibí la ayuda de muchas personas a las cuales quiero agradecer a continuación, pues de una u otra forma todos contribuyeron al desarrollo de este trabajo y a mi formación profesional y personal.

En primer lugar, quiero darle gracias a Dios y a San Antonio de Padua por guiarme siempre por el camino correcto y darme la sabiduría necesaria.

Agradezco a la empresa Capel por darme la oportunidad de realizar este estudio, el cual me motivó cada día más dada su importancia para el rubro pisquero.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Rodrigo Callejas, por su disposición en los momentos que solicité algún consejo y por guiarme a realizar un trabajo que me enorgullece. A la Profesora Dra. Cecilia Peppi, por sus acertados comentarios y por dedicarme el tiempo necesario para afinar los detalles del documento y al profesor Gabino Reginato por sus acertadas apreciaciones.

Agradezco enormemente al Profesor Óscar Seguel por colaborar con valiosos comentarios durante el desarrollo del documento y por ayudarme a describir el suelo del estudio en Punitaqui. Sin duda me enseñó mucho y siempre fue ameno, al igual que Huguito Pérez, quien siempre me ayudó a realizar las evaluaciones pertinentes en el Laboratorio de Física de Suelos.

Especial mención quiero hacer para destacar la desinteresada ayuda prestada por Mauricio Ortiz (Siso), encargado del predio ubicado en Punitaqui, pues dedicó un gran esfuerzo durante todo el ensayo. Por otra parte, hizo más gratos los momentos que dediqué para llevar a cabo todas las evaluaciones establecidas en terreno.

A mi familia, mi madre Victoria, mi hermana Camila, mi tía Ana y Cecilia, quienes siempre me apoyaron en este largo proceso y me incentivaron en aquellos momentos que sentí desmotivación. A mi padre, quien desde un comienzo se sintió orgulloso de mi rendimiento y hoy desde el cielo me estará apoyando siempre para lograr mis objetivos y ser cada vez un mejor profesional. Siempre soñé con que mi familia se sintiera orgullosa de mis logros. Gracias por todo y siempre los llevo conmigo.

A Mariana Díaz y Carlitos Meza por apoyarme en el principio de esta investigación. Siempre les estaré agradecido y les deseo lo mejor en sus proyectos de vida.

Este trabajo está dedicado a la memoria de mi padre quien falleció a principios del año 2013 pero sé que esté donde esté se siente orgulloso de mi y de esta tesis que espero sea de gran utilidad para la ciencia y para la empresa que solicitó esta investigación, pues soy un convencido de que la vinaza es el biofertilizante del futuro.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Caracterización química de la vinaza.....	1
Conservación de suelo.....	2
Situación en Chile .....	2
Uso agronómico de la vinaza.....	4
Otros usos de la vinaza.....	6
Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	7
Efecto contaminante de los fertilizantes sintéticos .....	8
Características del sistema radical de plantas de haba y vid.....	9
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>10</b>

### CAPÍTULO II: EFECTO DE LA VINAZA DE PISCO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL EN PLANTAS DE HABA (*Vicia Faba* L.) 'MAJOR' Y VID (*Vitis vinifera* L.) 'PEDRO JIMÉNEZ'

<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>18</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>18</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODO.....</b>	<b>19</b>
Materiales .....	19
Lugar de estudio .....	19
Material vegetal .....	19
Vinaza.....	19
Sustrato .....	19

Rizotrón .....	20
Metodología.....	21
Tratamientos .....	21
Diseño experimental .....	21
Evaluaciones.....	23
Peso fresco y seco de raíces .....	23
Largo de raíces.....	23
Análisis estadístico.....	24
<b>RESULTADOS</b> .....	25
Habas .....	25
Vides en rizotrones .....	27
Vides en macetas .....	28
<b>DISCUSIÓN</b> .....	31
<b>CONCLUSIONES</b> .....	36
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	37

### **CAPÍTULO III: EFECTO DE LA VINAZA APLICADA EN EL AGUA DE RIEGO DE PLANTAS DE VID (*Vitis vinifera* L.) ‘CHARDONNAY’**

<b>RESUMEN</b> .....	42
<b>ABSTRACT</b> .....	43
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	44
<b>Hipótesis</b> .....	46
<b>Objetivo</b> .....	46
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	47
Materiales .....	47
Lugar de estudio .....	47
Metodología.....	47

Tratamientos.....	47
Diseño experimental .....	48
Evaluaciones.....	50
Determinación propiedades físicas del suelo.....	50
Determinación de las líneas de gestión, tiempo y frecuencia de riego .....	50
Análisis foliar de nutrientes .....	52
Grados de alcohol probable a la cosecha (GAP), producción por planta, peso de racimos, número de racimos y peso de poda .....	52
Índice de enraizamiento (IE) .....	52
Concentración de macronutrientes disponibles (N, P y K), materia orgánica conductividad eléctrica (CE) y pH en el suelo .....	53
Análisis estadístico.....	53
<b>RESULTADOS</b> .....	54
Propiedades físicas del suelo .....	54
Determinación de líneas de gestión.....	54
Tiempo de riego.....	54
Frecuencia de riego .....	55
Concentración foliar de nutrientes .....	56
Variables productivas .....	57
Índice de enraizamiento (IE) .....	58
Concentración de macronutrientes disponibles (N, P y K), materia orgánica conductividad eléctrica (CE) y pH en el suelo .....	59
<b>DISCUSIÓN</b> .....	62
<b>CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	69
<b>APÉNDICE I.</b> Figuras complementarias .....	74

<b>APÉNDICE II.</b> Descripción morfológica del suelo del estudio, Serie Oro blanco, realizado en Punitaqui temporada 2011-2012 .....	82
<b>APÉNDICE III.</b> Desviación estándar de las evaluaciones Capítulo III .....	84
<b>ANEXO I.</b> Composición química de la vinaza utilizada en Punitaqui temporada 2011-2012 .....	86
<b>ANEXO II.</b> Composición química del agua de riego utilizada en Punitaqui temporada 2011-2012 .....	87
<b>ANEXO III.</b> Rango óptimo de nutrientes en envero para la vid .....	88

## CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La vinaza es el residuo industrial líquido (RIL) generado en el proceso de destilación de alcohol, obtenida en grandes volúmenes. Por cada litro de alcohol destilado se producen, en promedio, 13 litros de vinaza. Esta cantidad varía de acuerdo con la materia prima para la fermentación, destacando, entre las que generan mayor cantidad de vinaza, la caña de azúcar, la remolacha, la uva (Díez-Rojo, 2010) y el *Ágave cocui* (Leal *et al.*, 2003), utilizados para obtener cachaza, alcohol etílico, pisco y licor de Agave, respectivamente. Debido a su alto contenido de materia orgánica, la vinaza presenta una elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), convirtiéndola en un agente muy contaminante del medio ambiente (Alfaro y Alfaro, 1996).

La industria del pisco presenta procesos de producción de gran similitud con la industria del vino, pero agrega la destilación, que requiere de equipamientos, mano de obra e importante consumo de energía. La destilación separa mediante calor los diferentes componentes líquidos, aprovechando las diferencias de volatilidad de los compuestos. Este proceso genera un residuo, la vinaza, que se caracteriza por su elevada carga orgánica. Durante la destilación, por cada litro de vino destilado, un 25% queda como alcohol y un 75% se convierte en vinaza (CPL, 2006), por lo que se considera un problema ambiental.

### Caracterización química de la vinaza

La vinaza es de color café claro, está compuesta en un 98% de agua y, según Arana (2010), contiene una composición nutricional, química y biológica que la convierten en un residuo con un inmenso potencial fertilizante agrícola, pues presenta niveles importantes de potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, además de un alto contenido de materia orgánica. La vinaza proveniente de la elaboración del pisco presenta un pH cercano a 3,6; una  $DBO_5$  aproximada de  $15.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y valores aproximados de  $0,73 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de potasio;  $0,21 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de fósforo y  $0,12 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de nitrógeno total (Díez-Rojo, 2010).

## Conservación de suelo

Las vinazas históricamente han sido consideradas indeseables debido a sus efectos secundarios, los cuales incluyen la contaminación de ríos, fuentes de aguas subterráneas y mares cercanos a las industrias, generando mortalidad de peces y un grave problema ambiental (Pérez y Garrido, 2008). En este sentido, Urbano (2002) señala que con dosis altas de vinaza y un elevado régimen de humedad en suelos arenosos, puede producir una importante lixiviación de nitratos por percolación, lo que puede generar contaminación de acuíferos. Por esto, el acelerado desarrollo industrial ha conllevado restricciones cada vez más severas con relación al vertido de efluentes industriales, debiendo las destilerías tratar su respectivo efluente, o buscar nuevas alternativas para su utilización.

Debido a las grandes cantidades generadas de vinaza, se comenzó a estudiar su posible uso para aprovechar sus propiedades fisicoquímicas, convirtiéndose en un producto de gran interés agrícola, como potencial alternativa a los fertilizantes inorgánicos, debido a su alto contenido de materia orgánica, N y K (Madejon *et al.*, 2001).

Una de las preocupaciones ambientales importantes en la agricultura es la degradación del suelo. El uso de tecnologías de labranza inapropiadas lo han deteriorado, generando pérdidas de materia orgánica y la degradación de su estructura, lo que afecta los flujos de agua, aire y nutrientes y, por consiguiente, negativamente el crecimiento de las plantas (Golchin *et al.*, 1995).

Desde el punto de vista de gestión de residuos, el reciclaje agrícola permite hacer un uso efectivo de los residuos orgánicos, para dar origen a productos que tienen un valor como mejorador de suelo (Haynes y Naidu, 1998). Es por esto que, en la última década, se ha llevado a cabo la aplicación de residuos con una alta carga orgánica, como el estiércol y subproductos industriales (Tejada y González, 2005), para recuperar los suelos degradados y mantener el suministro de nutrientes para las plantas y los niveles de materia orgánica del suelo (Albiach *et al.*, 2001).

## Situación en Chile

En Chile, la vinaza se trata como RIL, por lo que su destino es para disposición en sitios específicos y no como alternativas para aprovechamiento. A partir de la firma el año 2004 del Acuerdo de Producción Limpia (APL) (CPL, 2006), los productores de pisco de la IV Región requirieron buscar una solución al problema y que cumpliera con la regulación ambiental. Una alternativa fue aplicar este residuo en los caminos de tierra al interior de los predios, donde al deshidratarse genera una



costra orgánica de sólidos atrapados en una película impermeable. Esta costra impide que la vinaza contamine las napas subterráneas y reduce significativamente el polvo al transitar por vías no pavimentadas. En una planta pisquera de tamaño pequeño, se estima un ahorro de agua considerable por mantención de caminos y, a su vez, una reducción del volumen de tratamiento de vinaza en la temporada (CPL, 2006).

Para poder disponer vinaza en caminos o suelos agrícolas deben cumplirse una serie de pasos declarados en un Plan de Aplicación exigido por el SAG, el cual se enmarca en el Decreto de Ley N° 3.557 de 1980, y en la Ley de Protección Agrícola, que establece que “Los establecimientos industriales, fabriles y mineros y cualquier otra entidad que manipule productos susceptibles de contaminar la agricultura, deben adoptar oportunamente las medidas técnicas y prácticas que sean procedentes a fin de evitar o impedir la contaminación” (art. 11) (CPC, 2008).

En Chile se generan alrededor de 114.000 m<sup>3</sup> de vinaza al año; la empresa pisquera de mayor tamaño actualmente la dispone en canchas autorizadas sobre compost de orujo y escobajo y en caminos autorizados dentro de la misma planta de destilación<sup>1</sup>. Así, se aprovecha la alta capacidad evaporativa de la vinaza, aunque se generan costos altísimos en maquinaria, mano de obra y consumo de energía (CPC, 2008). Actualmente, los caminos y sitios autorizados para la disposición de la vinaza no son suficientes, más aun en días lluviosos o con temperaturas bajas donde su disposición es más limitada, por lo que se están buscando otras alternativas para disiparla y/o darle un mejor uso.

Para efectos de regular las concentraciones y/o descargas al suelo de vinaza, el APL aceptó un límite de aplicación de 112 kg de DBO<sub>5</sub> por ha y por día, exigido por la Normativa Chilena 1.333, de calidad de aguas para riego (SAG, 2006), independiente de la existencia o no de un cultivo. Si bien este límite se considera razonable, su aplicación se debe realizar de preferencia en la III y IV Región, dadas las características climáticas presentes en la zona pisquera, que permitirían un incremento en la tasa de degradación de la materia orgánica, reduciendo al mínimo la generación de olores (SAG, 2006).

Por otro lado, se debe cumplir la Ley Orgánica del SAG N° 18.755 de 1989, y sus modificaciones, y la Ley General de Bases del Medio Ambiente N° 19.300, de 1994. Para esto, se debe entregar al SAG antecedentes del área de aplicación, caracterización de los residuos sólidos, de los suelos receptores y antecedentes sobre el manejo agronómico a realizar, cumpliendo con los parámetros establecidos por la Normativa Chilena 1.333, modificada en 1987, “Requisitos de calidad del agua para diferentes usos – Requisitos de agua para riego”. Además, se deben cumplir las recomendaciones establecidas en el marco de los APL firmados con otros sectores agroindustriales, como el sector vitivinícola, donde se debe prevenir la saturación del suelo, escorrentías e infiltración a cursos de aguas superficiales y subterráneas, a objeto de impedir la contaminación de suelos,

---

<sup>1</sup>Comunicación personal. Nicolás Fernández, Gerente producción de Capel. 12 enero del 2011.

cultivos agrícolas, ganadería, fauna y flora silvestre, aguas superficiales y subterráneas y la población aledaña (CPC, 2008).

### Uso agronómico de la vinaza

Desde hace varios años, la vinaza ha sido evaluada en su comportamiento agronómico, principalmente en Colombia, Ecuador, Brasil, Venezuela, China, Cuba y España.

El principal elemento aportado por la vinaza es el potasio, existiendo casos donde su aplicación al suelo puede sustituir a la fertilización química (Korndorfer *et al.*, 2010), aunque en algunos territorios cubanos y en otros países los suelos agrícolas cañeros están saturados de potasio, por lo que el manejo y las dosis de vinaza requieren especial cuidado (Paneque y Mazón, 2004).

En Colombia, debido a su elevado contenido en materia orgánica, la vinaza es usada como abono orgánico en la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), reemplazando en muchos casos a la fertilización química (Quintero *et al.*, 2004; Urbano, 2002). La relación C/N es baja, generalmente inferior a 15, y en suelos tratados con vinaza se ha comprobado que la relación C/N ha descendido, lo que puede ser un síntoma claro del aumento del contenido de N del suelo (Urbano, 2002).

En Ecuador, Mora *et al.* (2010) observaron que  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza aumentaron el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum*) de  $33,48$  a  $44,23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , superando a la fertilización química ( $37,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Resultados similares obtuvieron Armengol *et al.* (2003), quienes contrastaron distintas dosis de vinaza (hasta  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) con una fertilización química ( $60,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N,  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) en caña de azúcar, concluyendo que la dosis de  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza generó los mayores rendimientos ( $130,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), superior a la fertilización química ( $95,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Santos *et al.* (2007), evaluando el efecto de la vinaza derivada de la fabricación del pisco sobre el peso seco de raíces en pepino dulce (*Solanum muricatum*), en concentraciones de 10%, 15% y 20%, más dos testigos (uno con agua de riego y otro con fertilización química), observaron un mayor peso seco de las raíces con la mayor concentración de vinaza.

Singh *et al.* (1998), aplicando vinaza con diferentes niveles de  $\text{DBO}_5$  (entre 0 y  $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), observaron que  $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  permitieron cultivar sin problemas trigo (*Triticum aestivum*) durante tres años de ensayo, sugiriendo que con un manejo adecuado la vinaza no genera un efecto negativo en la agricultura. El pH y la

conductividad eléctrica del suelo no variaron, sin embargo, aumentó el contenido de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio.

En viñedos variedad Syrah, Baradeau *et al.* (2001) determinaron que la aplicación de vinaza por cuatro años consecutivos resultó ser beneficiosa, pues incrementó la población de lombrices y mejoró las propiedades físicas del suelo. Estos autores sostienen que la vinaza diluida puede utilizarse en la agricultura, teniendo en cuenta que existe un umbral sobre el cual pueden dañarse las plantas y/o el suelo.

En un ensayo realizado en Ecuador, se utilizaron distintas dosis de vinaza pura (hasta  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) sobre mezclas forrajeras, más un tratamiento de fertilización química según los requerimientos del suelo del estudio, observando los mejores resultados con la mayor dosis de vinaza ( $125 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ), la que generó un rendimiento de  $152,34 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  de materia fresca por año y  $26,32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  de materia seca (Jaramillo, 2010); el rendimiento fresco obtenido con esta dosis fue igual al obtenido con el tratamiento de fertilización química ( $150,59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  al año).

En España, Díez-Rojo (2010) estudiando el efecto de la vinaza proveniente de la destilación del vino en condiciones de laboratorio, evaluó el peso fresco de raíces de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivados en macetas de 250 g. Se incorporó vinaza en dosis de 1; 3 y 5 mL en riegos de 100 mL de solución y un testigo que fue sólo agua, detectando un mayor peso fresco de raíces con la dosis de 3 mL, lo que sugiere que la vinaza en dosis moderadas no perjudica el crecimiento de éstas. El mismo autor comparó el efecto de la vinaza sobre la población de nematodos del género *Meloidogyne*, no encontrando individuos con las 3 dosis de vinaza, mientras que el testigo mostró 11,38 individuos por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo, similar situación ocurrió para *Xiphinema index*.

Vicente *et al.* (2007) realizaron un ensayo *in vitro*, probando el efecto supresor de la vinaza de caña de azúcar, de remolacha y de vino sobre seis hongos fitopatógenos. Observaron que la vinaza de vino resultó ser beneficiosa, ya que presentó una capacidad de supresión del crecimiento fúngico del 100% a concentraciones del 5-7% para *F. oxysporum* f.sp. *melonis* raza 0 y 1, *S. sclerotiorum*, *P. aphanidermatum* y *P. parasítica*; y al 10-15% para *F. oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*. Por el contrario, no se obtuvo el mismo efecto con las otras dos vinazas.

Reyes (2009) evaluó el efecto de distintos niveles de vinaza sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays*) y la actividad de la biomasa microbiana, evidenciando un efecto beneficioso de la vinaza sobre esta última, ya que durante tres muestreos la producción de  $\text{CO}_2$  fue mayor con la dosis de  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un promedio de  $1,35 \text{ mg CO}_2$  por g de suelo seco, mientras que sin vinaza el promedio fue de  $0,75 \text{ mg CO}_2$  por g de suelo seco.

Taday (2009), trabajando con arveja (*Pisum sativum L.*), probó la aplicación de seis dosis de vinaza en un Mollisol, detectando que esta también genera un efecto beneficioso, pues la mayor biomasa microbiana del suelo se logra con una dosis alta ( $125 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ), con un promedio de  $1,0 \text{ mg CO}_2$  por g de suelo seco en comparación al tratamiento sin vinaza, que presentó un promedio de  $0,61 \text{ mg CO}_2$  por g de suelo seco.

### Otros usos de la vinaza

En Colombia, Valle del Cauca, la vinaza de la caña de azúcar es transformada en polvo soluble, generando de esta manera un fertilizante granulado de alta composición nutricional y materia orgánica. Este proceso y la logística necesaria para su manejo fue algo difícil de resolver, ya que no existía en el mundo una tecnología de secado de la vinaza de forma industrial. Finalmente, fue posible su utilización como una de las materias primas para la elaboración de granulados especiales, que resuelven en parte el problema de la logística de la entrega y/o venta de la vinaza (Irisarri, 2005).

En países productores de vinaza, ésta se utiliza como un componente del compost, formado por cachaza (bebida alcohólica proveniente de destilar melaza, la que a su vez se obtiene de la planta de la caña de azúcar), bagazo (residuo sólido que queda una vez extraído el jugo de la caña de azúcar), cenizas de las calderas que queman bagazo, nutrientes y vinazas. Las vinazas, directamente, no son aptas para producir compost, sino que se incorporan como uno de los componentes nutritivos (Conil, 2008).

Experimentos más recientes en el Valle del Cauca demostraron la factibilidad técnica y económica de la utilización de vinaza como agente fluidificante de pastas crudas de cemento, en una fábrica de materiales de construcción, generando significativos ahorros de agua (Irisarri, 2005).

En Holanda, Bélgica y Francia, también se utiliza a gran escala, concentrada a  $60^\circ$  Brix, como materia prima en mezclas de forraje para animales (Pérez y Garrido, 2001), señalándose que es posible mejorar la rapidez de crecimiento de los animales en un 5%, con disminución en el precio de la ración en un 15%.

Los métodos tradicionales de depuración de vinazas son tratamientos biológicos anaerobios, precedidos por un sistema depurativo físico o químico, para eliminar parte de la carga orgánica (Pérez y Garrido, 2001). En este sentido, se ha ensayado, con resultados promisorios, la digestión anaerobia para producir biogás, para utilizarse como fuente de energía en la caldera de la propia destilería, con un ahorro significativo del combustible convencional. El lodo residual puede emplearse como alimento animal o como abono de uso agrícola. La inversión en

esta tecnología es alta, aunque se recupera en el tiempo si se emplea eficientemente el biogás y el lodo producido (Valdés *et al.*, 1992). Esto podría realizarse en países como Argentina y Uruguay, donde la vinaza todavía se sigue eliminando en canales o cauces de ríos, generando una alta contaminación.

En general, la situación mundial de la vinaza de la caña de azúcar es interesante, especialmente en países como Brasil, China e India, donde se produce biogás a partir de vinaza. En India, en 1999 había 150 plantas de producción de biogás a partir de vinaza y 50 plantas para la producción de compostaje. En China, Brasil y Colombia, se aplica al suelo como fertilizante y para hacer compostaje. En la mayoría de estos países, la vinaza se aplica directamente al suelo sin cultivo, generando problemas de transporte y olores (Eliécer, 2009).

### **Importancia de la materia orgánica en el suelo**

La materia orgánica juega un rol trascendental en la fertilidad química, física y biológica en el suelo. Desde el punto de vista biológico, la actividad microbiana (hongos, bacterias, etc.) ha ido decreciendo debido a la disminución del carbono en el suelo, principal sustrato alimenticio de los microorganismos.

El carbono juega un papel vital para los seres vivos, ya que es el principal encargado de proveer la estructura sobre la cual se forman las diversas sustancias bioquímicas que son parte de la biomasa de los organismos. La disminución del carbono en los suelos se ha producido principalmente por efecto de la erosión del suelo, la oxidación por efecto del laboreo, la quema de rastrojos y la baja incorporación de enmiendas orgánicas y/o uso de abonos verdes (Rojas *et al.*, 2002).

Una mayor actividad biológica en el suelo promueve una rápida descomposición de los residuos vegetales y animales, mejorando el equilibrio de una biomasa microbiana diversificada. Los procesos biológicos regulan en mejor forma el ciclo de algunos nutrientes como el nitrógeno, azufre y en menor medida el fósforo (Muñoz, 2009).

La materia orgánica también es importante sobre las propiedades físicas del suelo; mejora la retención de agua disponible para las raíces y promueve una mejor estructuración de las partículas minerales, generando la formación de compuestos órgano-minerales más estables. También favorece la formación de una porosidad de tamaño mediano, determinando una mejor aireación del suelo. En los últimos 30 años se ha privilegiado la fertilización inorgánica, lo que ha provocado un deterioro de la condición física del suelo, afectando principalmente la porosidad, la retención de agua, la velocidad de infiltración, la estructura y la aireación (Rojas *et al.*, 2002).

En la zona del Norte Chico, en los valles de Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, donde se produce el pisco, se presentan contenidos moderados a bajos de materia orgánica, producto de las bajas precipitaciones, que impiden un buen crecimiento de fitomasa; además, las altas temperaturas favorecen la descomposición más que la acumulación de los residuos vegetales (Rojas *et al.*, 2002). En esta zona, las aplicaciones de enmiendas orgánicas se basan en el uso de estiércol de cabra, aplicando grandes dosis de materia orgánica no estabilizada, lo que genera problemas como aportes salinos y discontinuidades en el sistema poroso (Baginsky *et al.*, 2010). Sierra y Rojas (2002), señalan que el estiércol de cabra, al ser un material no compostado, presenta altos valores de materia orgánica y nitrógeno, sin embargo, también remarcan que es más propenso a pérdidas por volatilización y posee una importante carga salina. El estiércol de vaca, que es muy utilizado a nivel nacional, puede alcanzar incluso valores de conductividad eléctrica de  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , requiriéndose aplicar en este caso altos volúmenes de agua para lixiviar las sales lejos de la zona de raíces (Morales *et al.*, 2009).

Se debe considerar que el uso de estos materiales orgánicos es escaso debido a su carencia, y que el gran volumen que se debe aplicar, implica un costo adicional importante. Además, la actividad ganadera se ha ido desplazando cada vez más hacia el sur, lo que no favorece un adecuado suministro de estos productos para la zona norte del país (Rojas *et al.*, 2002). Por otra parte, aplicaciones excesivas de estiércol y purines pueden provocar contaminación de aguas superficiales con nitratos y fosfatos, como también de aguas subsuperficiales con nitratos (Céspedes, 2005).

En base a estos antecedentes, la vinaza se presenta como una excelente alternativa para ser utilizada en sistemas productivos convencionales y orgánicos de la Región de Coquimbo, ya que de esta forma se aprovecha un residuo proveniente del mismo sistema productivo con potencialidad para aportar nutrientes y materia orgánica al suelo.

### **Efecto contaminante de los fertilizantes sintéticos**

Los fertilizantes sintéticos generan contaminación de aguas, lo que se debe al mal manejo de los suelos y a la remoción de partículas fertilizantes adheridas a sólidos de suelo, que escurren junto con el agua de lluvia o excedentes de riego. En el caso del nitrógeno, cuando se realiza un manejo inadecuado del riego, se origina contaminación de napas con nitratos (Rojas *et al.*, 2002).

Por otra parte, el uso persistente de algunos fertilizantes como la urea y el fosfato de amonio, dado su conveniente precio en relación a otros fertilizantes, produce

acidificación del suelo; esto limita el crecimiento de algunos cultivos que no son tolerantes a la acidez o bajo pH del suelo (Vera, 1994).

Además, los fertilizantes químicos provocan problemas de salinidad, pues el uso sistemático de nitrato de sodio (a pesar que se utiliza poco a nivel nacional) puede producir incrementos importantes en el sodio del suelo, evitando que las plantas tengan una nutrición normal, llegando a veces a niveles tóxicos (Rojas *et al.*, 2002).

Por último, existe una acumulación progresiva de metales pesados provocado por fertilizantes fosforados que contienen Cadmio, el cual se ha ido acumulando progresivamente en los suelos (Sierra, 2003).

### **Características del sistema radical de plantas de haba y vid**

Según los antecedentes anteriormente mencionados y dadas las ventajas observadas a partir de la vinaza, en la presente investigación se analizará su efecto sobre plantas de haba (*Vicia faba L.*) y vid (*Vitis vinifera L.*).

El haba es una especie dicotiledónea anual, perteneciente a la familia de las fabáceas. Su sistema de raíces es colonizado por bacterias de la cepa *Rhizobium leguminosarum*, las cuales se instalan en las raíces formando nódulos, a través de los cuales fijan nitrógeno atmosférico, estableciendo una relación simbiótica con las plantas. La radícula, que es muy vigorosa, emite una gran cantidad de raíces secundarias luego de ocurrida la emergencia, transformándose gradualmente en una raíz pivotante, la cual logra profundizar en forma relativamente rápida. La raíz pivotante, en un suelo sin limitaciones, puede alcanzar hasta 1 m de profundidad (Faiguenbaum, 2003).

Por su parte, el sistema radical de las vides está formado por una estructura principal de raíces (6-100 mm de diámetro), las cuales usualmente se encuentran a una profundidad de 30 a 35 cm desde la superficie del suelo, y raíces más pequeñas permanentes (2-6 mm de diámetro), las que derivan de esta estructura principal y crecen ya sea en forma horizontal o vertical. Estas raíces se van ramificando produciendo las raíces absorbentes, las que son continuamente reemplazadas por nuevas raíces laterales (Mullins *et al.*, 1992). Ibacache y Lobato (1995) señalan que en vides el crecimiento de las raíces comienza algunas semanas después de la brotación, registrándose dos períodos en los que se produce un gran desarrollo del sistema radical, el primero al inicio de temporada, cerca de cuaje, y el segundo después de cosechada la fruta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albiach, R., R. Canet, F. Pomares and F. Ingelmo. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity and horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technol* 77: 109-114.
- Alfaro, R. y J. Alfaro. 1996. Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. *Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales* 3: 175.
- Arana, R. 2010. La vinaza, de contaminante a fertilizante. Agencia Universitaria de Periodismo Científico, AUPEC. Disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio96/vinaza.html>. Leído el 14 de marzo del 2011.
- Armengol, J.E., R. Lorenzo y N. Fernández. 2003. Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia en las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de la caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 24 (3): 67-71.
- Baginsky, C., O. Seguel y A. Contreras. 2010. Impacto en la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 122p.
- Baradeau, E., F. Jourjon y J. L Brosseau. 2001. Impact de lèpandage de effluents vinicoles sur vigne. *Chambre d Agriculture Loire-Atlantique-Vertou France. Revue des Enologues* 90: 126.
- Céspedes, C. 2005. Agricultura orgánica: principios y prácticas de producción. 131 edición. Centro Regional de Investigación Quilamapu. 131p.
- Conil, P. 2008. Manejo de vinazas: Mecanización y compostaje, aplicaciones industriales. Disponible en: <http://www.tecnicana.com>. Leído el 12 de junio del 2010.
- CPC (Compañía Pisquera de Chile S. A). 2008. Disponible en: <http://www.e-seia.cl/archivos/Anexo4ManualDispVinazaRiego.pdf>. Leído el 10 de julio del 2010.
- CPL (Consejo de Producción Limpia). 2006. Productores de pisco y procesadores de uva pisquera III y IV Región: Chile produce limpio. Disponible en: [http://www.produccionlimpia.cl/medios/Bauza\\_Mal\\_Paso.pdf](http://www.produccionlimpia.cl/medios/Bauza_Mal_Paso.pdf). Leído el 8 de junio del 2012.
- Díez-Rojo, M. A. 2010. Efecto de las vinazas sobre los nematodos del suelo *Meloidogyne arenaria* y *Xiphinema index*. Tesis (Doctorado) – Universidad



Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid. 409p.

Eliécer, J. 2009. Características de la vinaza, usos y aprovechamientos potenciales. Memorias: Seminario Internacional de fertilización y nutrición de la caña de azúcar: 69-91.

Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ediciones Vivaldi y Asociados, Santiago, Chile. 760p.

Golchin, A., P. Clarke, J.M. Oades and J.O. Skejnostad. 1995. The effect of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33: 975-993.

Haynes, R.J. and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 123-137.

Ibacache, A. y A. Lobato. 1995. Períodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola* 16: 23-26.

Irisarri, D. 2005. Usos industriales y agrícolas de la vinaza de caña de azúcar. *Tecnicaña* 17 (9): 20-25.

Jaramillo, R. 2010. Efecto de la vinaza en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un andisol. Tesis (Doctorado) – Escuela Politécnica Nacional, Quito. 88p.

Korndorfer, G.H., A. Nolla y J. M. Ailton. 2010. Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. *Tecnicaña*. Instituto de Ciencias Agrarias, Universidad Federal de Uberlandia 24: 23-28.

Leal, I., E. Chirinos, M. Leal, H. Morán y W. Barrera. 2003. Caracterización fisicoquímica de la vinaza de *Agave cocui* y su posible uso agroindustrial. *Cultivos Tropicales* N°2: 83-88.

Madejon, E., R. López, J.M. Murillo and F. Cabrera. 2001. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agric. Ecosyst. Environ* 84: 53-65.

Mora, X., F. Valverde, R. Parra, Y. Cartagena, S. Alvarado y R. Jaramillo. 2010. Respuesta del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad iniap-estela a la aplicación de vinaza y riego por goteo. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. 11p.

Morales, J., M.V. Fernández, A. Montiel y B. Peralta. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). Biotecnia 11 (1): 19-26.

Mullins, M. G., A. Bouquet and L. E. Williams. 1992. Biology of the grapevine. Ed. Michael G. Mullins (ed). Cambridge University Press. Cambridge, UK. 252p.

Muñoz, F. 2009. Efectos de la materia orgánica del suelo. Tecnicaña, Memorias Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar, Cali. 127p.

Paneque, V. M y B. Mazón. 2004. Fertirriego, vía económica y eficiente para la descontaminación ambiental. Revista Cuba Azúcar 1: 40-42.

Pérez, I. y N. Garrido. 2001. Aprovechamiento de vinazas de destilerías. Instituto cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Disponible en: <http://www.infoambiental.es/html/files/pdf/amb/iq/435/09ARTICULOAB.pdf>. Leído el 13 de agosto de 2011.

Pérez, I. y N. Garrido. 2008. Ingeniería química. Tratamiento de aguas residuales; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (Tratamiento de efluentes de la industria alcoholera). 148-153.

Quintero, R., S. Cadena y C. Briceño. 2004. Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinazas. Cenicaña 17: 1-11.

Reyes, E. 2009. Efecto de niveles de vinaza en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) variedad INIAP-122 Chaucho Mejorado en choclo y los cambios fisicoquímicos y biológicos producidos en el suelo. Tesis Ing. Agr. U.C.E – F.C.A. Tumbaco – Pichincha. 91p.

Rojas, C., R. Novoa, F. Squella, J. Carrasco y C. Sierra. 2002. Tecnologías y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de suelos degradados. Serie Actas N°15, INIA. 168p.

SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). 2006. Guía para proyectos de industrias vitivinícolas que aplican riles al suelo. Disponible en: <https://www.e-seia.cl/archivos/20081001.001346.pdf>. Leído el 12 de agosto del 2010.

Santos, M., F. Diánez, F. Carretero, M. García-Alcázar, M. De Cara y J.C. Tello. 2007. Efecto de la aplicación de vinaza de vino como biofertilizante y en el control de enfermedades en el cultivo de pepino. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, VIII Congreso SEAE de Agricultura y Alimentación Ecológica. Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Almería 2: 58-66.

Sierra, C y C. Rojas. 2002. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Informe técnico Estación Experimental Intihuasi, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Serena. 20p.

Sierra, C. 2003. Fertilización de cultivos y frutales en la zona norte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). INIA N°97. 72p.

Singh, Y., M. S. Gangwar, B. S. Mahapatra, P. C. Srivastava, A. Kulshreshtha, R. B. Manihar, S. K. Mishra, M. K. Dasgupta, D. C. Ghosh, D. K. Majumdar, G. N. Chattopadhyay, P. K. Gangulli, P. S. Munsi and D. Bhattacharya. 1998. Utilization of destillery effluent for crop production and improving soil fertility: University of Agriculture and Technology, Pantnagar Nainital, India. Proceedings National Symposium on Sustainable Agricultura in Sub-humid Zone.

Taday, N. 2009. Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) híbrido Quantum a la aplicación de seis dosis de vinaza en un Mollisol. Tesis Ing. Agr. U.C.E – F.C.A. Tumbaco – Pichincha. 83p.

Tejada, M. and J.L. González. 2005. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affect soil properties and yield. Eur. J. Agron 23: 336-347.

Urbano, P. 2002. Fertilización orgánica con vinazas de alcoholera. Vida Rural, 155: 50-52.

Valdés, E., C. Obaya, J. Ramos y O. L. León. 1992. Tratamiento de los residuales de la producción de alcohol mediante el proceso UASB. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA). 32p.

Vera, W (Ed). 1994. Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N°38. Santiago, Chile. 345p.

Vicente N., M. Santos, F. N. Vicente, F. Diáñez, M. De Cara y J.C. Tello. 2007. Vinazas y hongos del suelo. Agroecología 2: 39-45.

## **CAPÍTULO II. EFECTO DE LA VINAZA DE PISCO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL EN PLANTAS DE HABA (*Vicia faba* L.) 'MAJOR' Y VID (*Vitis vinifera*) 'PEDRO JIMÉNEZ'**

### **RESUMEN**

En Chile, la vinaza de pisco es catalogada como desecho industrial, generándose 114.000 m<sup>3</sup> a partir de la producción de 38.000 m<sup>3</sup> de pisco reportados el año 2009. Su composición, rica en nutrientes esenciales (sobre todo potasio) y materia orgánica, ha motivado su estudio para lograr reclasificarla como enmienda orgánica y/o fertilizante para uso agrícola. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la vinaza sobre el crecimiento vegetativo y de raíces en plantas de haba y vid. Se implementaron tres ensayos, diseñados en bloques completamente aleatorizados con diferentes dosis de vinaza: dos ensayos en rizotrones estrella (con plantas de haba 'Major' y vides 'Pedro Jiménez') y otro en macetas con vides 'Pedro Jiménez'. En haba se utilizó una dosis equivalente a 0; 84; 168 y 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, mientras que para vides se usó una dosis equivalente a 0; 168; 336 y 672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, aplicadas en forma diluida en 10 y 20 riegos seguidos, para haba y vid en rizotrón, y 10 riegos seguidos para la vid en maceta, con una frecuencia de riego de tres días para haba y dos días para las vides. Se evaluó peso fresco, seco, largo y diámetro de las raíces; en vides en macetas, adicionalmente, se midió peso fresco y seco de la parte aérea. En haba, hubo un mayor crecimiento del sistema radical con la mayor dosis (336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), aumentando el peso fresco y seco de raíces y el largo y la cantidad de raíces finas, medias y gruesas a medida que aumentó la dosis de vinaza; en vides, en ambos casos, se obtuvo mejores resultados con dosis intermedias (336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza).

**Palabras clave:** Biofertilizante, enmienda orgánica, peso seco, rizotrón.

**CHAPTER II. EFFECT OF PISCO-DERIVED VINASSE ON RADICAL SYSTEM  
GROWTH OF BEAN (*Vicia faba* L.) 'MAJOR' AND GRAPEVINE (*Vitis vinifera*  
L.) 'PEDRO JIMÉNEZ' PLANTS**

**ABSTRACT**

In Chile, the vinasse of pisco, is classified as industrial waste, with 114,000 m<sup>3</sup> generated from the 38,000 m<sup>3</sup> of pisco reported on 2009. Its composition, rich in essential elements (particularly potassium) and organic matter, has incentivated studies in order to generate an eventual reclassification allowing its use as an organic amendment and/or fertilizer for agricultural use. The objective of this research was to evaluate the effect of vinasse on vegetative and root growth of bean and grapevines plants. Three trials were set up using a randomized complete block design with different doses of vinasse; two of them on star shape rhizotrons (with bean plants cv. 'Major' and grapevine plants cv. 'Pedro Jimenez'), and other trial on individual pots using grapevines. For bean plants doses were 0, 84, 168 and 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse, while grapevines doses were 0, 168, 336 and 672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse. All three trials were manually irrigated, applying the vinasse in the first 10 and 20 irrigations in bean and grape in rhizotrons, and 10 first irrigations on grapevines in pots, maintaining a frequency of irrigation of three days for fava bean plants and two days for grapevines. Evaluations on roots included fresh and dry weight, length and diameter, and on grapevines in pots fresh and dry biomass weight were also as evaluated. On bean plants the highest dose (336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) showed the highest root growth, increasing the fresh and dry weight of roots and the length and amount of fine, medium and coarse roots as the doses of vinasse increased; while on grapevines, in both cases, best results were obtained using an intermediate dose (336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse).

**Keywords:** Biofertilizer, dry weight, organic fertilizer, rizohton.

## INTRODUCCIÓN

Las vinazas, subproductos orgánicos líquidos de la destilación de alcohol, han sido consideradas históricamente indeseables debido a sus efectos secundarios, que incluyen la contaminación de ríos, fuentes de aguas subterráneas y mares cercanos a las industrias, generando mortalidad de peces y un grave problema ambiental (Pérez y Garrido, 2008).

En la zona norte de Chile, III y IV regiones, la vinaza proviene de la elaboración del alcohol de uva (pisco), convirtiéndola en un subproducto con inmenso potencial como fertilizante para la agricultura, debido a su composición nutricional, química y biológica. Dada su naturaleza, tiene una particular potencialidad en sistemas productivos orgánicos, pues presenta elementos como potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, además de materia orgánica (Arana, 2010), sin presencia de compuestos sintéticos. Se genera de la destilación del vino, que consiste en separar mediante calor los diferentes componentes líquidos, aprovechando las diferencias de volatilidad de los compuestos. En este proceso, por cada litro de vino destilado, un 25% queda como alcohol y un 75% se convierte en vinaza (CPL, 2006). La vinaza presenta aproximadamente un pH de 3,6, una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de 15.000 mg·L<sup>-1</sup>, un promedio de 0,73 g·L<sup>-1</sup> de potasio; 0,21 g·L<sup>-1</sup> de fósforo y 0,12 g·L<sup>-1</sup> de nitrógeno total (Díez-Rojo, 2010).

En Chile, la vinaza no se utiliza en la agricultura y se considera un Residuo Industrial Líquido (RIL), por lo que previamente se requiere la validación de las ventajas que posee y la comprobación de su bajo riesgo ambiental antes de ser usada en terrenos agrícolas. En la actualidad, se estima que el costo de tratamiento y eliminación para una planta que genera 200 m<sup>3</sup> vinaza al día es de US\$ 300.000 anuales<sup>2</sup>. La alta DBO<sub>5</sub> de la vinaza dificulta su uso, pues la Normativa Chilena 1333, de calidad de aguas de riego, permite aplicar como máximo cantidades de vinaza equivalentes a 112 kg de DBO<sub>5</sub> por hectárea en un día (SAG, 2006). Contrariamente, en Colombia la vinaza es usada como abono orgánico en la producción de caña de azúcar, reemplazando en muchos casos a la fertilización química (Korndorfer *et al.*, 2010; Quintero *et al.*, 2004). En esta línea, Urbano (2002) señala que las vinazas se consideran como enmiendas y fertilizantes orgánicos.

La vinaza es factible de ser utilizada en el rubro agrícola, tanto de forma pura como diluida en el agua de riego, lo que va a depender en gran medida del tipo de suelo, pluviometría de la zona y los requerimientos de potasio del cultivo (Korndorfer *et al.*, 2010). En Colombia y Brasil, se aplica mayormente de forma pura en la caña de azúcar, debido en gran medida a la alta extracción de potasio por parte de este cultivo y a las condiciones climáticas (lluvias) que permiten que

---

<sup>2</sup>Comunicación personal. Nicolás Fernández, Gerente producción de Capel. 12 enero del 2011.

la alta concentración de  $\text{DBO}_5$  incorporada se diluya y que ciertos elementos se lixivien fuera de la zona de raíces, aunque sin considerar por cierto la contaminación que se genera a las aguas subterráneas.

Según Alfaro y Alfaro (1996), la vinaza podría utilizarse sin problemas en la agricultura con un buen manejo, permitiendo beneficiarse de la alta concentración de potasio, nutriente esencial para muchos cultivos. Singh *et al.* (1998), aplicando vinaza con diferentes niveles de  $\text{DBO}_5$  (entre 0 y  $3000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), observaron que  $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  permitieron cultivar sin problemas trigo durante tres años de ensayo, sugiriendo que la vinaza en esas dosis no genera un efecto negativo en la agricultura. Además, señalan que el pH y la conductividad eléctrica del suelo no variaron y, adicionalmente, aumentó el contenido de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. Resultados similares obtuvieron Armengol *et al.* (2003), comparando distintas dosis de vinaza (hasta  $250 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en un cultivo de caña de azúcar, contrastándolos con un tratamiento donde sólo se aplicó agua y otro sólo con fertilización química ( $60,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N,  $25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ ); el tratamiento de  $150 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza generó los mayores rendimientos ( $130,85 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), superando al alcanzado por la fertilización química ( $95,27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Santos *et al.* (2007), evaluando el efecto de la vinaza de vino sobre el peso seco de raíces en pepino dulce (*Solanum muricatum*), con concentraciones de vinaza de 10%, 15% y 20% más dos testigos (uno con agua de riego y otro con fertilización química), observaron un mayor peso seco de las raíces con la mayor concentración de vinaza.

Zulueta *et al.* (2010) manifiestan que los abonos orgánicos mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo, redundando en un aumento de su fertilidad y en la menor aplicación de fertilizantes sintéticos, que son de alto costo. Valverde *et al.* (2004) señalan que la aplicación de vinaza al suelo aporta nutrientes y además mejora las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas. Por su parte, Korndorfer *et al.* (2010) afirman que la vinaza utilizada en dosis moderadas ( $150 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el cultivo de la caña de azúcar no genera problemas en el crecimiento de las plantas.

Debido a la insuficiente investigación que existe en Chile sobre el uso agrícola de la vinaza y, más aún, sobre la respuesta que ésta podría generar sobre el crecimiento de las raíces de las plantas, es necesario su estudio, pues sería interesante utilizarla en beneficio de los productores de pisco, reduciendo, además, el problema ambiental que genera.

### **Hipótesis**

La vinaza (diluida) en agua de riego promueve un mayor crecimiento de raíces en plantas de haba (*Vicia faba* L.) y vid (*Vitis vinifera* L.).

### **Objetivo**

Evaluar el efecto de la vinaza de pisco sobre el crecimiento del sistema radical y vegetativo en plantas de haba 'Major' y vid 'Pedro Jiménez'.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

#### Lugar de estudio

El estudio se realizó en las dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana, (33°34'12"S, 70°38'4"W, a 624 m de altitud) en los años 2010 y 2011. El clima es templado cálido de veranos secos, según la clasificación de Köppen, con una precipitación promedio de 400 mm anuales.

#### Material vegetal

Se utilizaron semillas de haba (*Vicia faba L.*) 'Major', del tipo Aguadulce.

Por otro lado, se utilizaron 40 plantas de vid (*Vitis vinifera L.*) 'Pedro Jiménez' de un año de edad, plantadas ocho en rizotrones tipo estrella y 32 en macetas individuales.

Al momento de la aplicación de los tratamientos, las plantas de estas dos especies no presentaron incidencia de plagas o enfermedades.

#### Vinaza

La vinaza utilizada en este estudio, proveniente de la destilería de la empresa Capel en Punitaqui, presentó un pH de 3,6; una conductividad eléctrica (CE) de 3,7 dS·m<sup>-1</sup>; 1,6% de materia orgánica; 0,89% de carbono orgánico; 0,06% de nitrógeno total; 64 mg·L<sup>-1</sup> de fósforo total; 732 mg·L<sup>-1</sup> de potasio total y una relación C/N de 14,8. La CE del agua de riego utilizada fue de 1,23 dS·m<sup>-1</sup>.

#### Sustrato

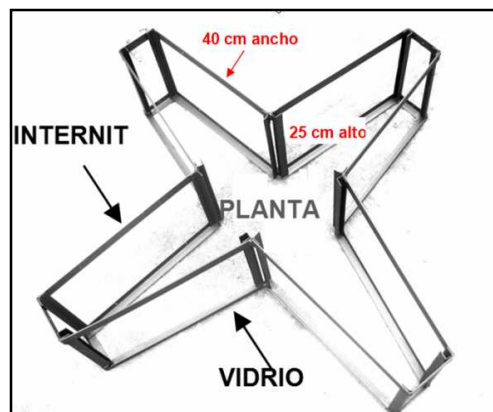
Las semillas de haba se sembraron en suelo perteneciente a la Serie Maipo, Familia franca fina, mixta, térmica de los Fluventic Haploxerolls (CIREN, 1996). El suelo se extrajo de 0-20 cm de un sector de los terrenos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. En el caso de las plantas de vid, una vez que se eliminó completamente el sustrato usado en habas, se utilizó suelo perteneciente a la misma serie más arena en proporciones volumétricas iguales.

El sustrato utilizado para vides presentó 1,9 % de materia orgánica, 40 mg·kg<sup>-1</sup> de nitrógeno, 14 mg·kg<sup>-1</sup> de fósforo y 92 mg·kg<sup>-1</sup> de potasio.

Para el caso del sustrato utilizado en habas, no se realizó análisis químico de suelo.

## Rizotrón

Se utilizaron rizotrones tipo estrella, para evaluar patrones de crecimiento de raíces en cada sector del rizotrón, con distintos tratamientos para el mismo individuo (planta) (Díaz *et al.*, 2010). Esta consiste en una estructura construida en un marco de fierro (perfil laminado de 20 x 20 x 2 mm) compuesta por ocho caras de 25 x 40 cm, las que están unidas en los extremos exteriores por caras de 10 x 25 cm, formando así 4 cuadrantes con un volumen de 10,4 L cada uno (Figura 1). Estos cuadrantes están unidos por sus extremos interiores, constituyendo la forma de estrella del rizotrón. Cada cuadrante posee una cara de vidrio de 8 mm de espesor, para permitir la observación de raíces en el perfil y, por el otro lado, una cara de fibrocemento de 8 mm de espesor, para darle una mayor rigidez a la estructura. La cara de vidrio está cubierta con una lona de color negro, para evitar que la luz y las fluctuaciones de temperatura afecten el crecimiento de las raíces. Cada punta del rizotrón está abierta por abajo, evitando con esto una acumulación excesiva de agua y una saturación en la zona de raíces.



**Figura 1.** Esquema del rizotrón tipo estrella utilizado en el ensayo.

## Metodología

### Tratamientos

Se diseñaron tres ensayos: dos de ellos en rizotrones tipo estrella, con plantas de haba 'Major' y vides 'Pedro Jiménez', y el tercero en macetas de 20 L con vides 'Pedro Jiménez'. Los tratamientos consistieron en dosis crecientes de vinaza, las cuales para el caso del haba se indican en el Cuadro 1, y para las vides en el Cuadro 2.

**Cuadro 1.** Tratamientos en plantas de haba 'Major' en rizotrones tipo estrella.

Tratamiento	Volumen de vinaza ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) equivalente	Volumen vinaza por punta de rizotrón (L)/temporada
T0	0	0
T1	84	0,96
T2	168	1,92
T3	336	3,84 (*)

(\*) Para el caso de T3, se implementó un lavado extra de 4 L de agua (35% del total del volumen de cada punta de 11,4 L) cada 6 días, para evitar la acumulación de sal.

**Cuadro 2.** Tratamientos en plantas de vid 'Pedro Jiménez' en rizotrones tipo estrella y en macetas

Tratamiento	Volumen de vinaza ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) equivalente	Volumen vinaza por punta de rizotrón (L)/temporada
T0	0	0
T1	168	1,92
T2	336	3,84
T3	672	7,68 (*)

(\*) Para el caso de T3, para evitar la acumulación de exceso de sal, se implementaron 7 lavados con 4 L de agua (35% del total del volumen de cada punta de 11,4 L) cada 6 días, en el caso del rizotrón, y 4 lavados de 6 L (30% del total del volumen de cada maceta de 20 L) cada 6 días en el caso de las macetas.

### Diseño experimental

El diseño experimental para los tres ensayos fue en bloques completamente aleatorizados, con cuatro tratamientos de 8 repeticiones cada uno.

La unidad experimental en los ensayos sobre rizotrones correspondió a cada punta de un rizotrón, donde cada rizotrón fue un bloque. Para el ensayo en macetas, la unidad experimental correspondió a una planta y el bloque una fila compuesta por cuatro macetas.

En otoño del 2010, se sembraron 2 semillas de haba (*Vicia faba L.*) en el centro de cada rizotrón, siguiendo la metodología utilizada por Díaz *et al.* (2010) y por Silva y Beeson (2011). Al cabo de 5-6 semanas de crecimiento, se eliminó manualmente sin dejar residuos de raíces la planta más pequeña dejando la más vigorosa en cada rizotrón. Durante los eventos de lluvia, cada punta de los rizotrones se mantuvo tapada con plástico, para evitar posibles efectos de las lluvias sobre los resultados.

Se enterraron trozos de acrílico de 20 x 25 cm en la parte proximal de cada punta del rizotrón y a 10 cm de profundidad, para impedir que se mezclaran las distintas soluciones de vinaza (Díaz *et al.*, 2010).

Previo a la aplicación de los tratamientos, las plantas seleccionadas recibieron igual manejo de riego. La vinaza de cada tratamiento se subdividió en 10, por lo que las aplicaciones (10 en total) comenzaron el día 10 de agosto (inicios de floración) y se extendieron hasta el 14 de septiembre, regándose cada 3 días con 764,4 cm<sup>3</sup> de solución/punta. Treinta días después de la última aplicación, coincidiendo con la cosecha (14 de octubre), se realizaron las evaluaciones.

A mediados de primavera (20 de noviembre), se plantaron vides (*Vitis vinífera*) 'Pedro Jiménez' en ocho rizotrones. Se reemplazó completamente el sustrato del ensayo previo (habas) por uno más arenoso (arena y suelo agrícola perteneciente a la Serie Maipo en proporciones volumétricas iguales) y al igual que en el primer ensayo, se utilizaron trozos de acrílico de 20 x 25 cm para impedir que las distintas soluciones de agua con vinaza se mezclaran. La vinaza de cada tratamiento se subdividió en 20, por lo que las aplicaciones (20 en total) comenzaron el día 27 de noviembre y terminaron el 3 de enero, regándose cada 2 días con 674 cm<sup>3</sup> de solución/punta. El volumen de la solución total por riego evitó la percolación y pérdida de vinaza. Luego de 66 días desde la última aplicación, se realizaron las evaluaciones.

Paralelamente al segundo ensayo, se establecieron plantas de vid (*Vitis vinifera*) 'Pedro Jiménez', en macetas de 20 L. La vinaza de cada tratamiento se subdividió en 10, por lo que las aplicaciones (10 en total) comenzaron el 27 de noviembre y terminaron el 20 de diciembre, regándose cada 2 días con 1455 cm<sup>3</sup> de solución/maceta. Las evaluaciones se realizaron 27 días después de la última aplicación.

Se utilizó un conductivímetro (HANNA, HI 4321) para medir la CE en dS·m<sup>-1</sup> de la solución agua:vinaza a distintas concentraciones de vinaza (10 a 100%), para

determinar el aporte salino de la solución aplicada a cada tratamiento en habas, vides en rizotrófon y macetas (Apéndice I, figuras 1, 2 y 3, respectivamente).

En los tres ensayos no se realizó ningún otro tipo de fertilización ni aplicaciones fitosanitarias.

## **Evaluaciones**

### **Peso fresco y seco de raíces**

Se utilizó un harnero para recuperar la totalidad de las raíces de cada tratamiento, disponiendo el volumen total del sustrato, las que fueron lavadas y pesadas en una balanza de sobremesa (UWE, MII-6000), expresándolas en gramos. Luego de un secado a estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante, se obtuvo el peso seco.

Las raíces se clasificaron según su diámetro, y se pesaron las raíces finas, medias y gruesas. Esto se realizó según la clasificación de Williams y Smith (1991), clasificándolas en: finas (menores a 1 mm de diámetro), medias (entre 1-2 mm de diámetro) y gruesas (mayores a 2 mm de diámetro).

Para las vides en macetas, junto con pesar las raíces, se pesó la totalidad de la biomasa aérea. Luego, las muestras fueron llevadas a secado en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante, donde se obtuvo el peso seco.

### **Largo de raíces**

Se estimó el largo de raíces utilizando la metodología descrita por Van Zyl (1988), utilizando una cartulina con cuadrículas de 3 x 3 cm, donde se dispuso las raíces al azar para estimar el largo de través de la fórmula:

Largo raíces (cm) = 0,786 x N° de intersecciones de las raíces con las cuadrículas x lado cuadrado (cm).

### **Análisis estadístico**

Para los tres ensayos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con la verificación previa de los supuestos sobre los términos del error. Se utilizó la prueba de Anderson-Darling para verificar el supuesto de normalidad, y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas. En caso de que los supuestos no se cumplieran, se transformaron las variables originales. Cuando se detectaron diferencias, la separación de las medias se realizó con la prueba de comparación múltiple de Tukey, al 5% de significancia, utilizando el programa Minitab Release ®.

Por otro lado, se realizaron análisis de regresión con un 5% de significancia, entre las dosis de vinaza y las propiedades evaluadas, utilizando el programa SigmaPlot 11.0.

## RESULTADOS

### Habas

El crecimiento del sistema radical de las plantas de habas respondió positivamente a la dosis de vinaza (Peso seco  $R^2 = 0,5034$ ,  $p < 0,05$ , largo  $R^2 = 0,5131$ ,  $p < 0,05$ ) (figuras 2 y 3). Las dosis de 168 y 336  $m^3 \cdot ha^{-1}$  de vinaza presentaron mayor peso fresco que el testigo, diferenciándose estos dos entre ellos. En relación al peso seco de raíces, solamente la dosis más alta se diferenció respecto del testigo (Cuadro 3).

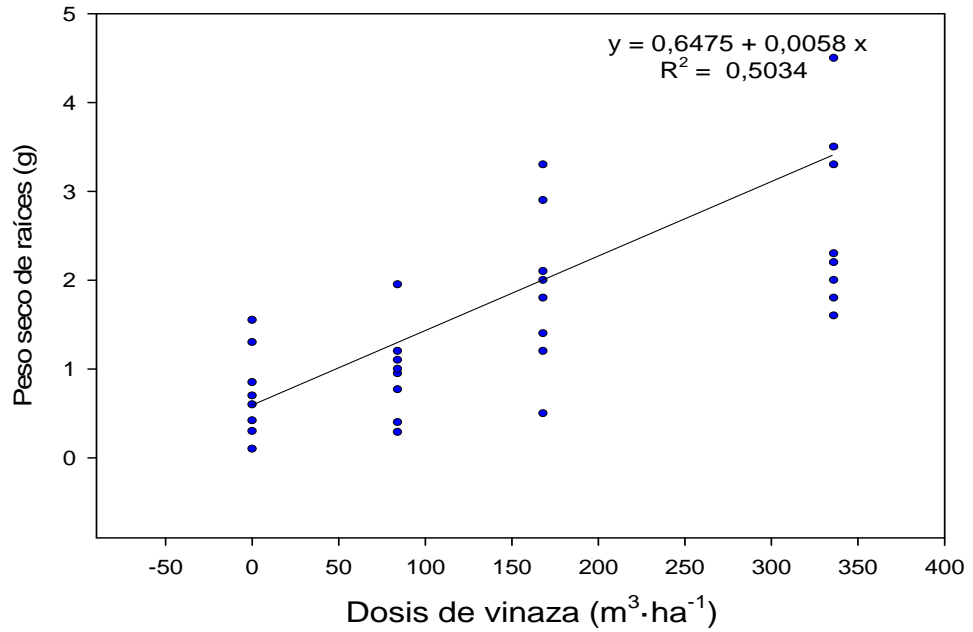
Se detectó un mayor largo de raíces en comparación al testigo con 168 y 336  $m^3 \cdot ha^{-1}$  de vinaza, diferenciándose estos dos tratamientos entre si (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Peso fresco, seco y largo de raíces para distintas dosis de vinaza en plantas de haba 'Major'.

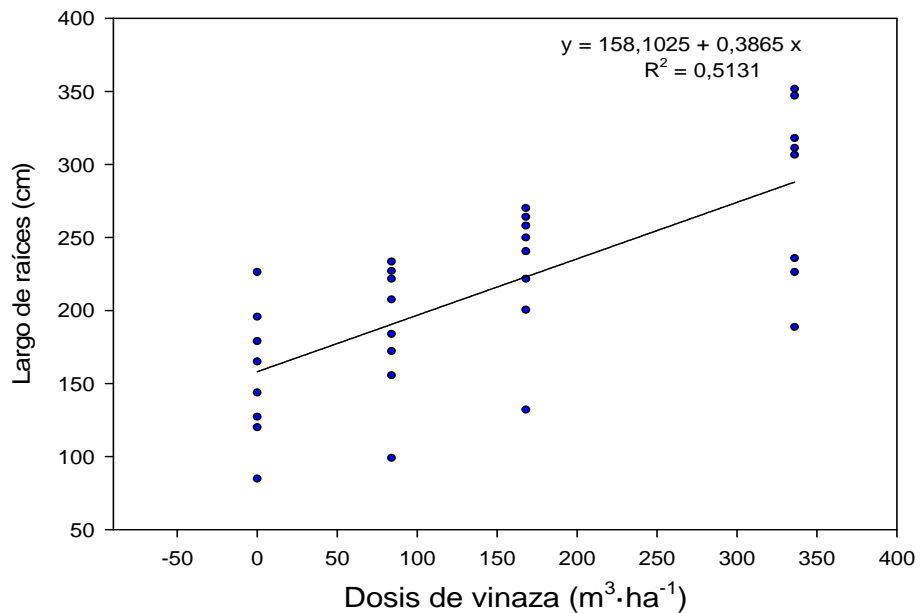
Tratamiento ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ )	Peso raíces (g)		Largo de raíces (cm)
	Fresco	Seco	
T0 (0)	3,5 ± 2,1 a	0,73 ± 0,5 a	157,9 ± 46,5 a
T1 (84)	4,8 ± 1,4 a	1,22 ± 0,3 a	186,8 ± 44,6 a
T2 (168)	10,0 ± 4,6 b	1,90 ± 0,9 ab	229,0 ± 45,0 b
T3 (336)	15,4 ± 7,2 c	3,28 ± 2,8 b	285,9 ± 61,2 c

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.



**Figura 2.** Peso seco de raíces en plantas de haba como función de la dosis de vinaza, en m³·ha⁻¹ equivalente.



**Figura 3.** Largo de raíces en plantas de haba como función de la dosis de vinaza, en m³·ha⁻¹ equivalente.



También se observó una mayor cantidad de raíces para cada uno de los tipos medidos, finas, medias y gruesas con  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Peso fresco de raíces de plantas de haba ‘Major’ con distintas dosis de vinaza separadas según su diámetro.

Tratamiento ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ )	Peso de raíces (g)		
	Finas ( $< 1 \text{ mm}$ )	Medias ( $1-2 \text{ mm}$ )	Gruesas ( $> 2 \text{ mm}$ )
T0 (0)	$1,56 \pm 0,5 \text{ a}$	$1,22 \pm 0,4 \text{ a}$	$0,72 \pm 0,2 \text{ a}$
T1 (84)	$2,21 \pm 0,4 \text{ a}$	$1,33 \pm 0,2 \text{ a}$	$1,16 \pm 0,5 \text{ a}$
T2 (168)	$3,71 \pm 0,6 \text{ ab}$	$2,59 \pm 0,5 \text{ a}$	$3,70 \pm 0,6 \text{ ab}$
T3 (336)	$6,35 \pm 1,3 \text{ b}$	$4,05 \pm 0,6 \text{ b}$	$5,00 \pm 0,7 \text{ b}$

Valores con letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

### Vid en rizotrones

Los dos tratamientos con más vinaza,  $336$  y  $672 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , presentaron diferencias significativas en peso fresco de raíces respecto del testigo, pero no para el peso seco, donde solamente  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza presentó diferencias significativas (Cuadro 5). Lo mismo ocurrió para el largo de raíces, donde solamente la dosis de  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza se diferenció del testigo, situación generada principalmente por la mayor cantidad de raíces finas y medias (Cuadro 6). Para el peso seco de raíces en función de la dosis de vinaza, se obtuvo un  $R^2 = 0,3038$  ( $p < 0,05$ ), y para el largo un  $R^2 = 0,3103$  ( $p < 0,05$ ) (Apéndice I, figuras 4 y 5). Ambas variables presentaron un comportamiento parabólico, siendo el mejor ajuste de tipo exponencial, en que la dosis mayor de vinaza generó una disminución del desarrollo de raíces.

**Cuadro 5.** Peso fresco, seco y largo de raíces para distintas dosis de vinaza en plantas de vid ‘Pedro Jiménez’ en rizotrones tipo estrella.

Tratamiento ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ )	Peso de raíces (g)		Largo de raíces (cm)
	Fresco	Seco	
T0 (0)	$1,68 \pm 1,2 \text{ a}$	$0,61 \pm 0,5 \text{ a}$	$67,8 \pm 30,1 \text{ a}$
T1 (168)	$3,14 \pm 1,9 \text{ ab}$	$1,18 \pm 0,8 \text{ ab}$	$87,8 \pm 35,8 \text{ ab}$
T2 (336)	$4,26 \pm 1,7 \text{ b}$	$1,60 \pm 0,7 \text{ b}$	$123,8 \pm 34,4 \text{ b}$
T3 (672)	$3,42 \pm 1,2 \text{ b}$	$1,30 \pm 0,6 \text{ ab}$	$89,3 \pm 15,9 \text{ ab}$

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

En relación al tipo de raíces, se observó una mayor cantidad de raíces finas y medias con respecto al testigo cuando se utilizó la dosis de 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza. No hubo diferencias significativas para las raíces gruesas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Peso fresco de raíces de plantas de vid ‘Pedro Jiménez’ con distintas dosis de vinaza separadas según su diámetro.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Peso de raíces (g)		
	Finas (< 1 mm)	Medias (1-2 mm)	Gruesas (> 2 mm)
T0 (0)	0,38 ± 0,2 a	0,53 ± 0,3 a	0,78 ± 0,6 n.s
T1 (168)	0,73 ± 0,4 a	1,13 ± 0,7 ab	1,28 ± 1,3 n.s
T2 (336)	1,44 ± 0,5 b	1,36 ± 0,8 b	1,46 ± 0,5 n.s
T3 (672)	0,79 ± 0,2 a	0,96 ± 0,5 ab	1,67 ± 0,9 n.s

Valores con letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

ns = Andeva no detectó diferencias significativas.

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

### Vid en macetas

Las vides en macetas muestran claramente que la dosis mayor (672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), tendió a deprimir el crecimiento de raíces en relación al tratamiento de 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, presentando un comportamiento similar al testigo, pero con la diferencia que en este caso, además, deprimió el crecimiento de la parte aérea, observándose en las hojas basales una tenue amarillez.

La dosis de 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza generó el mayor peso fresco de raíces en comparación al testigo y a la mayor dosis, manteniéndose esta diferencia respecto del testigo para peso seco (Cuadro 7). Esta variable presentó también una tendencia parabólica con respecto a la dosis de vinaza, con un  $R^2 = 0,3621$  ( $p < 0,05$ ) (Apéndice I, Figura 6). En relación al largo de raíces, solamente la dosis de 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza se diferenció estadísticamente del testigo, observándose que la dosis mayor inhibió el crecimiento (Cuadro 7). Para largo de raíces, se obtuvo un  $R^2 = 0,2585$ ,  $p < 0,05$  (Apéndice I, Figura 7).

**Cuadro 7.** Peso fresco y seco de raíces de plantas de vid ‘Pedro Jiménez’ con distintas dosis de vinaza.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Peso de raíces (g)		
	Fresco	Seco	Largo de raíces (cm)
T0 (0)	48,7 ± 7,0 a	14,1 ± 3,3 a	328 ± 49,1 a
T1 (168)	56,7 ± 8,6 ab	16,7 ± 2,7 ab	359 ± 57,2 a
T2 (336)	61,6 ± 3,1 b	19,3 ± 2,2 b	407 ± 48,4 b
T3 (672)	48,4 ± 9,5 a	15,9 ± 7,1 ab	354 ± 82,8 a

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

Para el peso fresco de raíces finas, las dosis de 168 y 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza se diferenciaron del testigo (Cuadro 8), presentando un mayor valor en relación a la dosis de 672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza. Para las raíces medias y gruesas no hubo diferencias.

**Cuadro 8.** Peso fresco de raíces de plantas de vid ‘Pedro Jiménez’ con distintas dosis de vinaza, separadas según su diámetro.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Peso de raíces (g)		
	Finas (< 1 mm)	Medias (1-2 mm)	Gruesas (> 2 mm)
T0 (0)	14,7 ± 2,2 a	14,4 ± 2,6 n.s	19,9 ± 6,2 n.s
T1 (168)	16,6 ± 2,0 b	12,0 ± 4,9 n.s	28,0 ± 5,8 n.s
T2 (336)	17,3 ± 1,6 b	14,4 ± 2,4 n.s	28,6 ± 3,1 n.s
T3 (672)	11,4 ± 4,4 a	13,6 ± 3,4 n.s	23,3 ± 7,6 n.s

Valores con letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

ns = Andeva no detectó diferencias significativas.

\*Valores entre paréntesis indican la desviación estándar.

La dosis más alta (672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) mostró un menor crecimiento comparado con el tratamiento 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, siendo similar al testigo, evidenciando que la vinaza, cuando es utilizada en vid en cantidades altas, se volvería contraproducente para el óptimo desarrollo de las raíces.

En el caso del peso fresco de la parte aérea, no hubo diferencias entre el testigo y las dosis de 168 y 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, mientras que la dosis más alta deprimió el crecimiento, situación no observada en el peso seco, donde no hubo diferencias entre los tratamientos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Peso fresco y seco de la parte aérea de plantas de vid 'Pedro Jiménez' en macetas con distintas dosis de vinaza.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Peso parte aérea (g)	
	Fresco	Seco
T0 (0)	55,6 ± 8,8 b	16,9 ± 3,7 n.s
T1 (168)	50,6 ± 7,2 ab	15,6 ± 2,2 n.s
T2 (336)	58,3 ± 5,4 b	18,3 ± 1,9 n.s
T3 (672)	43,1 ± 7,5 a	15,9 ± 3,8 n.s

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).  
ns = Andeva no detectó diferencias significativas.

Para las vides en macetas la dosis mayor deprimió el crecimiento de raíces en relación al tratamiento de 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, presentando un comportamiento similar al testigo y deprimiendo el crecimiento de la parte aérea al igual que en los rizotrones, observándose en las hojas basales una tenue amarillez.

Los resultados en vid evidencian que para esta especie una dosis mayor a 336 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, bajo las condiciones de este ensayo, afecta negativamente el crecimiento, tanto de la parte aérea como de las raíces. Este resultado podría deberse, en parte, al aporte salino de la vinaza, el cual es directamente proporcional a su concentración en el agua de riego, perjudicando la absorción de agua de las raíces y deprimiendo el crecimiento mientras mayor sea la CE.

## DISCUSIÓN

En el caso de las habas, el mayor crecimiento de raíces en los tratamientos con vinaza (Apéndice I, Figura 8) podría explicarse debido al efecto de un conjunto de factores, entre los que destaca el potasio aportado por este material, nutriente que mejora la nodulación y fijación del nitrógeno, debido a que favorece la proliferación de rizobios en la solución del suelo (Lie, 1984). Según Knott *et al.* (1994), las plantas de haba responden más a aportes de K que de P, afirmando que la importancia de este nutriente es participar como activador enzimático en el balance hídrico, la fotosíntesis y la síntesis de ATP (Ruiz y Sadzawka, 2005). Adicionalmente, la vinaza de pisco también posee niveles de Ca importantes (Arana, 2010), elemento necesario para una eficaz fijación del N en las leguminosas (Jaramillo, 2010).

El nitrógeno aportado por la vinaza podría explicar el positivo crecimiento de la biomasa aérea (datos no mostrados), pues Crawford *et al.*, (1997) y Ortiz *et al.*, (1984) reportan que el N incrementa la materia seca del cultivo de haba, en tanto que Escalante (1995) señala que la fertilización nitrogenada es una de las más importantes para este cultivo sobre todo al inicio (establecimiento) y dentro de ciertos rangos, participando además en el crecimiento radical acumulándose en los nódulos, de lo contrario se inhibe la nodulación.

Por su parte, el fósforo aportado por la vinaza también podría haber ayudado a generar un mayor crecimiento de raíces en habas debido a la buena localización de este en el suelo, ya que se trabajó en macetas, aunque existen autores que señalan que estimularía más bien el desarrollo radical inicial (Ortiz, 1988). El P es requerido en alta cantidad por este cultivo (Faiguenbaum, 2003) y puede fijarse al suelo con gran fuerza, dificultando su absorción por las plantas, pero si se aplica de forma localizada es altamente aprovechado por una leguminosa (Montes, 1997).

Adicionalmente, el aporte de materia orgánica (MO) de la vinaza (1,6%) también puede favorecer un mayor crecimiento de raíces (Morlat y Jacquet, 1993; Singh *et al.*, 1998), pues favorece la formación de una porosidad de tamaño mediano, mejorando la aireación del suelo. Además, la MO aumenta la capacidad de intercambio catiónico, con lo cual se reduce la pérdida por lixiviación de elementos como potasio, calcio y magnesio (Vera, 1994). Zhang *et al.* (1997) mencionan que las enmiendas orgánicas, además, son importantes porque ayudan a estabilizar la estructura y a prevenir la compactación del suelo.

Por lo general, los nutrientes esenciales son aportados al suelo vía fertilizantes químicos, los cuales reducen la actividad de los microorganismos del suelo, ya que, como es posible su absorción directa, se produce un ahorro significativo de

energía comparado con procesos de fijación de N o solubilización de P; así, el N soluble inhibe la fijación de N y el P soluble disminuye la eficiencia de las micorrizas en plantas de haba (Céspedes, 2005). En este sentido, la vinaza podría ser una interesante alternativa nutricional para el haba, que requiere suelos fértiles y ricos en materia orgánica (Faiguenbaum, 2003), generando, además, una mayor actividad de microorganismos benéficos del suelo.

Santos *et al.* (2007), trabajando con pepino dulce, obtuvieron resultados similares a los obtenidos con habas, ya que hubo un incremento en el peso seco de las raíces a medida que la concentración de vinaza fue mayor (hasta 20% en la solución). El mayor largo de raíces obtenido en habas es positivo, pues Hirzel (2008) señala que con mayores densidades de largo radical ( $\text{km}\cdot\text{m}^3$ ), existe una mayor capacidad para captar nutrientes y, por ende, mayor producción.

En las vides, el mayor crecimiento con  $336 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza (Apéndice I, figuras 9 y 10) podría también explicarse por la presencia de nutrientes y MO aportados por la vinaza. Al respecto, Tworkoski *et al.* (2004) señalan que la mayor presencia de nutrientes en el suelo promueve el crecimiento de las raíces de plantas jóvenes de *Prunus persica*, lo que favorece el establecimiento inicial del cultivo. Para el caso de la dosis más alta, como se discutirá más adelante, existiría un efecto salino que afectó el crecimiento de la planta.

El sustrato, inicialmente, presentó un bajo contenido de K ( $92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), por lo que la vinaza pudo haber elevado los niveles de este elemento en el suelo. Hirzel (2008) señala que un adecuado nivel de K en el suelo provoca en vides un mayor aumento en el peso de la raíz que en la generación de biomasa aérea.

La mayor cantidad de raíces finas con esta misma dosis es positivo, ya que en vides las raicillas que derivan de raíces menores a 2 mm de diámetro son las más importantes en términos de la absorción de agua y nutrientes (Mullins *et al.*, 1992). Según Ruiz (2000), la calidad del sistema radical define en gran medida el desarrollo y vigor de las vides, así como los niveles productivos de los huertos.

Los resultados de peso fresco de raíces con la dosis de  $336 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza son similares al estudio de Díez-Rojo (2010), quien evaluó el peso fresco de raíces en plantas de tomate con dosis de 1; 3 y 5 mL de vinaza por maceta de 250 g, detectando el mayor valor con la dosis media. Similares resultados obtuvo Jaramillo (2010), quien utilizó entre 25 y  $125 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza sobre mezclas forrajeras y un tratamiento de fertilización química ( $133; 40$  y  $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ). La dosis de  $125 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza generó los mayores rendimientos de materia fresca y seca ( $152,3$  y  $26,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  al año), siendo similar al rendimiento fresco obtenido con la fertilización química ( $150,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  al año).

En vides, que evidenciaron una tenue amarillez en las hojas, el efecto acumulado de sales en el suelo, producto del riego con vinaza con la dosis de  $672 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$

(56% de vinaza en la solución de riego en rizotrones y 52% en macetas), a pesar del lavado incorporado a este tratamiento, explicaría el efecto detrimental en el crecimiento de raíces y peso fresco aéreo debido a una posible alza de la salinidad del suelo. Los valores de CE de estas soluciones (2,61 y 2,51  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  para el rizotrón y la maceta respectivamente), mas el aporte salino del suelo, superan el nivel crítico de CE para la vid (1,5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) (Hoffman y Shannon, 2007). Una alta concentración de sales en el agua provoca una disminución del potencial hídrico del agua del suelo, dificultando su paso al interior de las raíces (Martínez *et al.*, 2011). Según Parés *et al.* (2008), la salinidad origina reducción de la fotosíntesis, y dificulta procesos como la conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas y puede provocar un desbalance nutricional, originando, tal como en este estudio, plantas más pequeñas con entrenudos cortos. En los suelos salinos se reduce la disponibilidad y, por tanto, la absorción y transporte de algunos elementos esenciales, disminuyendo además la traslocación de K y Ca, elementos requeridos en el suelo para mantener la selectividad y la integridad de la membrana celular de la raíz (Madueño-Molina *et al.*, 2006). Al respecto, Bengough *et al.* (2006) señalan que un simple estrés, o la combinación de varios de ellos debido a condiciones del suelo, pueden limitar el crecimiento de las raíces. Si las plantas de haba hubiesen sido sometidas a la mayor dosis utilizada en vides, probablemente se habría generado una tendencia a un menor crecimiento de raíces, ya que, según FAO (2006), el haba tolera un máximo de 1,5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  sin afectar su rendimiento.

Si bien es cierto que el haba y la vid presentan una tolerancia a la salinidad bastante similar (1,5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) (FAO, 2006), los resultados de este estudio parecen indicar que las plantas de haba tendrían una mayor tolerancia a la CE respecto a la vid, pues las primeras evidenciaron una mayor cantidad de materia seca de raíces con la dosis de 336  $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza, lo que no ocurrió en vides para esta misma dosis. La CE del sustrato en haba en la dosis más alta (336  $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ) al día siguiente del séptimo riego con vinaza, fue de 2,5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , sugiriendo que estas podrían tolerar mayores niveles de CE que lo señalado por la literatura, sin sufrir problemas en el crecimiento. En función de esto, y considerando los valores de CE de la solución de riego con la mayor dosis para vides jóvenes, habría que considerar un manejo distinto, como aplicar vinaza alternadamente en los riegos y/o utilizar dosis menores.

En este sentido, para la mayor dosis en vides, la cantidad de agua aplicada como fracción de lavado en rizotrones (4 L) y en macetas (6 L) debió haber sido mayor, pues Arévalo (2010), estudiando en pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) el nivel de salinización del sustrato en macetas según el volumen de riego, con una CE del agua de riego similar a la de este estudio, señala que para macetas de 1,9 L se requiere un volumen de lavado de 0,9 L de agua para reducir la salinización, y que existe una asociación directa entre la CE del lixiviado y la salinización del sustrato. En dicho estudio se utilizó como sustrato arena y corteza de pino, el cual presenta una alta macroporosidad, la que permite una velocidad de infiltración mayor, lo

que sugiere que en el presente estudio la fracción de lavado debió ser aún mayor, pudiendo fluctuar entre un 50-60% del volumen de la maceta (hasta 12 L de agua en macetas de 20 L).

Por otro lado, el alto valor de  $\text{DBO}_5$  asociado a la dosis máxima en vides ( $2.438 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por día), y que supera al máximo permitido en Chile (SAG, 2006), impidió el normal crecimiento de las raíces (Apéndice I, figuras 9 y 10) debido al ambiente reducido generado en el suelo (Doelsch *et al.*, 2009; Glória y Mattiazo, 1987), por la disminución de los niveles de  $\text{O}_2$ , elemento fundamental para el crecimiento de las raíces (Gregory, 2006).

La vid 'Pedro Jiménez' (utilizada en este estudio) es la más plantada en la IV Región del país, zona donde se genera el mayor volumen de vinaza de pisco. Esta variedad no presenta una exigencia extrema de suelo, y requiere niveles moderados a bajos de nutrientes, especialmente de N y P; además, se puede desarrollar en zonas con contenidos moderados a bajos de MO (Sierra, 2003). En este sentido, una dosis de  $336 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza aporta  $29,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N,  $273 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K y  $18,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P; sin embargo, esta dosis es elevada debido a la alta cantidad de K que puede aportar al suelo. En esta línea, concordando con Korndorfer *et al.* (2010), es recomendable que las dosis varíen de acuerdo al contenido de K en el suelo, pues mientras mayor sea su contenido, menores serán los requerimientos de vinaza.

Los estudios en raíces, en general, son escasos, debido principalmente a las dificultades prácticas y metodológicas que se presentan en este tipo de investigaciones (Rojo *et al.*, 2012; Honorato *et al.*, 1990). Por esta razón, es necesario seguir evaluando el efecto de la vinaza, como enmienda orgánica, sobre las raíces y otros parámetros de interés, idealmente en terreno, para determinar la posibilidad de disminuir la aplicación de fertilizantes químicos, los que utilizados en exceso pueden contaminar el suelo, las aguas superficiales y subterráneas. Además, aplicaciones excesivas de estiércol y purines (muy utilizados en la III y IV Región) pueden provocar contaminación de aguas superficiales con nitratos y fosfatos, como también de aguas subsuperficiales con nitratos (Céspedes, 2005). Debido a esto, el uso de la vinaza como fuente de K y otros nutrientes, aplicada en forma racional, puede convertirse en una alternativa a la fertilización química, sin implicar riesgos ambientales por lixiviación de nutrientes o alta  $\text{DBO}_5$ .

Estos ensayos, desarrollados en condiciones controladas, muestran que el uso de hasta  $336 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de vinaza no generan efectos colaterales negativos que puedan indicar que su uso es contraproducente para los cultivos. Por el contrario, se promueve el crecimiento de raíces, generando una mejor condición de crecimiento para las plantas, tal como lo mencionan Valverde *et al.* (2004) en brócoli (*Brassica oleracea L.*), maíz (*Zea mays*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*), bajo condiciones de invernadero, no observando diferencias en el rendimiento de materia seca con dosis crecientes de vinaza (0 a  $125 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ), respecto de un tratamiento de



fertilización química ( $133-40-30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de  $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ) y un testigo (solo agua de riego).

## CONCLUSIONES

Para tratamientos de riego con dosis crecientes de vinaza en cultivos de haba y vid establecidos en macetas, los resultados permiten concluir que:

- La aplicación de vinaza en conjunto con el riego fue efectiva en promover un mayor desarrollo de raíces en haba y vid.
- El desarrollo de raíces aumentó linealmente en plantas de haba, hasta  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  equivalente.
- En vides, la dosis mayor ( $672 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  equivalente), resultó perjudicial sobre el desarrollo de raíces en vides.
- En vides, la fracción de lavado fue insuficiente para contrarrestar el efecto acumulado de sales en el suelo, por lo que se debió aplicar un volumen mayor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, R. y J. Alfaro. 1996. Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales 3: 175.

Arana, R. 2010. La vinaza, de contaminante a fertilizante. Agencia Universitaria de Periodismo Científico, AUPEC. Disponible en: [http://aupec.univalle.edu.co/informe\\_s/junio96/vinaza.html](http://aupec.univalle.edu.co/informe_s/junio96/vinaza.html). Leído el 14 de marzo del 2011.

Armengol, J.E., R. Lorenzo y N. Fernández. 2003. Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia en las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de la caña de azúcar. Cultivos Tropicales 24 (3): 67-71.

Arévalo, M. 2010. Factores condicionantes de la retención de agua y la salinización del sustrato en la producción de plantas en contenedores. Tesis de Magíster. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 73p.

Bengough, A.G., M. F. Bransby, J. Hans, S. J. Mckenna, T. J. Roberts, and A. Valentine. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. J. Exp. Bot. 57 (2): 437-447.

Céspedes, C. 2005. Agricultura orgánica: principios y prácticas de producción. 131 ed. Centro Regional de Investigación Quilamapu. 131p.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación N°115. Santiago, Chile. 425p.

CPL (Consejo de Producción Limpia). 2006. Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera III y IV Región: Chile produce limpio. Disponible en < [http://www.produccionlimpia.cl/medios/documentos/APL\\_Pisco\\_.pdf](http://www.produccionlimpia.cl/medios/documentos/APL_Pisco_.pdf). Leído el 8 de junio del 2012.

Crawford, M. C., P. R. Grace, W. D. Bellotti and J. M. Oades. 1997. Root production of a barrel medic (*Medicago truncatula*) pasture, a barley grass (*Hordeum leporinum*) pasture, and a fababean (*Vicia faba*) crop in Southern Australia. Aust. J. Agric. Res. 48: 1139-1150.

Díaz, M., R. Callejas y J. Haberland. 2010. Evaluación del contenedor rizotrópico tipo estrella para el estudio de raíces: efecto del umbral efecto de la compactación diferencial del suelo sobre el crecimiento de raíces en vid. Simiente 80: 116.

Díez-Rojo, M. A. 2010. Efecto de las vinazas sobre los nematodos del suelo *Meloidogyne arenaria* y *Xiphinema index*. Tesis (Doctorado) – Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid. 409p.

Doelsch, E., A. Maison, P. Cazevielle and N. Condom. 2009. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture on aerobic or anaerobic incubation. *Waste Management* 29: 1929-1935.

Escalante E. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 1: 28-32.

Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ediciones Vivaldi y Asociados, Santiago, Chile. 760p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Publicación FAO N°56, Roma, Italia. 300p.

Glória, N.A and M.E. Mattiazzo. 1987. Effect of vinasse on soil acidity. *Water Science and Technology*, Oxford 19: 1293-1296.

Gregory, P. 2006. Plant roots, growth, activity and interaction with soils. Editorial Blackwell Publishing, Australia. 138p.

Hirzel, J. C. 2008. Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección libros INIA N°24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu. 296p.

Hoffman, G and M. Shannon. 2007. Salinity pp: 131-160. *In: Microirrigation for crop production*. F.R Lamm, J.E Ayars and F.S Nakayama (Editors).

Honorato, R., H. Silva y C. Bonomelli. 1990. Productividad de parronales de la Región Metropolitana y sus relaciones edáficas. *Ciencia e Investigación Agraria* 17(3): 133-143.

Jaramillo, R. 2010. Efecto de la vinaza, en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un andisol. Tesis (Doctorado) – Escuela Politécnica Nacional, Quito. 88p.

Knott, C., A. Biddle and B. McKeown. 1994. The PGRO Field Bean Handbook. Processors and Growers Research Organisation, Peterborough, England. 178p.

Korndorfer, G.H., A. Nolla y J. M. Ailton. 2010. Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. Instituto de Ciencias Agrarias, Universidad Federal de Uberlandia. *Tecnicaña* 24: 23-28.

Lie, T. 1984. Environmental effects on nodulation and symbiotic nitrogen fixation. In: A. Quispel (Ed). *The biology of nitrogen fixation*. Oxford, North-Holland Public: 38-52.

Madueño-Molina, A., D. García-Paredes, J. Martínez-Hernández y C. Rubio-Torres. 2006. Germinación y desarrollo de plántulas de frijolillo *Rynchosia minima* (L) DC en condiciones de salinidad. *Cultivos Tropicales* 24: 47-54.

Martínez, N., C. López, M. Basurto y R. Pérez. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia* 3: 156-161.

Montes, M.J. 1997. Componentes de rendimiento y parámetros fisiológicos en 4 variedades de haba *Vicia faba* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 107p.

Morlat, R. and A. Jacquet. 1993. The soil effects on the grapevine roots system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis* 32: 35-43.

Mullins, M. G., A. Bouquet and L. E. Williams. 1992. *Biology of the grapevine*. Ed. Michael G. Mullins. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 252p.

Ortiz, C., J. E. Solórzano y L. E. Mendoza. 1984. Comportamiento de caracteres agronómicos y fisiotécnicos de diez colecciones de haba (*Vicia faba* L.) bajo diferentes condiciones ambientales. *Agrociencia* 55: 101-114.

Ortiz, C. 1988. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Floradade. Universidad Autónoma de Nueva León. Tesis para obtener el grado en Ciencias. México. 87p.

Parés, J., M. Arizaleta, M.E. Sanabria y G. García. 2008. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. *Acta Botánica de Venezuela* 31: 27-34.

Pérez, I. y N. Garrido. 2008. Ingeniería química. Tratamiento de aguas residuales; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (Tratamiento de efluentes de la industria alcoholera). 148-153.

Quintero, R., S. Cadena y C. Briceño. 2004. Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinazas. *Cenicaña* 17: 1-11.

Rojo, E., R. Callejas., C. Benavidez-Zabala y E. Kania. 2012. Crecimiento y distribución de las raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de uva de mesa. *Agrociencia* 46: 23-35.

Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agric. Téc* 60: 379-398.

Ruiz, R. y A. Sadzawka. 2005. Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Colección libros INIA N° 14. 79p.

SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). 2006. Guía para proyectos de industrias vitivinícolas que aplican riles al suelo. Disponible en: <https://www.e-seia.cl/archivos/20081001.001346.pdf>. Leído el 12 de agosto del 2010.

Santos, M., F. Diáñez, F. Carretero, M. García-Alcázar, M. De Cara y J.C. Tello. 2007. Efecto de la aplicación de vinaza de vino como biofertilizante y en el control de enfermedades en el cultivo de pepino. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, VIII Congreso SEAE de Agricultura y Alimentación Ecológica. Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Almería 2: 58-66.

Sierra, C. 2003. Fertilización de cultivos y frutales en la zona norte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). INIA N°97. 72p.

Silva, D. and R. C. Jr. Beeson. 2011. A large-volume rhizotron for evaluating root growth under natural-like soil moisture conditions. *Hortscience* 46 (12): 1677-1682.

Singh, Y., M. S. Gangwar, B. S. Mahapatra, P. C. Srivastava, A. Kulshreshtha, R. B. Manihar, S. K. Mishra, M. K. Dasgupta, D. C. Ghosh, D. K. Majumdar, G. N. Chattopadhyay, P. K. Gangulli, P. S. Munsu and D. Bhattacharya. 1998. Utilization of distillery effluent for crop production and improving soil fertility: University of Agriculture and Technology, Pantnagar Nainital, India. Proceedings National Symposium on Sustainable Agriculture in Sub-Humid Zone.

Tworkoski, T. J., T. W. Daw and D. M. Glenn. 2004. Effects of a root barrier and localized fertilizer application on root growth of young peach (*Prunus persica*). *Plant Growth Regulator Society of America Quarterly* 31: 133-142.

Urbano, P. 2002. Fertilización orgánica con vinazas de alcoholera. *Vida Rural* 155: 50-52.

Valverde, F., Y. Cartagena y R. Parra. 2004. Efecto de la vinaza obtenida de la fabricación de la levadura y aplicada en el agua de riego, sobre el rendimiento de tres cultivos y las características químicas del suelo. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Informe anual. 21p.

Van Zyl, J.L. 1988. Response of grapevine to soil water regimes and irrigation systems, In: The grapevine root and its environment. Pretoria: Viticultural and Oenological Research Institute: 30-43.

Vera, W (Ed). 1994. Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N°38. Santiago, Chile. 345p.

Williams, L. E., and R. J. Smith. 1991. The effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines. *Am. J. Enol. Vit* 42: 118-122.

Zhang. H., K. Hartge and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 239-245.

Zulueta, R., D. Trejo, L. Lara, H. López y C. Moreira. 2010. Los abonos naturales. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana* 9 (2): 5-13.

### CAPÍTULO III. EFECTO DE LA VINAZA APLICADA EN EL AGUA DE RIEGO DE PLANTAS DE VID (*Vitis vinifera*) 'CHARDONNAY'

#### RESUMEN

El objetivo de esta investigación, realizada en la Comuna de Punitaqui, Región de Coquimbo, los años 2011 y 2012, fue evaluar el efecto de la vinaza de pisco en plantas de vid 'Chardonnay' establecidas sobre un suelo franco arcillo arenoso. Se implementó un sistema de control de riego por sondas FDR de lectura continua, condición exigida por el SAG para evitar la percolación profunda de la vinaza por efecto del riego. Se probaron cuatro tratamientos (0; 103; 206 y 412 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza) con cinco repeticiones, dispuestos en un diseño en bloques completamente aleatorizado. Se evaluó la concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en envero y cosecha; sólidos solubles a cosecha, producción de uva por planta, peso de poda, crecimiento de raíces a tres profundidades y concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, conductividad eléctrica y pH en el suelo, a cuatro profundidades. El análisis foliar no detectó diferencias entre los nutrientes. No se detectaron diferencias en rendimiento, sólidos solubles a la cosecha y el peso de poda. Respecto de las raíces, 103 y 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza generaron un mayor índice de enraizamiento (4,88 y 5,14) en el horizonte superficial, a diferencia de lo ocurrido con la mayor dosis (4,14). En el suelo se generó un aumento de materia orgánica y aumentó la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio. La conductividad eléctrica se mantuvo dentro del rango no salino en todos los tratamientos y no hubo diferencias de pH. La vid respondió positivamente a aplicaciones de 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, sin afectar el crecimiento normal de las plantas; además, aportó materia orgánica y nutrientes al suelo, no afectó la conductividad eléctrica ni el pH, y mejoró el enraizamiento superficial.

**Palabras clave:** Índice de enraizamiento, peso de poda, propiedades de suelo, residuos agroindustriales.



### CHAPTER III. EFFECT OF VINASSE APPLIED WITH THE IRRIGATION OF 'CHARDONNAY' GRAPEVINES

#### ABSTRACT

The objective of this research, held in Punitaqui, Region of Coquimbo, during 2011 and 2012, was to evaluate the effect of vinasse derived from pisco production on grapevines 'Chardonnay', established on a sandy clay loam soil. We included an irrigation control system by continuous reading of FDR probes, condition required from Chilean Agricultural, Service and Livestock (SAG) to avoid deep percolation as result of irrigation. Four treatments were tested (0, 103, 206 and 412 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse) with five replicates, arranged on a randomized complete block design. We evaluated the leaf concentration nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium at veraison and harvest; fruit soluble solids at harvest, grape yield, pruning weight and root growth at three depths and nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter, electrical conductivity and pH in the soil at four depths. Foliar analysis showed no difference in nutrients. No differences were detected on grape yield, soluble solids at harvest and pruning weight. Respect of roots, 103 and 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse generated a higher rooting index (4,88 and 5,14) on surface horizon, unlike what happened with the highest dose (4,14). On the soil, there was an increase of organic matter, and nitrogen, phosphorous and potassium concentration were promoted. The electrical conductivity remained within the non-saline range in all treatments and there were no pH differences. The grapevine answered positively to the application of 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> of vinasse, without affect the normal growth of plants; also, contributed organic matter and nutrients to the soil, not affected electrical conductivity and the pH, and improves surface rooting.

**Keywords:** Rooting index, pruning weight, soil properties, Agroindustrial wastes.

## INTRODUCCIÓN

Las vinazas, subproductos orgánicos líquidos de la destilación de alcohol, históricamente han sido consideradas indeseables, debido a los efectos secundarios que incluyen la contaminación de ríos y mares cercanos a las industrias alcohólicas, generando mortalidad de peces y un grave problema ambiental (Pérez y Garrido, 2008). Al ser un residuo orgánico, presenta potencialidad para ser utilizada como enmienda en el suelo; sin embargo, cuando no se realiza una correcta utilización, pueden ocurrir procesos de lixiviación, contaminando napas subterráneas por acumulación de nitratos y fosfatos (Meurer, 2000). En el mundo se generaron 36,5 millones de toneladas de vinaza de remolacha y 1,52 millones de toneladas de vinaza de caña de azúcar el año 2003 (FAO, 2004). Por cada tonelada de caña de azúcar se obtienen 12 L de alcohol, 94 kg de azúcar y 156 L de vinaza (Gunkel *et al.*, 2007).

En la zona norte de Chile, III y IV regiones, la vinaza proviene de la elaboración del alcohol de vino (pisco), y representa un subproducto con inmenso potencial como fertilizante para la agricultura, debido a su composición nutricional, química y biológica, teniendo una particular potencialidad en sistemas productivos orgánicos, pues presenta elementos como potasio, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, además de materia orgánica (MO) (Arana, 2010). La vinaza se genera de la destilación del vino, que consiste en separar mediante calor los diferentes componentes líquidos de la mezcla, aprovechando las diferencias de volatilidad de los compuestos; en este proceso, por cada litro de vino destilado, un 25% queda como alcohol y un 75% se convierte en vinaza (CPL, 2006). Presenta un pH de 3,6, además de un promedio de 0,73 g·L<sup>-1</sup> de potasio; 0,21 g·L<sup>-1</sup> de fósforo, 0,12 g·L<sup>-1</sup> de nitrógeno total y un 98% de agua (Díez-Rojo, 2010), con variaciones en su composición química que dependen de la materia prima que se utilice, condiciones climáticas y del proceso de elaboración del alcohol (Rodella *et al.*, 1981). Además, tiene una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), que varía de 12.000 a 20.000 mg·L<sup>-1</sup>. Estos niveles se deben a que la vinaza es rica en MO, por lo tanto, retira gran parte del O<sub>2</sub> disponible en el agua y en el suelo (Freire y Cortez, 2000).

En Chile, la vinaza se considera un residuo industrial líquido (RIL) y no se utiliza en la agricultura, por lo que se requiere previamente la validación de sus ventajas antes de ser usada en terreno. En la actualidad, se estima que el costo de tratamiento y eliminación para una planta que genera 200 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup> de vinaza es de US\$ 300.000 anuales<sup>3</sup>. Una de sus mayores limitaciones es su alta DBO<sub>5</sub>, la que dificulta su uso, pues la Normativa Chilena 1333 de calidad de aguas de riego permite aplicar como máximo una cantidad de vinaza equivalente a 112 kg de DBO<sub>5</sub> por hectárea y por día (SAG, 2006). La vinaza, debido a su elevada DBO<sub>5</sub>, impone un ambiente reducido, que genera que los iones H<sup>+</sup> pasen a actuar como aceptores finales de electrones; este proceso está relacionado con la

---

<sup>3</sup>Comunicación personal. Nicolás Fernández, Gerente producción de Capel. 12 enero del 2011.

descomposición de la MO de la vinaza, que es altamente mineralizable (Doelsch *et al.*, 2009; Glória y Mattiazo, 1987; Leal *et al.*, 1983). Por otra parte, si la vinaza es aplicada en dosis muy elevadas, producto de su alta DBO<sub>5</sub>, ocurriría una disminución del O<sub>2</sub> disponible en el suelo, afectando el crecimiento de las raíces.

La baja fertilidad de los suelos es un factor limitante en la productividad de muchas especies hortofrutícolas, aplicándose fertilizantes químicos. Sin embargo, debido a su alto precio, una buena alternativa es usar abonos orgánicos provenientes de desechos agrícolas y agroindustriales, como la vinaza (Jaramillo, 2010). En Colombia, a diferencia de Chile, la vinaza se usa como abono orgánico en la producción de caña de azúcar (Quintero *et al.*, 2004), en tanto Urbano (2002) señala que las vinazas se consideran enmiendas y fertilizantes orgánicos.

Hernández *et al.* (2008) evaluaron el efecto de la vinaza sobre la caña de azúcar, utilizando como tratamientos 150 y 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza, contrastándolos con una fertilización química (160-80-80 kg·ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O). Ellos observaron que las aplicaciones de vinaza no afectaron negativamente el pH, la CE ni la CIC del suelo, sin presentar diferencias en el rendimiento respecto a la fertilización química. Gómez (1995) evaluó durante tres años diferentes dosis de vinaza sobre la producción y calidad de la caña de azúcar, concluyendo que la ésta incrementó la producción sin afectar la calidad del cultivo; además, determinó que con dosis de 100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza se puede sustituir el 55% del N, el 72% del P y el 100% del K provenientes de la fertilización mineral.

No existen suficientes antecedentes sobre el uso de la vinaza de pisco en Chile y menos aún en zonas de baja pluviometría, por lo que es necesario evaluar su comportamiento en terreno bajo estas condiciones. Esto no sería posible sin el cumplimiento de las exigencias del SAG, siendo necesario utilizar sondas de capacitancia FDR para evaluar la posible percolación profunda del riego con vinaza. Estas sondas realizan monitoreos rutinarios que proporcionan datos obtenidos de multisensores que cuantifican la dinámica del agua en el perfil del suelo (Giraldi y Ianelli, 2009), permitiendo tener un registro continuo de la humedad para gestionar el manejo del riego eficientemente (Paltineau y Starr, 2007). A través de un Software se logran generar las líneas de gestión del riego, utilizadas como parámetros referenciales asociados al contenido volumétrico del agua, construidas para programar el tiempo y la frecuencia de riego. Estas son el nivel de lleno, que corresponde a la máxima cantidad de agua que es capaz de retener el suelo sin que exista percolación; la capacidad de campo, evaluada por la sonda, que corresponde al nivel donde el flujo del agua de drenaje disminuye considerablemente al cabo de 24-48 h (Rius, 2005); relleno superficial, que es el punto de aplicación de riegos cortos y superficiales; punto de recarga, que corresponde al nivel donde la absorción de agua por la raíz comienza a disminuir y a hacerse menos eficiente y relleno en zona de inicio estrés, nivel que indica que la planta puede comenzar a caer en estrés hídrico severo, pues su absorción de agua es muy baja.

### **Hipótesis**

La vinaza utilizada en el riego de plantas de vid no produce efectos negativos en su crecimiento y producción, ni causa efectos negativos en el suelo.

### **Objetivo**

Evaluar la aplicación de vinaza sobre el crecimiento de plantas de vid 'Chardonnay' y otros parámetros agronómicos, sin provocar percolación profunda por efecto del riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

#### Lugar de estudio

La presente investigación se realizó en la temporada 2011- 2012 en la Comuna de Punitaqui, Región de Coquimbo (30°54' 0" S, 71°16' 0" W, 450 m de altitud). El clima es semiárido, de veranos secos, según la clasificación de Köppen, y presenta una precipitación promedio de 130 mm anuales.

Se trabajó con vides 'Chardonnay' de 4 años de edad, establecidas en espaldera con un marco de plantación de 2,5 x 1,0 m, bajo sistema de riego por goteo. El suelo pertenece a la Serie Oro Blanco, de clase textural franco arcillo arenosa, moderadamente profundo y pendiente de 1 a 3%. La descripción morfológica del suelo se detalla en el Apéndice II. La composición química de la vinaza utilizada se detalla en el Anexo I y la del agua de riego en el Anexo II.

### Metodología

#### Tratamientos

Las dosis de vinaza a emplear se ajustaron en función de no exceder, para T1 y T2, el límite de 112 kg DBO<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> (SAG, 2006). Cada dosis se subdividió y fue aplicada en un total de 25 oportunidades (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tratamientos de vinaza en plantas de vid 'Chardonnay'.

Tratamiento	Volumen de vinaza (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Volumen total de vinaza por planta (L)	Concentración (% de vinaza en la solución)
T0	0	0	0
T1	103	25,75	2,5
T2	206	51,50	5,0
T3*	412	103,00	10,0

(\*) T3: Dosis supera el máximo permitido por SAG respecto a la DBO<sub>5</sub> (SAG, 2006).

## Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, donde la unidad experimental fue un grupo de cuatro plantas en la misma hilera y el bloque un sector de la hilera (5 hileras en total).

Entre el 10 de octubre del año 2011 y el 13 de mayo del año 2012, el manejo del campo consideró la aplicación de  $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitrógeno como urea,  $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de potasio, como sulfato de potasio, y  $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P, este último aplicado como ácido fosfórico en postcosecha, con el principal objetivo de limpiar el sistema de riego (destape de goteros). En cuanto al nitrógeno, a las plantas del tratamiento testigo se les aplicó la misma fertilización del campo, mientras que a los otros tratamientos se les aplicó la diferencia en función del aporte de este elemento por la vinaza; no se requirió aplicar sulfato de potasio en los tratamientos con vinaza, pues éste es aportado por ella en dosis suficientes; se aplicó fósforo como ácido fosfórico sólo en el tratamiento testigo, pues la vinaza suple los  $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  aplicados en el campo para el resto de los tratamientos (Cuadro 2). Al igual que en el campo, a las plantas del estudio no se les realizó ajustes de carga durante su desarrollo.

**Cuadro 2.** Cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio aportado por los distintos tratamientos en plantas de vid 'Chardonnay'.

Elemento	T0 (0)	T1(103)	T2 (206)	T3 (412)
<b>Nitrógeno</b>		(kg·ha <sup>-1</sup> )		
Urea	87	67,2	47,2	7,5
Vinaza	0	9,14	18,28	36,56
<b>Fósforo</b>				
Ácido fosfórico	8,3	0	0	0
Vinaza	0	5,51	11,02	22,04
<b>Potasio</b>				
Sulfato de potasio	60	0	0	0
Vinaza	0	83,9	167,8	335,6

La vinaza se incorporó en cada riego, comenzando el 27 de octubre del año 2011 (bayas de 3 mm), finalizando el 26 de abril del año 2012. Para regar, se estableció un fertirrigador móvil donde se prepararon las soluciones agua:vinaza, lo que permitió independizar el riego de las plantas del ensayo respecto del resto de la viña. Cuando se requirió aplicar fertilizante comercial, se aplicó una dosis equivalente a 6 kg por riego en el caso del N y el K. Al momento de la aplicación de N, en el campo ya se habían aplicado 10 kg de este elemento, por lo que se requirieron 5 riegos para incorporar la diferencia (30 kg), lo que ocurrió entre el séptimo y undécimo riego. Se siguió el mismo procedimiento para el caso del K

con la diferencia que al séptimo riego con vinaza en el campo aún no se había aplicado K, por lo que la totalidad de este elemento se distribuyó en 5 oportunidades. En el caso del P, los 5 kg se incorporaron en un solo riego, el día 18 de abril. Los fertilizantes se diluyeron manualmente en el estanque perteneciente al fertirrigador.

Las unidades experimentales se regaron con doble línea de goteros, los que estaban espaciados a 50 cm entre ellos, con emisores de  $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ , generando una descarga de  $6,4 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ . Para evitar la percolación profunda del riego, exigido por las autoridades medioambientales Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), se instaló en una unidad experimental del tratamiento testigo una sonda electromagnética marca EnviroScan (Sentek, Australia) (Figura 1), constituida por 4 sensores (a 15; 25; 45 y 85 cm de profundidad). Esta sonda, del tipo FDR, utiliza la capacitancia para medir el contenido de agua del suelo, y proporciona un gráfico continuo del movimiento del agua en la zona radical, así como el uso de agua por el cultivo, permitiendo definir la frecuencia y el tiempo de riego (Fernández *et al.*, 2001).



**Figura 1.** Ubicación de la sonda electromagnética marca Enviroscan, utilizada para determinar frecuencia y tiempo de riego.

## **Evaluaciones**

### **Determinación de propiedades físicas del suelo**

Se realizó una descripción morfológica del suelo del estudio; además, en el laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, se determinó con el método de la olla a presión el porcentaje de agua al cual el suelo alcanza los niveles de capacidad de campo para cada horizonte genético. Se determinó también la densidad aparente por el método del terrón y la textura del suelo mediante el método de Bouyoucos (Dewis y Freitas, 1970) en el laboratorio Agrolab. Adicionalmente, en el laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile se determinaron los valores de textura para 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad.

Por otro lado, con los datos de textura del suelo (para cada rango se tomó un promedio de lo obtenido por Agrolab y en el laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Chile para mayor certeza), se determinó el porcentaje de agua al cual el suelo alcanza los niveles de capacidad de campo en tres rangos de profundidad (0-20, 20-40 y 40-60 cm), utilizando el Software Soil Water Characteristics 6.02.74 (USDA Agricultural Research Service, EE.UU).

### **Determinación de las líneas de gestión, tiempo y frecuencia de riego**

Se determinaron las líneas de gestión para nivel de lleno, capacidad de campo, relleno superficial, punto de recarga y relleno en zona inicio estrés (Rius, 2005).

La programación del riego con sensores de humedad requiere que se determinen los puntos de Capacidad de Campo y Punto de Recarga (momento en el cual se debe efectuar un nuevo riego) del suelo. El punto de recarga es variable en función del objetivo deseado sobre la producción y vegetación (estilos de vino, producciones, niveles de calidad, etc) (Rius, 2005). Una vez determinados estos valores, la medición periódica de la humedad del suelo a lo largo del crecimiento vegetativo de la espaldera indicó la fecha y número de horas del próximo riego.

Una vez instalada la sonda, se saturó el suelo para determinar el nivel de lleno y determinar con esto el contenido de agua al cual el suelo alcanza la capacidad de campo en los tres primeros sensores, determinándolo cuando el flujo del agua de drenaje disminuyó considerablemente y la curva de contenido de agua de cada sensor tendió a estabilizarse (Rius, 2005), expresándolo como la sumatoria de estos tres sensores.



La zona de relleno superficial se determinó cuando el contenido de agua del primer sensor bajó bruscamente, vale decir, cuando la caída de agua en el día es muy alta en función de un alto consumo; luego se buscaron los valores en el mismo momento de los otros dos sensores que le siguen en profundidad y se sumaron. Se tomó como referencia el primer sensor porque en superficie se detectó según calicata una mayor cantidad de raíces absorbiendo y es una zona que está sujeta a una mayor evapotranspiración (Rius, 2005).

Cuando se llega a la zona de relleno superficial, lo ideal es realizar un riego corto para reponer esa alta extracción de agua, lo que se debe hacer en cultivos donde se busca obtener un alto calibre de la fruta. En este caso, en los meses de mayor demanda hídrica (enero-febrero), no se realizó, debido a que en las variedades blancas de vid para vinificación se busca lograr un estrés hídrico en ciertos momentos fisiológicos para la concentración de aromas. Por la misma razón, tampoco se realizaron los riegos en el punto de recarga, sino que en la línea de relleno en zona inicio de estrés.

La línea para el punto de recarga se determinó cuando la absorción de agua comenzó a disminuir, vale decir, cuando la planta se acercó levemente a una condición de estrés hídrico (Rius, 2005).

La línea para el relleno en zona de inicio estrés se determinó cuando el gráfico que contiene el contenido de agua del suelo de los tres sensores superficiales, indicó una considerable disminución en la tasa de absorción de agua, vale decir, cuando la curva de contenido de agua comenzó a aplanarse o volverse horizontal, momento a partir del cual el cultivo está muy cercano a sufrir un estrés hídrico severo (Fernández *et al.*, 2001).

El tiempo de riego se definió según la lectura del último sensor de la sonda (85 cm); cuando este sensor presentó una leve alza en el contenido de agua del suelo, quedó definido el tiempo de riego.

La frecuencia de riego se determinó según el gráfico de la dinámica del agua en el suelo con la actividad de los tres sensores superficiales, y donde se muestra una línea que corresponde a la dinámica del agua en el perfil completo (Figura 3); el momento de cada riego se definió cuando el contenido de agua del suelo en este gráfico llegó al punto de recarga.

Se estableció una frecuencia de riego de 7 días entre el 27 de octubre y el 2 de febrero. Entre el 2 de febrero y el 9 de marzo, ésta aumentó a 5 días para alcanzar el nivel de lleno, volviendo a 7 días hasta el 26 de abril (Figura 3)

La recopilación de los datos proporcionados por la sonda fueron obtenidos con una frecuencia de 7 días.

### **Análisis foliar de nutrientes**

Se evaluó concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio en envero y cosecha, utilizando cuatro repeticiones, según la metodología propuesta por Cadahía (2005) para la vid. En envero se muestreó un total de 80 láminas por unidad experimental (20 por planta), extrayéndose la lámina opuesta al primer racimo del brote (20 de enero del 2012); a la cosecha, se extrajo la lámina opuesta al segundo racimo del brote (2 de marzo del 2012).

Cuando las hojas opuestas a los racimos por planta no fueron suficientes, se completó el muestreo con hojas completamente maduras.

### **Grados de alcohol probable a la cosecha (GAP), producción por planta, peso, número de racimos y peso de poda**

A partir de la primera semana de febrero de 2012 se realizó un seguimiento cada siete días de la concentración de sólidos solubles de todas las plantas con un refractómetro, analizando tres racimos por planta con tres bayas por racimo (parte basal, media y distal), con el objetivo de cosechar cuando se alcanzara 12 GAP (22 °Brix según la relación  $GAP = °Brix/2 + 1$ ), lo que ocurrió entre el 19 y el 24 de febrero de 2012. Todas las plantas de cada tratamiento se cosecharon cuando el promedio de cada repetición alcanzó los 12 GAP, y se contaron los días transcurridos desde envero hasta ese momento para determinar posibles diferencias en la maduración de la uva. Al momento de cosechar se determinó la producción por planta (kg), el peso de racimos (kg) y el número de racimos.

El día 18 de mayo, se podaron las plantas de todos los tratamientos en función del criterio del campo (8 pitones a 2 yemas) y se determinó el peso fresco de poda (kg).

### **Índice de enraizamiento (IE)**

La tercera semana de mayo del año 2012, se evaluó, en tres de las repeticiones, el número de raíces en las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm, siguiendo la metodología del mapeo detallado del perfil propuesto por Böhm (1979). Para esto se realizaron calicatas de 1 m de profundidad, de 1 m de ancho, paralelas a la hilera y a 20 cm del tronco de una de las plantas centrales de la unidad experimental, instalando una malla cuadrículada de 20 x 20 cm, donde se midió el número de raíces de cada una. Las raíces se clasificaron según lo propuesto por Van Zyl (1988), quien establece rangos menores a 0,5 mm para raíces finas; entre 0,5 y 2 mm para raíces delgadas; entre 2 y 5 mm para raíces medias y mayores a

5 mm para raíces gruesas. En base a esto, se determinó un índice de enraizamiento (IE) siguiendo la fórmula  $IE = [R(<0,5 \text{ mm}) + R(0,5 - 2\text{mm})] / [R(2-5\text{mm}) + R(>5\text{mm})]$ , donde R es el número de raíces en las diferentes categorías. Este índice de enraizamiento fue calculado en cada rango de profundidad, para cada cuadrícula de 20 x 20 cm, abarcando la calicata completa.

### **Concentración de macronutrientes disponibles (N, P y K), materia orgánica, conductividad eléctrica (CE) y pH en el suelo**

La tercera semana de mayo del año 2012, se evaluó, en el suelo, la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio disponible, materia orgánica, CE y pH a profundidades de 5-20, 20-35, 35-50 y 70-90 cm, utilizando las mismas tres repeticiones por tratamiento utilizadas para evaluar crecimiento de raíces.

En este caso, para cada tratamiento se tomaron tres muestras por cada rango de profundidad, y el valor final de cada parámetro correspondió al promedio de estos tres valores.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con la verificación previa de los supuestos sobre los términos del error. Se utilizó la prueba de Anderson-Darling para verificar el supuesto de normalidad, y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas. En caso de que los supuestos no se cumplieran, se transformaron las variables originales. Cuando se detectaron diferencias, la separación de las medias se realizó con la prueba de comparación múltiple de Tukey, al 5% de significancia, utilizando el programa Minitab Release.

Por otro lado, se realizaron análisis de regresión con un 5% de significancia, entre las dosis de vinaza y las propiedades evaluadas, utilizando el programa SigmaPlot 11.0.

## RESULTADOS

### Propiedades físicas del suelo

El suelo presentó un 54% de arena, 25% arcilla y 21% limo, con una clase textural franco arcillo arenosa en todo el perfil y una densidad aparente de  $1,75 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , considerada alta en función de la clase textural (Sandoval *et al.*, 2012).

Por otro lado, los contenidos de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) se presentan en el Cuadro 3. La descripción morfológica del suelo se puede observar en el Apéndice II.

**Cuadro 3.** Contenido volumétrico de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) según tres métodos de determinación y en tres rangos de profundidad.

Método	Profundidad de suelo		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
<b>Actividad de la sonda</b>	----- % -----		
CC	40	39	39
PMP	-	-	-
<b>Software</b>			
CC	37	34	34
PMP	18	18	21
<b>Curva característica</b>			
CC (33kPa)	33	30	32
PMP (1500 kPa)	21	19	17

### Determinación de líneas de gestión

Las líneas de gestión para el perfil completo de suelo, se observan en la Figura 3.

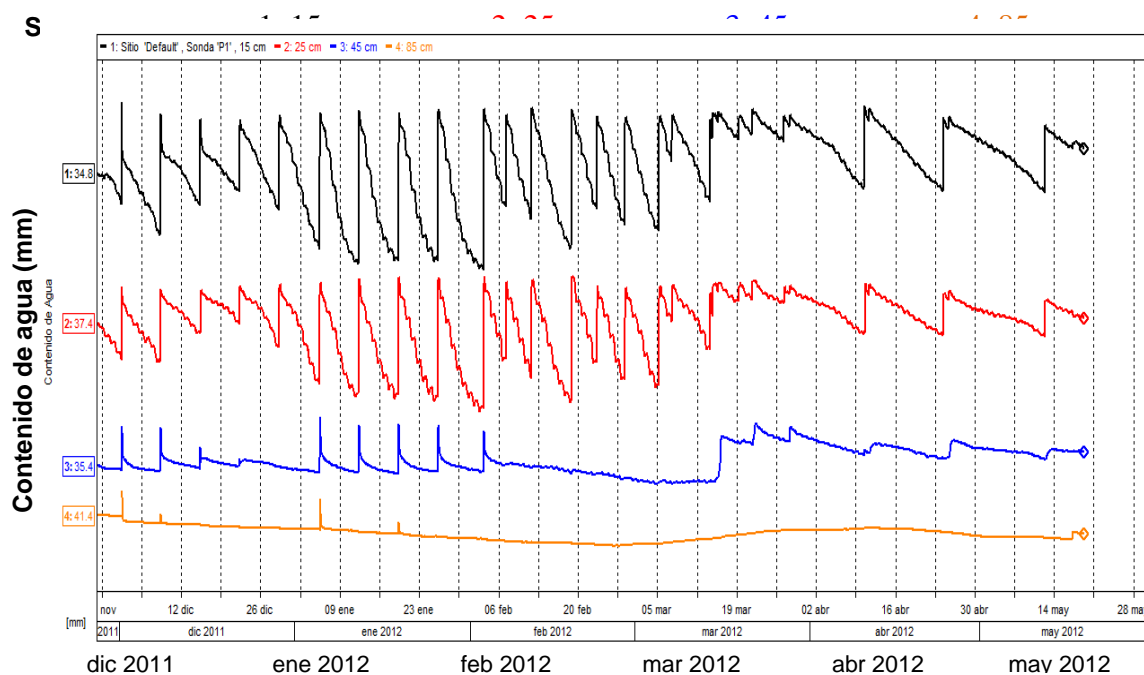
### Tiempo de riego

De acuerdo a la Figura 2, y a lo señalado por Obreza y Shumann (2010), se cumplió el objetivo de no provocar percolación profunda dado el comportamiento estable del contenido de agua en el sensor más profundo (85 cm), el cual determinó el tiempo de riego

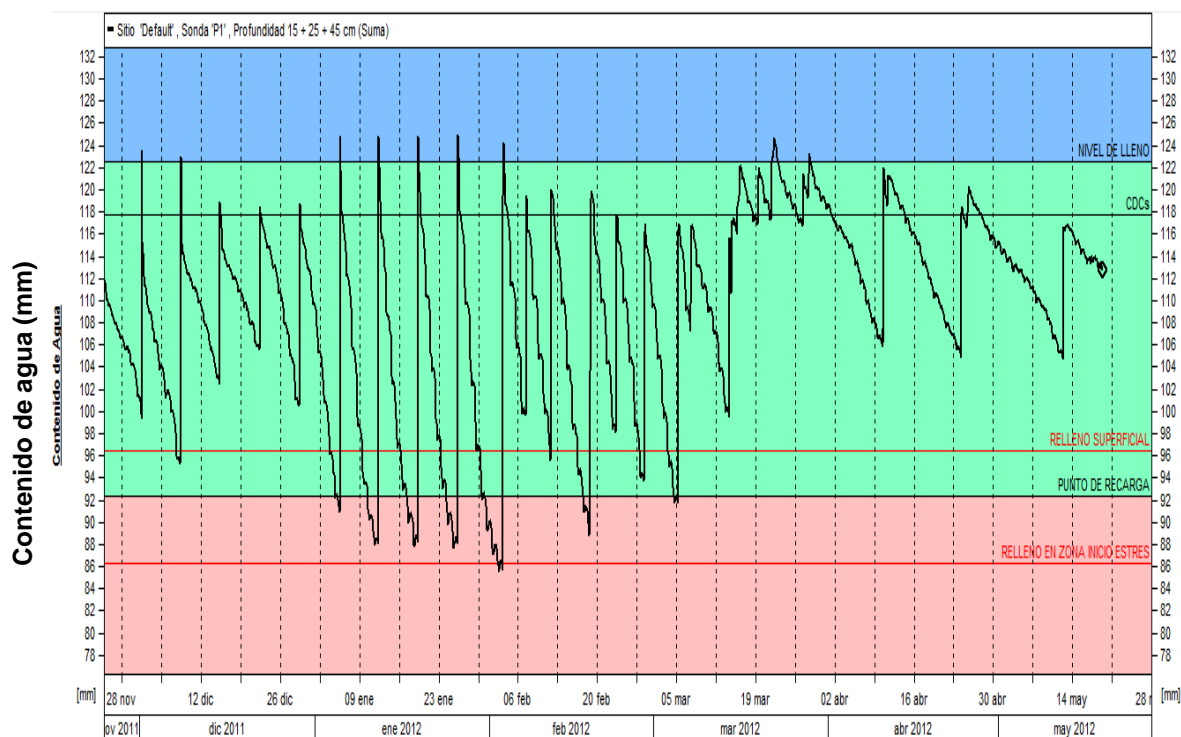
El tiempo de riego se ajustó a un tiempo de 3 horas (Figura 2). Las pequeñas alzas de contenido de agua que se observaron a 85 cm de profundidad no tienen importancia práctica, y solo fueron necesarias para poder alcanzar a nivel de lleno (Figura 3). Adicionalmente, y de acuerdo a la Figura 2, se puede observar que la mayor cantidad de raíces se encontró en los primeros cm de profundidad (sensores a los 15 y 25 cm), dado que el contenido de agua en el suelo, de acuerdo al sensor ubicado a los 85 cm, se mantuvo relativamente estable en el tiempo, no habiendo raíces activas en profundidad.

### Frecuencia de riego

Las condiciones hídricas del suelo en que se desarrollaron las plantas del ensayo fueron óptimas (Figura 3).



**Figura 2.** Dinámica del contenido de agua (mm) en el perfil de suelo para cada sensor.



**Figura 3.** Control del contenido de agua (mm) en el perfil completo de suelo. FR corresponde a la frecuencia de riego.

### Concentración foliar de nutrientes

Las plantas de vid no mostraron una respuesta negativa a la aplicación de vinaza. Se puede observar que ninguno de los nutrientes presentó diferencias entre tratamientos en el envero (Cuadro 4; Apéndice III, Cuadro 1), situación que se mantuvo a cosecha. La excepción fue el fósforo, donde la dosis de  $103 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza presentó mayor concentración que la dosis de  $412 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ; sin embargo, para este elemento todos los valores se ubican por sobre el máximo del rango óptimo de acuerdo a Fregoni (1999) (Anexo III).

**Cuadro 4.** Concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en envero y cosecha en plantas de vid 'Chardonnay' con distintos tratamientos de aplicación de vinaza.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Concentración elemento				
	N	P	K	Ca	Mg
	-----%-----				
	Envero (20-01-12)				
T0 (0)	2,59 n.s	0,30 n.s	1,00 n.s	2,27 n.s	0,35 n.s
T1 (103)	2,36 n.s	0,32 n.s	0,99 n.s	2,33 n.s	0,35 n.s
T2 (206)	2,55 n.s	0,30 n.s	0,86 n.s	2,42 n.s	0,36 n.s
T3 (412)	2,50 n.s	0,27 n.s	0,92 n.s	2,40 n.s	0,36 n.s
	Cosecha (02-03-2012)				
T0 (0)	2,55 n.s	0,27 ab	1,00 n.s	2,02 n.s	0,33 n.s
T1 (103)	2,23 n.s	0,33 b	1,07 n.s	2,17 n.s	0,33 n.s
T2 (206)	2,15 n.s	0,29 ab	0,97 n.s	2,32 n.s	0,37 n.s
T3 (412)	2,13 n.s	0,26 a	0,94 n.s	2,15 n.s	0,33 n.s

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).  
n.s = Sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Los niveles de K se encontraron bajos, lo que puede generar una reducción en el tamaño de los frutos y una disminución en el transporte de carbohidratos y azúcares (Ruiz y Sadzawka, 2005). Sin embargo, los análisis de fertilidad de suelo realizados en postcosecha (Cuadro 6), indicaron que el contenido de K fue suficiente y, en algunos casos, por sobre el rango óptimo.

### VARIABLES PRODUCTIVAS

En cuanto a las variables productivas, no se observaron diferencias estadísticas significativas. No hubo diferencias estadísticas significativas para el peso de poda en las plantas ni respecto al número de días entre envero y cosecha en que las plantas alcanzaron los 12 GAP (Cuadro 5; Apéndice III, Cuadro 2).

**Cuadro 5.** Productividad en plantas de vid 'Chardonnay' bajo distintas dosis de vinaza.

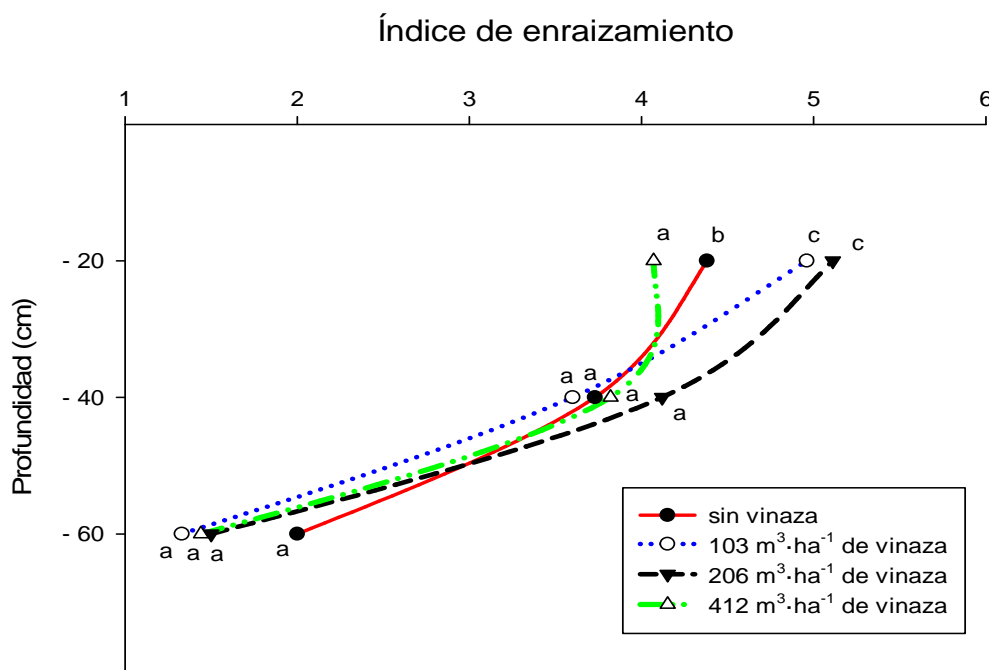
Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Producción/ planta (kg)	Racimos/ planta	Peso medio de racimos (g)	Peso de poda (kg/planta)	DDE
T0 (0)	0,68 n.s	7 n.s	100,0 n.s	0,48 n.s	44 n.s
T1 (103)	0,97 n.s	9 n.s	105,2 n.s	0,46 n.s	44 n.s
T2 (206)	0,87 n.s	8 n.s	112,4 n.s	0,44 n.s	44 n.s
T3 (412)	0,80 n.s	7 n.s	115,2 n.s	0,44 n.s	39 n.s

n.s = Sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

DDE = Días después de envero en que las plantas alcanzaron los 12 GAP.

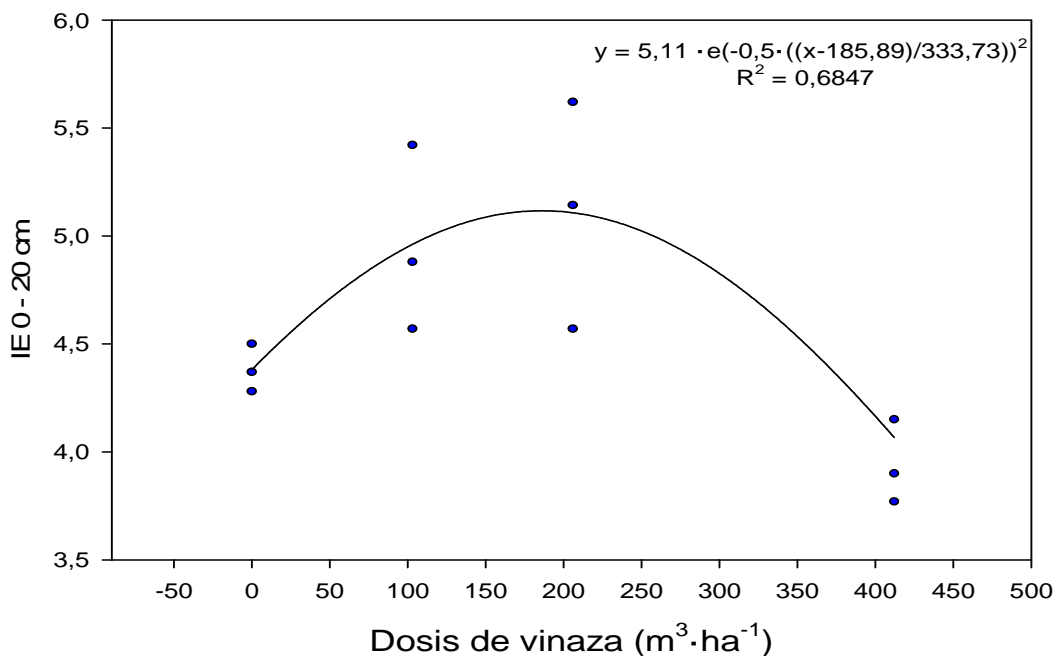
### Índice de enraizamiento

Respecto al crecimiento de raíces, solamente en superficie los tratamientos de 103 y 206  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza se diferenciaron del testigo, mostrando un índice de enraizamiento mayor, sin embargo, no se detectaron diferencias en profundidad (Figura 4; Apéndice III, Cuadro 3). Es importante destacar que la dosis máxima en este caso fue detrimental, resultando en una disminución del índice de enraizamiento con aplicaciones de 412  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza (Figura 5).



**Figura 4.** Índice de enraizamiento en función de la profundidad para distintos tratamientos de vinaza aplicados en plantas de vid ‘Chardonnay’. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).





**Figura 5.** Índice de enraizamiento (IE) en el horizonte superficial en función de la dosis de vinaza.

### **Concentración de macronutrientes disponibles (N, P y K), materia orgánica, conductividad eléctrica (CE) y pH en el suelo**

Respecto de la fertilidad del suelo, la concentración de N se presentó en rangos medios en todos los tratamientos (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4). En el rango de 5-20 cm, el nitrógeno del testigo fue mayor que los demás tratamientos.

La concentración de fósforo fue bastante variable, destacando que sólo la dosis de  $103 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza en superficie fue superior al testigo, aunque la tendencia no se mantiene en profundidad. En general, la dosis máxima de vinaza ( $412 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) favorece un elevado contenido de P en todo el perfil. En los primeros horizontes, todos los valores fueron considerados como suficientes para el desarrollo de las plantas. Si bien el nivel entre los 35-50 cm disminuye, solamente bajo los 70 cm los niveles de P son bajos, lo que no se consideró problema, ya que en esta zona no hubo actividad de raíces (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4).

Los tratamientos con vinaza muestran mayor concentración de K en el suelo con respecto al testigo sólo en los 5-20 cm y en los 35-50 cm, mientras que entre 20-

35 cm el testigo superó los niveles alcanzados por las dos dosis más altas de vinaza (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4). En los primeros horizontes, la mayoría de los valores fueron considerados como suficientes para las plantas y, en algunos casos, están por sobre el rango óptimo (INIA, 2012). Los niveles bajan en los 35-50 cm y en mayor medida bajo los 70 cm.

La vinaza aumentó la materia orgánica (MO) del suelo en relación al testigo con la dosis de  $206 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en las profundidades de 20-35 y 70-90 cm, presentando una dinámica distinta en profundidad en relación a los otros tratamientos, pero acorde a la distribución de nutrientes dentro del perfil (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4).

El testigo presentó, en general, la mayor conductividad eléctrica (CE) dentro del perfil, y los valores para la mayor dosis de vinaza nunca superaron al testigo ni a las otras dosis (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4). En la Figura 15 del Apéndice III, se indica la zona de normalidad según INIA (2012), rango en el que se encuentran todos los valores, a excepción del testigo en superficie ( $1,13 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ), pero sin ser crítico.

Por último, el pH del suelo no varió en ningún rango de profundidad (Cuadro 6; Apéndice III, Cuadro 4), encontrándose siempre en niveles moderadamente alcalinos (INIA, 2012).

En el Apéndice I, figuras 11 a 16, se puede observar gráficamente el efecto de los tratamientos sobre la concentración de N, P, K, MO, CE y el pH del suelo.

**Cuadro 6.** Concentración de macronutrientes disponibles (N, P y K), materia orgánica, conductividad eléctrica (CE) y pH del suelo con distintos tratamientos de vinaza durante una temporada a distintas profundidades en el ensayo de plantas de vid 'Chardonnay'.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Profundidad			
	5-20 cm	20-35 cm	35-50 cm	70-90 cm
<b>Nitrógeno (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>				
T0 (0)	39,3 d	22,7 ab	21,7 ab	22,0 b
T1 (103)	26,3 b	20,3 a	29,3 b	20,7 ab
T2 (206)	20,7 a	24,7 b	18,3 a	17,7 a
T3 (412)	32,7 c	20,0 a	18,3 a	20,0 ab
<b>Fósforo (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>				
T0 (0)	48,3 b	46,0 b	22,3 a	12,3 a
T1 (103)	56,7 c	34,0 a	22,0 a	16,7 ab
T2 (206)	25,0 a	36,3 a	20,3 a	17,3 b
T3 (412)	48,0 b	48,0 b	32,3 b	17,0 ab
<b>Potasio (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>				
T0 (0)	490 b	429 b	180 a	95 n.s
T1 (103)	581 d	413 b	176 a	123 n.s
T2 (206)	267 a	325 a	163 a	121 n.s
T3 (412)	543 c	355 a	239 b	120 n.s
<b>Materia orgánica (%)</b>				
T0 (0)	1,63 ab	0,90 a	0,66 n.s	0,39 b
T1 (103)	2,07 b	0,69 a	0,58 n.s	0,44 c
T2 (206)	1,19 a	1,81 b	0,59 n.s	0,48 d
T3 (412)	1,83 ab	0,65 a	0,56 n.s	0,34 a
<b>CE (dS·m<sup>-1</sup>)</b>				
T0 (0)	1,13 b	0,59 b	0,64 c	0,72 n.s
T1 (103)	0,77 ab	0,56 b	0,70 d	0,85 n.s
T2 (206)	0,45 a	0,68 c	0,52 b	0,84 n.s
T3 (412)	0,67 ab	0,41 a	0,38 a	0,55 n.s
<b>pH</b>				
T0 (0)	7,87 n.s	8,17 n.s	8,10 n.s	8,10 n.s
T1 (103)	7,93 n.s	8,37 n.s	8,20 n.s	8,10 n.s
T2 (206)	8,20 n.s	8,20 n.s	8,40 n.s	8,20 n.s
T3 (412)	7,53 n.s	8,07 n.s	8,10 n.s	8,00 n.s

Valores con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).  
n.s = Sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

Uno de los grandes desafíos que se debía alcanzar en este estudio, de manera de cumplir con las exigencias del SAG y la CONAMA, de acuerdo a la Normativa Chilena 1.333 de calidad de aguas para riego (SAG, 2006), era demostrar que es posible realizar tratamientos a nivel de campo sin el riesgo de la percolación profunda de vinaza por efecto del riego. En este sentido, el criterio de riego basado en el uso de una sonda de capacitancia (Fernández *et al.*, 2001) logró que la frecuencia y tiempo de riego se ajustaran adecuadamente, cumpliendo con el objetivo. Esto es relevante, ya que cuando no se realiza un manejo adecuado del riego con vinaza, pueden ocurrir procesos de lixiviación, contaminando napas subterráneas por acumulación de nitratos y fosfatos (Meurer, 2000), tal como ocurre con el uso de fertilizantes cuando hay aplicación excesiva de riego (Cadahía, 2005).

Urbano (2002) indica que en los casos de elevadas dosis de vinaza, sobre todo en suelos arenosos, someterlos a un elevado régimen de humedad puede producir una importante percolación, generando lixiviación de nitratos y posible contaminación de acuíferos. Durante la ejecución del ensayo, el volumen de riego utilizado fue de  $4.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , bastante menor que los  $7.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  incorporados normalmente en este campo, lo que implica un gran ahorro de este recurso y un bajo riesgo de lixiviación de nutrientes.

La curva característica generó menores valores de humedad para la capacidad de campo (CC) que la sonda. Fredlund *et al.* (2001) y Fredlund (2002), afirman que esta curva no ha demostrado ser un método fiable para estimar la retención de agua *in situ* del suelo, debido a que una muestra de suelo extraída desde el campo para medir su contenido de agua a diferentes presiones no proporciona una indicación exacta de la CC y el PMP del suelo, ya que está alterada y no considera detalles como situaciones de compactación que hacen variar su estructura y con ello las condiciones de retención de agua (Fredlund *et al.*, 2011). En cambio, el contenido de agua en el suelo indicado por la sonda, la que se basa en medir la capacitancia de un campo eléctrico de alta frecuencia (De Santa Olalla *et al.*, 2005), es determinado en tiempo y condiciones reales en cuanto a la presión ejercida por la columna de agua en el suelo y a la absorción de ésta por las raíces.

La vinaza demostró no ser negativa desde el punto de vista nutricional. Con respecto a la concentración foliar de nutrientes de las plantas tratadas con vinaza, no hubo diferencias con el testigo, situación esperable debido a que en este ensayo se equipararon los niveles de nutrientes aportados al suelo en los diferentes tratamientos. El P en cosecha fue la excepción, pues la concentración foliar con la dosis de  $103 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza fue superior a la mayor dosis, lo que

podría deberse en gran medida al historial de manejo, con aplicaciones sucesivas de P que resultan en una alta concentración de este nutriente en la zona de mayor actividad de raíces. El N y el Ca en enero se encuentran dentro del rango adecuado para la vid según Fregoni (1999), mientras que el K se encuentra ligeramente bajo y el P y Mg ligeramente altos.

Esto coincide con los resultados de Paula *et al.* (1999) en caña de azúcar con distintas dosis de vinaza (0 a 400 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), y Paula *et al.* (1992) en cebolla al analizar en el riego dosis crecientes de vinaza (0 a 210 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>). Según Salifu *et al.* (2006), en huertos y viñedos productivos, cuando los contenidos foliares de nutrientes se mantienen en rangos adecuados, el rendimiento anual se mantiene estable durante el transcurso de las temporadas, por lo que sería interesante comprobar esto en función de aplicaciones sucesivas de vinaza.

Por otro lado, la fecha de cosecha, determinada como el punto en que la uva acumuló 12 GAP, fue similar para todos los tratamientos, igual a lo señalado por Paula *et al.* (1999) en piña (*Ananas comosus*). En cebolla en cambio, la mayor dosis de vinaza (210 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) alcanzó el mayor valor de sólidos solubles (Paula *et al.*, 1992). Aunque era esperable que con la mayor dosis de vinaza ocurriera un adelanto, debido a que el K (Anexo I), está involucrado en el transporte de azúcares (Ruiz y Sadzawka, 2005), no ocurrió probablemente debido a su alta fijación en el suelo (Navarro y Navarro, 2003).

Tampoco se detectaron diferencias en la producción por planta y en el peso de los racimos, coincidiendo con el rendimiento de caña de azúcar reportado por Alfaro y Alfaro (1996) y Hernández *et al.* (2008), donde se contrastaron dosis de vinaza y tratamientos con fertilización química.

Al igual que en las variables productivas, la vinaza no afectó el normal crecimiento de las raíces, a excepción de la dosis mayor en superficie, situación similar a lo ocurrido en las vides 'Pedro Jiménez' con la dosis mayor (672 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) (Capítulo II), lo que podría deberse a los niveles de DBO<sub>5</sub> generados con la dosis alta, que disminuyeron los niveles de O<sub>2</sub> en el suelo. Con las dosis de 103 y 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, se obtuvo la mayor proporción de raíces, en su mayoría finas y delgadas, ubicadas en los primeros 40 cm de profundidad tal como lo señala Van Zyl (1988) (Figura 4), presentando un IE medio si se compara con parrones adultos de vid de mesa 'Thompson Seedless' (Callejas *et al.*, 2012), probablemente por el menor tamaño de vides 'Chardonnay', cuyo destino es producir vino y que se refleja en el desarrollo del sistema radical. La información de la Figura 4 concuerda con la gráfica de la actividad de las raíces (Figura 3), donde se muestra claramente que son las raíces superficiales las encargadas de proporcionar agua a la planta y muy poco aquellas ubicadas bajo los 40 cm. El aporte de MO y nutrientes presentes en la vinaza ayudan a explicar el buen comportamiento del sistema radical. Ruiz (2000) señala que la calidad de las raíces define en gran medida el desarrollo y vigor de las vides, así como los niveles productivos de los huertos, sobre todo en

las condiciones de temperatura de suelo del desierto de Atacama (Callejas *et al.*, 2009). Kay (1990) señala que la aplicación de enmiendas orgánicas favorece el desarrollo de raíces al mejorar las condiciones físicas del suelo, lo que sugiere que una buena alternativa para lograr este objetivo podría ser la vinaza.

El peso de poda no presentó diferencias entre tratamientos, lo que indica que la vinaza no impidió el normal desarrollo de los brotes en activo crecimiento, aunque la alta cantidad de raíces finas y delgadas obtenidas con la vinaza debiese manifestarse en un aumento en el peso de poda en futuras evaluaciones (Álvarez, 2004).

Respecto a las propiedades relacionadas con la fertilidad del suelo (Cuadro 6), no se observaron alteraciones indeseadas en el perfil de suelo que puedan ser adjudicadas como respuesta a la aplicación creciente de vinaza. Los datos son más bien variables y sin patrón definido. En general, y para los cuatro tratamientos, la concentración de N se encuentra en un nivel medio, el K en superficie es muy alto y medio en profundidad y el P es muy alto en superficie, disminuyendo en profundidad (Callejas *et al.*, 2011).

La concentración de N en el suelo en los 5-20 cm fue mayor en el testigo, probablemente debido a la mayor disponibilidad de las formas químicas de N. Para el resto del perfil, en el testigo se obtuvo la mayor concentración de N promedio, pero las dosis crecientes no siguieron un orden lógico, lo que se explica por la compleja interacción de factores de difícil control de los ensayos de campo.

En general, los niveles de P en los tres rangos superficiales fueron suficientes para el desarrollo de las plantas. De similar manera, los niveles de K en superficie son altos, y si bien, al igual que el P, bajan los niveles en profundidad a pesar de los riegos con vinaza, no hay problemas para las plantas, debido a la baja actividad de raíces en esta zona. Las concentraciones mayores de estos elementos en superficie responden a los aportes exógenos vía fertilización y el aporte de la vinaza, por lo que las diferencias estadísticas responden a la interacción de la cantidad, forma y actividad de raíces (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Por otro lado, estos resultados ratifican lo señalado por Fassbender (1994) y Navarro y Navarro (2003), quienes concuerdan en que el P presenta una baja movilidad en el suelo y hacia profundidades inferiores, al igual que el K, elemento poco móvil en el suelo y más aún en uno franco arcillo arenoso como el de este estudio, ya que reacciona con las cargas de los coloides, quedando retenido en los sitios de intercambio (Navarro y Navarro, 2003; Doménech, 2000).

A pesar que no se fertilizó con Ca y Mg, en el suelo no se observó un efecto antagónico del K por efecto de la aplicación de vinaza (Ruiz y Sadzawka, 2005). Además, las plantas nunca presentaron síntomas de toxicidad por K, al contrario, presentaron un déficit en los niveles foliares de Ca y K. Sin embargo, debido a los altos niveles de K en superficie, en este campo es recomendable disminuir los

aportes de este elemento vía fertilización, para evitar competencia en la absorción de otros nutrientes y/o una posible toxicidad en las plantas por excesos de K.

La CE se presentó en rangos no salinos, aunque el testigo presentó el mayor promedio dentro del perfil, sugiriendo que la vinaza no genera mayores problemas de salinidad en el suelo con respecto a las fuentes químicas, las cuales, según Rojas *et al.* (2002), son una de las principales causantes de la salinidad de los suelos junto con el agua de riego. Si bien se presentaron diferencias estadísticas significativas, en términos prácticos no hay riesgo salino para la vid, cuyo rendimiento no se ve afectado con niveles de CE  $< 1,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Hoffman y Shannon, 2007). Considerando que la vinaza presentó una CE de  $3,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , y se regó con una cantidad equivalente a  $4.000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de agua, con la mayor dosis ( $412 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ), sólo por efecto de la vinaza se aportó al suelo un valor de CE de  $0,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , el que según análisis químico alcanzó un valor total de  $0,67 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en el rango 5-20 cm de profundidad, insuficiente para alcanzar los  $1,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  tolerable para la vid.

En un campo ubicado en la Región de Copiapó, se han utilizado las sondas EnviroScan durante 3 años consecutivos para el control de riego en vid 'Flame Seedless', aplicando  $6.000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de agua con una CE de  $1,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , sin tener problemas en los rendimientos<sup>4</sup>. Con estos valores, el aporte de sales por efecto del agua es de 4.608 kg de sales por ha en la temporada (Sierra, 1992), similar al máximo de 4.096 kg de sales por ha en la temporada aportados en esta investigación con  $4.000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de agua. Si consideramos una dosis de vinaza de  $206 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ , sólo por efecto de la vinaza se estarían incorporando 488 kg de sales, vale decir, casi ocho veces menos que las sales que aporta el agua de riego, sugiriendo que el aporte salino de la vinaza no implicaría mayores riesgos para las plantas en el largo plazo.

En el sitio mencionado anteriormente, se aplican  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N,  $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P y  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K, lo que implica un aporte por efecto de los fertilizantes de 223 kg sales por ha en la temporada (Sierra, 1992), a diferencia de los 92 kg de sales por ha en la temporada en el lugar del presente ensayo ( $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N,  $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de P y  $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de K), siendo despreciable en ambos casos el efecto salino de los fertilizantes al suelo.

El pH del suelo para los tratamientos se mantuvo en un rango moderadamente alcalino (Navarro y Navarro, 2003), dado en gran medida por el alto nivel de carbonatos y bicarbonatos del agua de riego (Anexo II), lo que explicaría además la alta fijación de K en el suelo, debido a que no se presentaron síntomas de exceso en las plantas (Ruiz y Sadzawka, 2005). Teniendo en cuenta el bajo pH de las vinazas, no se han observado procesos de acidificación en un amplio rango de suelos; incluso, ésta provoca un aumento temporal del pH (Urbano, 2002), efecto relacionado con el ambiente reducido impuesto por la vinaza, que debido a su alta DBO<sub>5</sub>, genera una elevación temporal del pH. Este proceso está relacionado con

---

<sup>4</sup>Comunicación personal. Rodrigo Callejas, Profesor Facultad Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. 05 noviembre del 2012.

la descomposición de la materia orgánica de la vinaza, la que es altamente mineralizable (Doelsch *et al.*, 2009; Glória y Mattiazo, 1987; Leal *et al.*, 1983).

Por último, la materia orgánica (MO) del suelo en general es baja (Fuentes, 1994). Con estos niveles y en esta zona, que presenta altas temperaturas, el límite máximo de la DBO<sub>5</sub> para la aplicación de vinaza acorde a lo exigido por el SAG (2006) podría ser mayor, considerando que la evaluación para fijar este valor se realizó en la zona sur del país, la que presenta mayores contenidos de MO y una mayor pluviometría que la zona norte. Álvarez *et al.* (2007) observaron que suelos tratados con vinaza derivada de la elaboración del pisco presentaron mayor contenido de MO que suelos tratados con orujo. La MO presente en la vinaza, además de los contenidos de calcio y otras bases intercambiables, pueden facilitar la neutralización del aluminio intercambiable en suelos extremadamente ácidos o el desplazamiento del sodio en suelos fuertemente alcalinos y sódicos, sugiriendo que la vinaza puede ser un buen acondicionador de suelos (Quintero *et al.*, 2004).

Este tipo de comportamiento frente al uso de la vinaza lo han reportado Hernández *et al.* (2008) para el pH y la CE del suelo, y Paula *et al.* (1999), para K. Asimismo, Narváez (2008), analizando dosis crecientes de vinaza más un testigo, observó que no hubo diferencias en el contenido de K de dos suelos distintos sembrados con maíz dulce, concluyendo que la vinaza es capaz de satisfacer los requerimientos de K del cultivo.

Jaramillo (2010) utilizó distintas dosis de vinaza pura (entre 25 y 125 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) sobre mezclas forrajeras, contrastándolas con un tratamiento de fertilización química (133 kg·ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg·ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 kg·ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); observó que la vinaza, a diferencia de este estudio, aumentó la MO del suelo, probablemente debido a que la vinaza de pisco es más lábil que la de caña de azúcar. Por otra parte, aumentó el contenido de N en el suelo en relación a su contenido inicial, aunque no hubo diferencias entre ambas situaciones; el pH no varió y el P y el K, a diferencia del presente estudio, no variaron.

Díez-Rojo (2010) obtuvo resultados similares al presente estudio, evaluando el efecto de la vinaza de pisco en tomate sobre un suelo arcilloso, aplicando dosis de 1; 3 y 5 mL de vinaza en macetas de 250 g y con un testigo que fue sólo agua. En el suelo, la MO, la CE y el pH no variaron; el P fue mayor sólo con la dosis de 3 mL y el K no varió. Por su parte, el N total fue mayor en el testigo y disminuyó con dosis mayores, lo cual hace suponer que esta vinaza ayuda a la mineralización de los compuestos orgánicos y a la rápida absorción de fuentes de N disponible.

A pesar de que los contenidos de K foliares y en el suelo no fueron excesivos, el suelo a largo plazo podría saturarse con K (considerando que es el principal componente de la vinaza), generando una competencia y/o desbalance entre nutrientes. Por ello, las dosis de vinaza a utilizar deben ser calculadas en función



del factor de riesgo más importante, ya sea la extracción de K del cultivo o bien el límite de 112 kg DBO<sub>5</sub> por hectárea y por día. En este estudio, si bien es cierto la dosis de 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> está dentro del límite permitido para la DBO<sub>5</sub>, los niveles de K en el suelo son excesivos, pues la extracción para 10 t·ha<sup>-1</sup> (rendimiento promedio) de vid 'Chardonnay' es de 49,2 kg·ha<sup>-1</sup> de K (Vallone y González, 2003), y 206 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza aportan 167 kg·ha<sup>-1</sup> de K al suelo.

Lo anterior es ratificado por Armengol *et al.* (2003), quienes evaluaron el crecimiento de caña de azúcar analizando distintas dosis de vinaza (hasta 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), observando que, al quinto año de evaluación con tratamientos de 200 y 250 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, se logran concentraciones de K considerablemente mayores en todos los tratamientos, incluida la fertilización mineral. En países tropicales, como en dicho estudio (Colombia), los altos montos de precipitación anual permiten que parte del K y otros elementos se lixivien en profundidad en mayor medida comparado a la IV Región de Chile, donde la precipitación es escasa, por lo que se debe tener aún más precaución con las dosis de vinaza a utilizar en función de este elemento.

Hirzel (2008) señala que cuando el huerto está en plena producción se incrementa notablemente la absorción de K, llegando a ser el principal elemento extraído. Según Sierra (2002), la vid pisquera 'Pedro Jiménez', para obtener 40 t·ha<sup>-1</sup>, extrae 150 kg·ha<sup>-1</sup> de K; si se considera una eficiencia de fertilización del 80% (Ruiz y Sadzawka, 2005), se deberían aplicar 180 kg·ha<sup>-1</sup> de K, los que se lograrían con una dosis de 195 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de vinaza. Según los levantamientos nutricionales efectuados en Chile, el K es deficiente en viñedos, probablemente porque se destina en gran proporción a la uva y la extracción anual por hectárea es alta, siendo el elemento mineral que los frutales adultos extraen del suelo en mayor cantidad (Gil, 2007). En función de esto, y para este ejemplo, para evitar niveles excesivos de K en el suelo, cada año podría aplicarse una dosis máxima de vinaza similar a la señalada o en su defecto aplicarla año por medio, sin superar el límite máximo de DBO<sub>5</sub>. Se debe considerar también que la dosis de K que requiere un suelo arcilloso, debido a la mayor CIC que presenta, puede triplicar o cuadruplicar a aquella empleada en uno arenoso (Doménech, 2000).

Esta información desarrollada con vinaza de pisco sienta las bases para futuras investigaciones destinadas a validar las dosis acá propuestas y definir planes de manejo, que, en la medida que se validen agrónomicamente, puedan permitir la reclasificación de la vinaza desde residuo industrial a biofertilizante, dado las ventajas que se han observado con dosis moderadas. La vinaza podría ser utilizada en beneficio de los agricultores, permitiendo a la vez eliminar un foco de contaminación y reducir su costo de tratamiento. Por otro lado, es necesario conocer el efecto residual de la vinaza en el suelo y en las futuras producciones.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó este estudio es posible concluir que:

- El aporte de vinaza no genera respuestas negativas en la vid, pues no afecta el rendimiento de las plantas, no modifica la fecha de cosecha con respecto al testigo ni el peso de poda.
- La presencia de vinaza en el suelo aporta materia orgánica y elementos esenciales tales como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, no se modifica el pH del suelo ni aumenta la conductividad eléctrica.
- La vinaza, sería capaz de sustituir la fertilización química de nitrógeno y fósforo, elementos que comúnmente son incorporados al suelo con fuentes químicas. En el caso del potasio, para las dosis más altas su aporte fue excesivo y la dosis de vinaza debiese ser incorporada en función de la necesidad de potasio del cultivo.
- Es aconsejable el uso de vinaza en dosis de hasta  $206 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  al año, pues no se afecta el normal desarrollo de la parte vegetativa, no se afecta la producción, se promueve el crecimiento de raíces y cumple con el límite permitido para la  $\text{DBO}_5$ .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, R. y J. Alfaro. 1996. Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. *Organization for Tropical Studies* 3: 175.

Álvarez, C. 2004. Efecto de productos comercializados como bioestimulantes en el crecimiento de la vid "Sultanina". Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 36p.

Álvarez, A., R. García-Jiménez, I. Casares y R. Jiménez. 2007. Posibilidades de aplicación de vinaza en suelos rojos de la mancha (España). *Revista Pilquen, Sección Agronomía* 8: 16.

Arana, R. 2010. La vinaza, de contaminante a fertilizante. Agencia Universitaria de Periodismo Científico, AUPEC. Disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informe/s/junio96/vinaza.html>. Leído el 14 de marzo del 2011.

Armengol, J.E., R. Lorenzo y N. Fernández. 2003. Utilización de la vinaza como enmienda orgánica y su influencia en las propiedades químicas de vertisoles y en los rendimientos de la caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 24 (3): 67-71.

Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Eudeba y McGraw-Hill. Barcelona, España. 521p.

Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Springer Verlag, Berlin. 187p.

Cadahía, C. 2005. *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa, 3era edición. Madrid, España. 681p.

Callejas, R., P. Canales and V. García de Cortázar. 2009. Relationship between root growth of "Thompson Seedless" grapevines and soil temperature. *Chilean Journal Agricultural Research* 69 (4): 496-502.

Callejas, R. A. Bermejillo, E. Kania, G. Reginato, M. Ojer y E. Redondo. 2011. Manejo nutricional. pp: 135-160. *In: Producción de duraznos para la industria*. Federación plan estratégico de durazno industria. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Miguel Ojer Editor.

Callejas, R., E. Rojo, C. Benavides y E. Kania. 2012. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa. *Agrociencia* 46: 23-35.

CPL (Consejo de Producción Limpia). 2006. Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera III y IV Región: Chile produce limpio. Disponible en < [http://www.produccionlimpia.cl/medios/documentos/APL\\_Pisco\\_.pdf](http://www.produccionlimpia.cl/medios/documentos/APL_Pisco_.pdf). Leído el 8 de junio del 2010.

De Santa Olalla, F.M, P. López y A. Calera. 2005. Agua y agronomía. Ediciones Mundi-Prensa. España, 602p.

Dewis, J. y F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N°10. FAO. Roma. 57p.

Díez-Rojo, M. A. 2010. Efecto de las vinazas sobre los nematodos del suelo *Meloidogyne arenaria* y *Xiphinema index*. Tesis (Doctorado) – Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid. 409p.

Doelsch, E., A. Maison, P. Cazevieille and N. Condom. 2009. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture on aerobic or anaerobic incubation. Waste Management 29: 1929-1935.

Doménech, X. 2000. Química de suelo. Tercera edición, Ediciones Miraguano. Madrid, España. 215p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. Anuario estadístico de la FAO 2004.

Fernández, M.D, F. Orgaz, E. Fereres, J.C. López, A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela y M. Gallardo. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Caja Rural de Almería. 71p.

Fassbender, H. W. 1994. Química de suelos con énfasis en los suelos de América latina. Editor IICA. 420p.

Fredlund., D. G, H. Rahardjo, E. C. Leong and C. W. W. Ng. 2001. Suggestions and recommendations for the interpretation of soil-water characteristic curves. 1: 503-508. *In* Proceedings of the 14<sup>th</sup> Southeast Asian Geotechnical Conference.

Fredlund, D.G. 2002. Use of the soil-water characteristic curve in the implementation of unsaturated soil mechanics. Keynote address. 3: 887-902. *In* Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Unsaturated Soils.

Fredlund, G., D. Sheng and J. Zhao. 2011. Estimation of soil suction from the soil-water characteristic curve. Can. Geotech 48: 186-198.

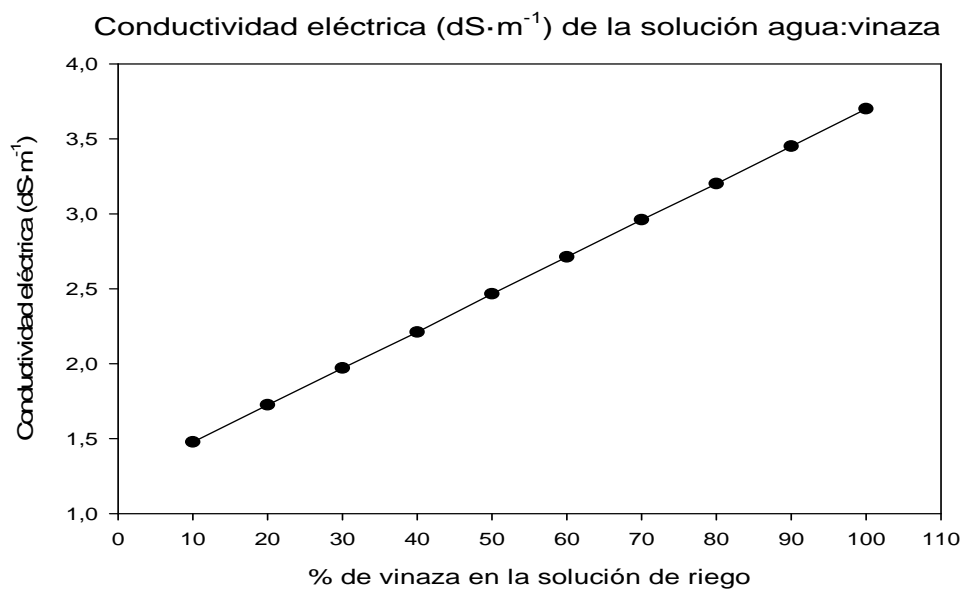
- Fregoni, M. 1999. *Viticulture di Qualità*. Secondo Edizione, Editoriale Phytoline, Italia. 819p.
- Freire, W.J y L.A.B. Cortez. 2000. *Vinhaca de cana-de-acúcar*. Guaíba, Agropecuaria. 203p.
- Fuentes, J. 1994. *El suelo y los fertilizantes*. Tercera edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327p.
- Gil, G. 2007. *El potencial productivo*. Ediciones Universidad Católica de Chile. 541p.
- Giraldi, D and R. Ianelli. 2009. Measurements of water content distribution in vertical subsurface flow constructed wetlands using a capacitance probe: benefits and imitations. *Desalination* 243: 182-194.
- Glória, N.A. and M.E. Mattiazzo. 1987. Effect of vinasse on soil acidity. *Water Science and Technology*, Oxford 19: 1293-1296.
- Gómez, J. 1995. Efecto de la vinaza sobre el contenido de potasio intercambiable en un suelo representativo del área cañera del Valle del Río Turbio. *Venesuelos* 3 (2): 69-72.
- Gunkel, G., J. Kosmol, M. Sobral, H. Rohn, S. Montenegro and J. Aureliano. 2007. Sugar cane industry as a source of water pollution – case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. *Water Air Soil Pollut.* 180: 261-262.
- Hernández, G. S., D. Salgado, L. Palma, L. Lagunas, M. Castelán y O. Ruiz. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33 (11): 855-860.
- Hirzel, J. C. 2008. *Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Colección libros INIA N°24 . 296p.
- Hoffman, G. A. M. Shannon. 2007. Salinity. pp. 131-160. *In: Microirrigation for crop production*. F.R Lamm, J.E Ayars and F.S Nakayama (Editors).
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile). 2012. Interpretación análisis químico de suelos. Disponible en: [http://www.inia.cl/link\\_cgi/suelo/cgi/suelo/resultados/7706](http://www.inia.cl/link_cgi/suelo/cgi/suelo/resultados/7706). Leído el 12 de Julio 2012.
- Jaramillo, R. 2010. Efecto de la vinaza, en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un andisol. Tesis (Doctorado) – Escuela Politécnica Nacional, Quito. 88p.

- Kay, B. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science. Special Issue*. Stewart, B.A. (Ed). Springer-Verlag, New York, USA. 12: 1-4.
- Leal, J.R., N. M. Amaral Sobrinho, A. C. X. Velloso y R. O. P. Rossiello. 1983. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, N°3, 7: 257-261.
- Meurer, E.J. 2000. *Fundamentos de química do solo*. Editora Génesis, Porto Alegre, Brazil. 174p.
- Narváez, M. 2008. Evaluación de actividad de fosfatasa y deshidrogenasa por efecto de la aplicación de vinazas en suelos cultivados con maíz dulce *Zea mays L.* Tesis (Doctorado) – Universidad de Colombia, Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 124p.
- Navarro, S. y G. Navarro. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda Edición. Editorial Grupo Mundi-Prensa, España. 477p.
- Obreza, T. A. and A. Schumann. 2010. Keeping water and nutrients in the Florida citrus tree root zone. *HortTechnology* 20(1): 67-73.
- Paltineau, I. and J. Starr. 2007. Soil water measurement: Capacitance. *Encyclopedia of Water Science*. Second edition 257: 1054-1057.
- Paula, M.B., V. D. Carvalho y F. D. Nogueira. 1992. Efeitos da vinhaca na produção e qualidade da cebola em solo de baixo potencial de produtividade. *Pesq. Agrop. Bras.* 27: 389-393.
- Paula, M. B., F. S. Holanda, H. A. Mesquita y V. D. Carvalho. 1999. Uso da vinhaca no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. *Pesq. Agrop. Bras.* 34: 1217-1222.
- Pérez, I. y N. Garrido. 2008. Ingeniería química. Tratamiento de aguas residuales; Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (Tratamiento de efluentes de la industria alcoholera). 148-153.
- Quintero, R., S. Cadena y C. Briceño. 2004. Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinazas. *Cenicafé* 17: 1-11.
- Rius, X. 2005. *Apuntes de viticultura australiana*. Quinta Edición, Editorial Agro Latino, Australia. 445p.

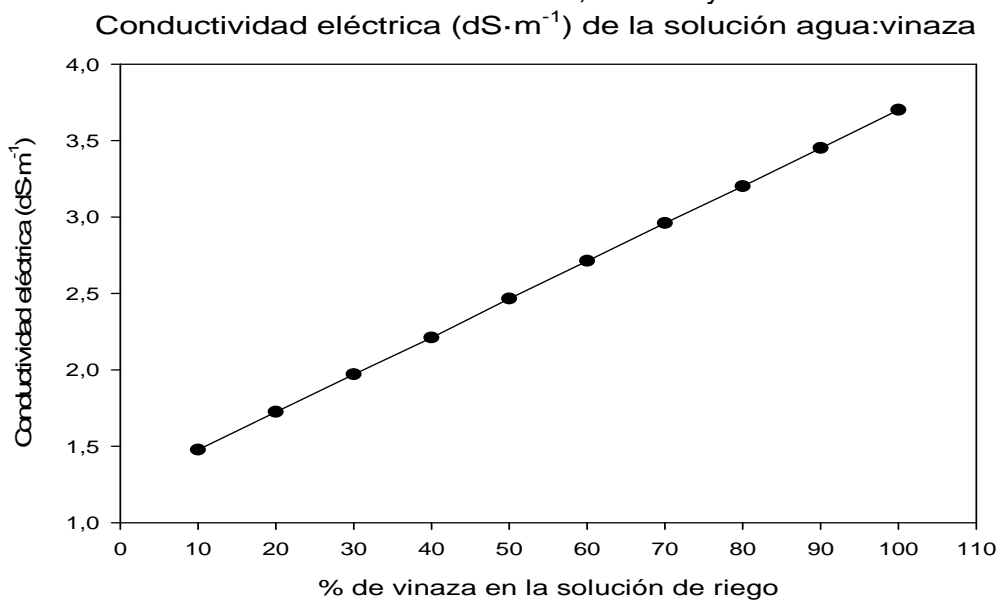
- Rodella, A., C. Parazzi y A. Cardoso. 1981. A composicao da vinhaca. Brasil Acucareiro 97: 25-33.
- Rojas, C., R. Novoa, F. Squella, J. Carrasco y C. Sierra. 2002. Tecnologías y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de suelos degradados. INIA, Serie Actas N°15. 168 p.
- Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. Agric. Téc. 60: 379-398.
- Ruiz, R. y A. Sadzawka. 2005. Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Colección libros INIA. N°14. 79p.
- Salifu, K.F., D. F. Jacobs, G. Pardillo and M. Shott. 2006. Response of grafted *Juglans nigra* to increasing nutrient availability: growth, nutrition, and nutrient retention in root plugs. HortScience 41: 1477-1480.
- SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). 2006. Guía para proyectos de industrias vitivinícolas que aplican riles al suelo. Disponible en <https://www.e-seia.cl/archivos/20081001.001346.pdf>, Leído el 12 de agosto del 2010.
- Sandoval, M., J. Dorner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción, Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Publicación N°5. Chillán, Chile . 80p.
- Sierra, C. 1992. Características físicas y químicas de algunos fertilizantes. Estación Experimental Remehue. Boletín Técnico N°18 9. 15p.
- Sierra, C. 2002. Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio para vides de mesa. Tierra Adentro 46: 10-11.
- Urbano, P. 2002. Fertilización orgánica con vinazas de alcoholera. Vida Rural. 155: 50-52.
- Vallone, R y M. González. 2003. El potasio en la viticultura regadía cuyana. Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyJ. Potasio en cultivos intensivos N°3, 135 - 216.
- Van Zyl, J.L. 1988. Response of grapevine to soil water regimes and irrigation systems. 30-43. In: The grapevine root and its environment. Viticultural and Oenological Research Institute, Pretoria.

## APÉNDICE I

## Figuras complementarias

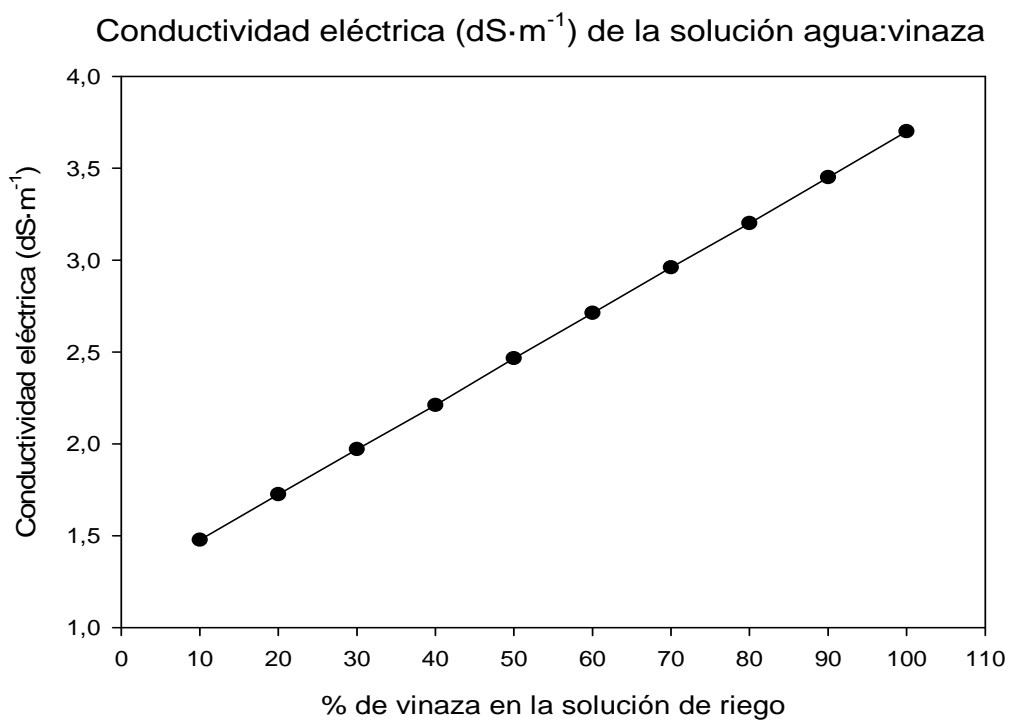


**Figura 1.** Conductividad eléctrica de la solución de riego en función de la concentración de vinaza en la solución, en ensayo con habas.

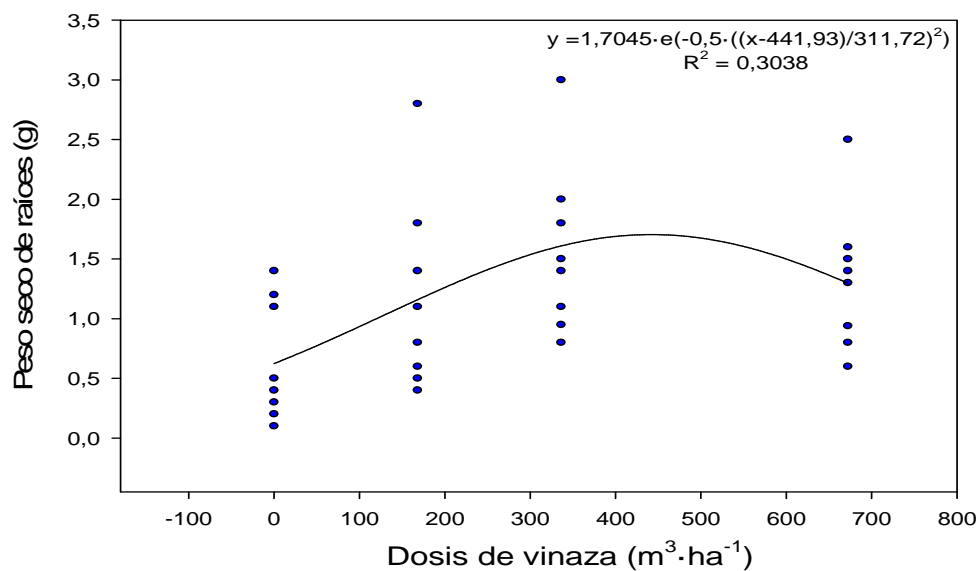


**Figura 2.** Conductividad eléctrica de la solución de riego en función de la concentración de vinaza en la solución, en ensayo con vides en rizotrones.

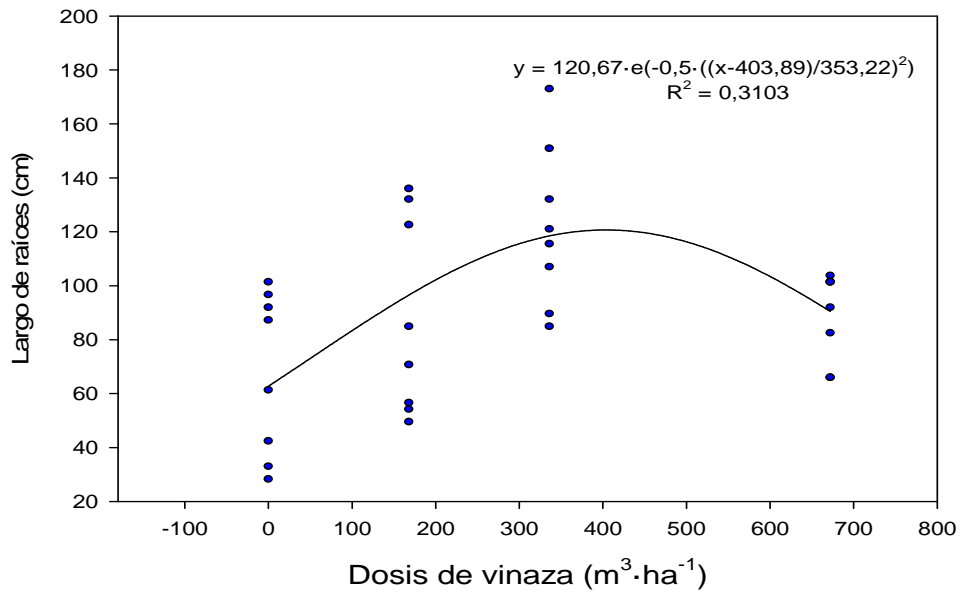




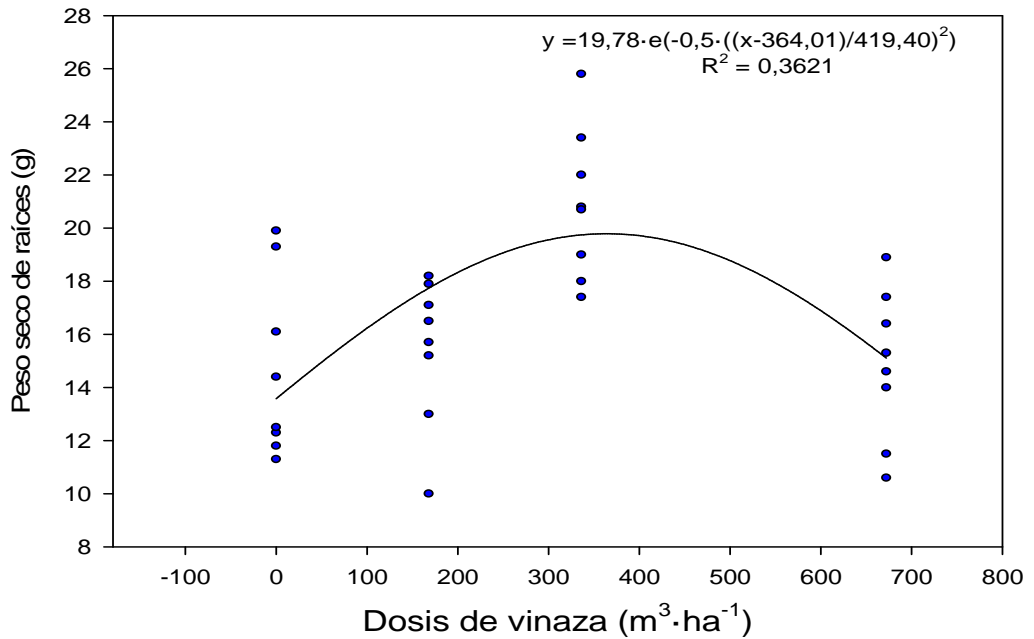
**Figura 3.** Conductividad eléctrica de la solución de riego en función de la concentración de vinaza en la solución, en ensayo con vides en macetas.



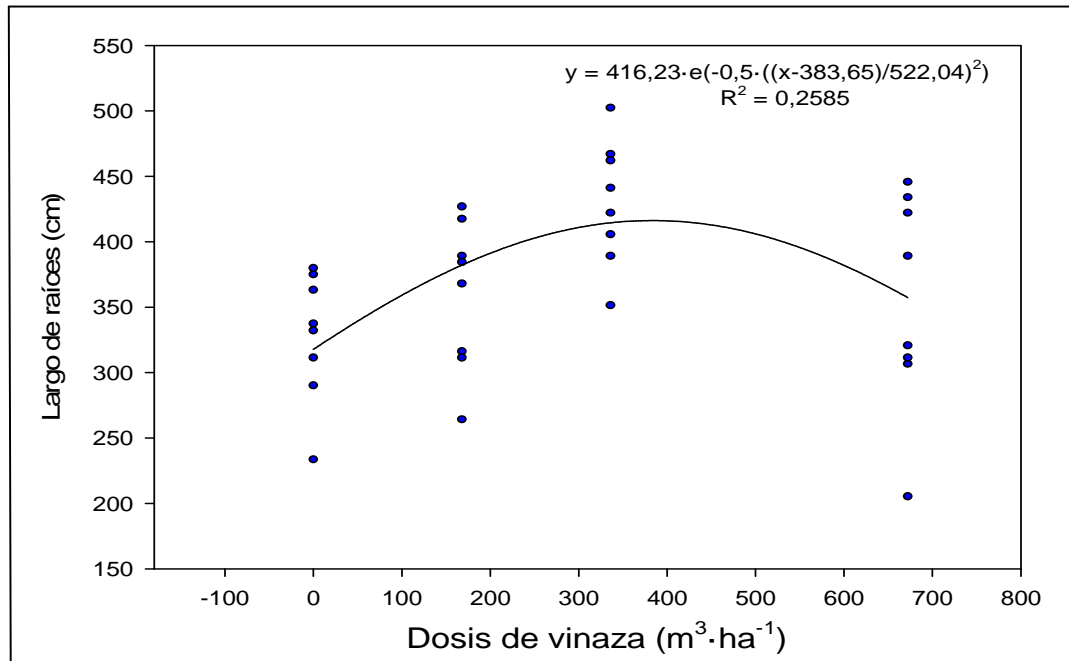
**Figura 4.** Peso seco de raíces en plantas de vid 'Pedro Jiménez' en rizotrones como función de la dosis de vinaza en  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  equivalente.



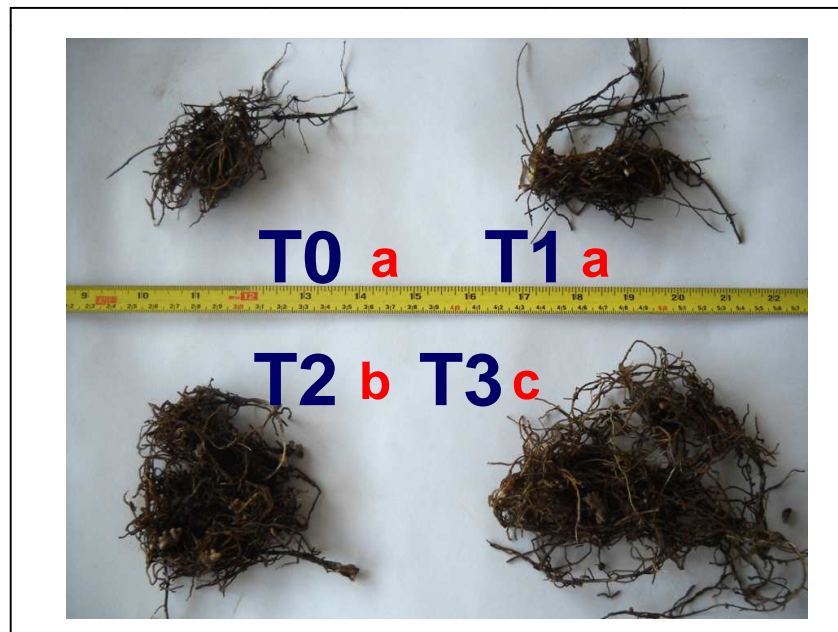
**Figura 5.** Largo de raíces en plantas de vid 'Pedro Jiménez' en rizotrones como función de la dosis de vinaza en  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  equivalente.



**Figura 6.** Peso seco de raíces en plantas de vid 'Pedro Jiménez' en macetas como función de la dosis de vinaza en  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  equivalente.



**Figura 7.** Largo de raíces en plantas de vid 'Pedro Jiménez' en macetas como función de la dosis de vinaza en m³·ha⁻¹ equivalente.



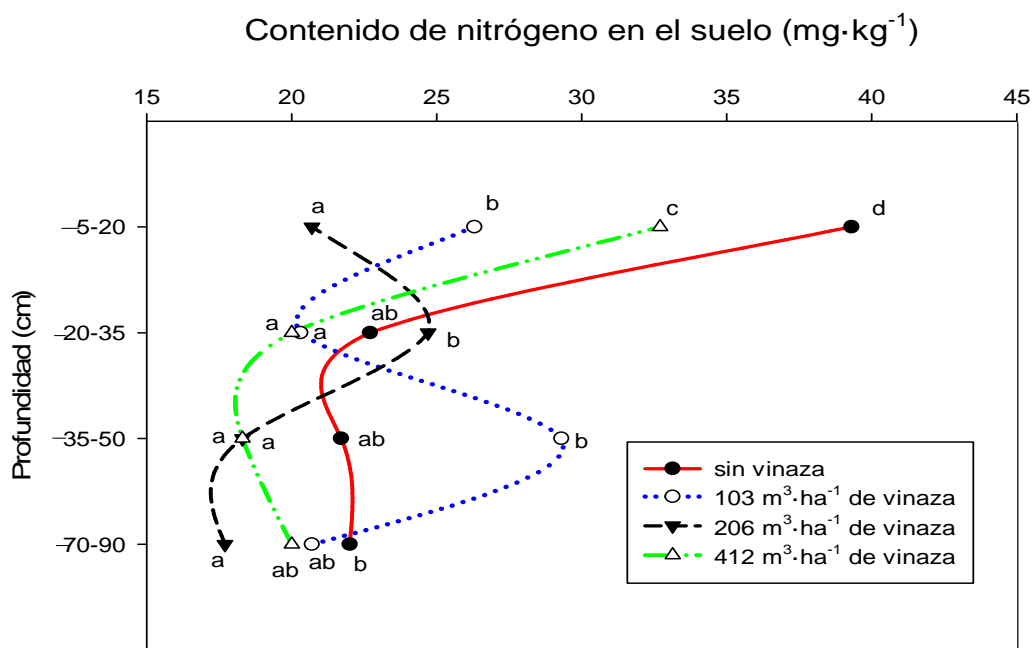
**Figura 8.** Raíces en plantas de haba en distintos sectores del rizotrópico tipo estrella: T0 = sin vinaza; T1 = 84 m³·ha⁻¹ de vinaza; T2 = 168 m³·ha⁻¹ de vinaza y T3 = 336 m³·ha⁻¹ de vinaza. Letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



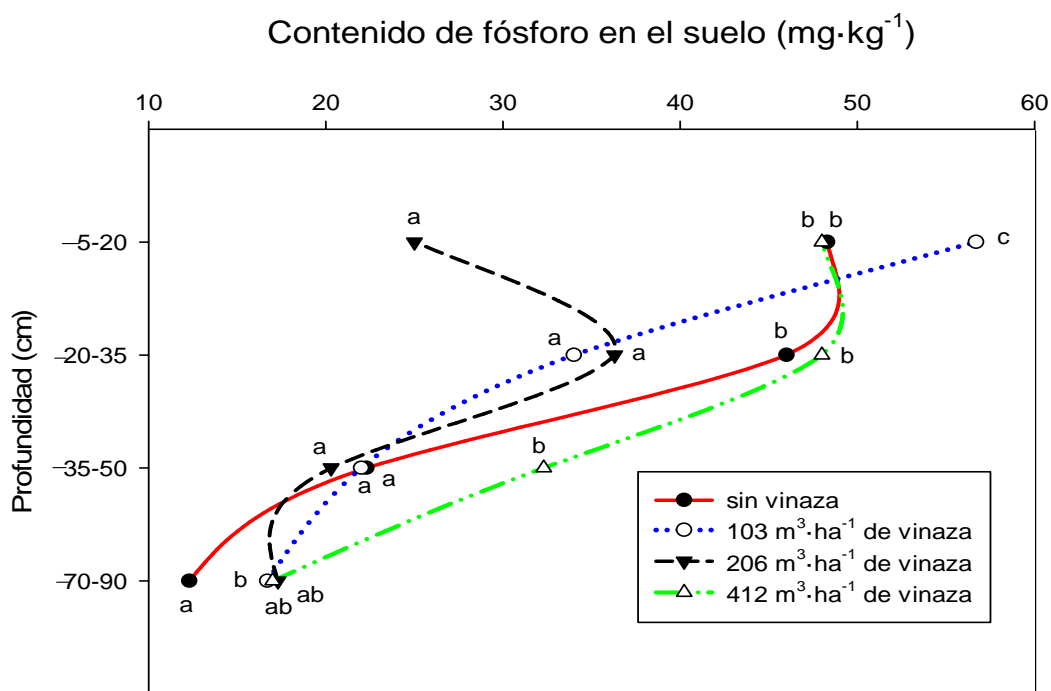
**Figura 9.** Raíces en plantas de vid en distintos sectores del rizotrópico tipo estrella: T0 = sin vinaza; T1 =  $168 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza; T2 =  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza y T3 =  $672 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza. Las raíces del centro corresponden a la estructura central del sistema radical de la planta. Letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



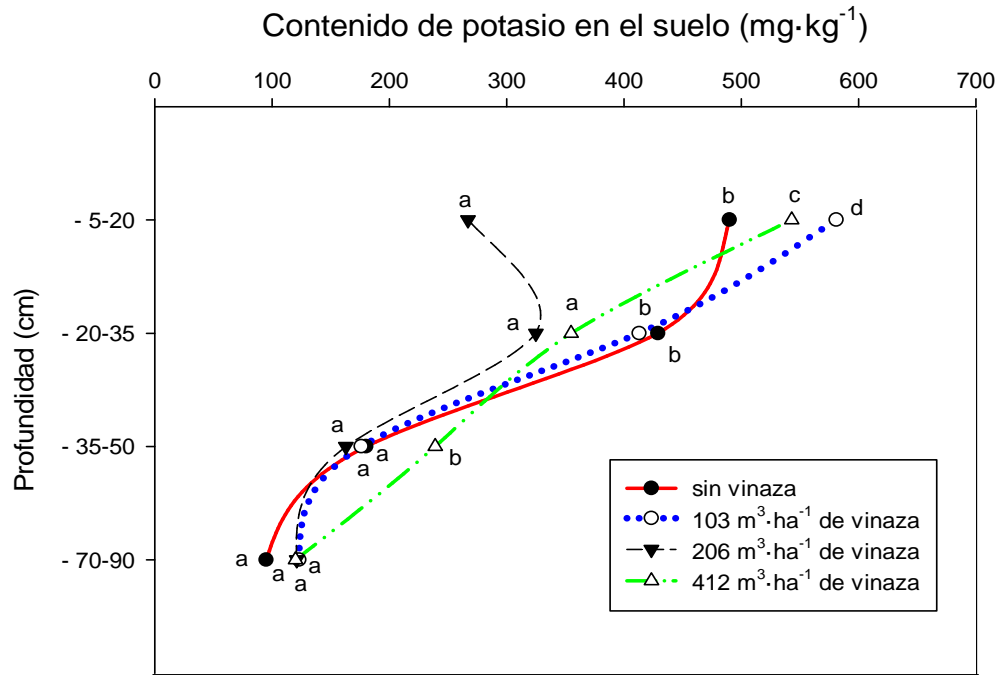
**Figura 10.** Raíces en plantas de vid en macetas: T0 = sin vinaza; T1 =  $168 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza; T2 =  $336 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza y T3 =  $672 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de vinaza. Valores con letras iguales no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



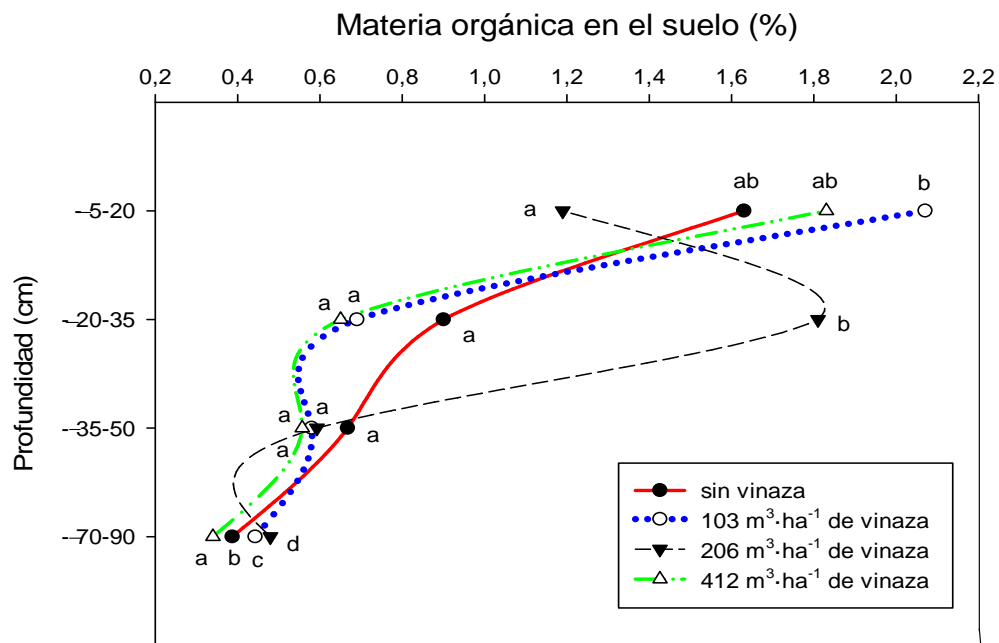
**Figura 11.** Concentración de N del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



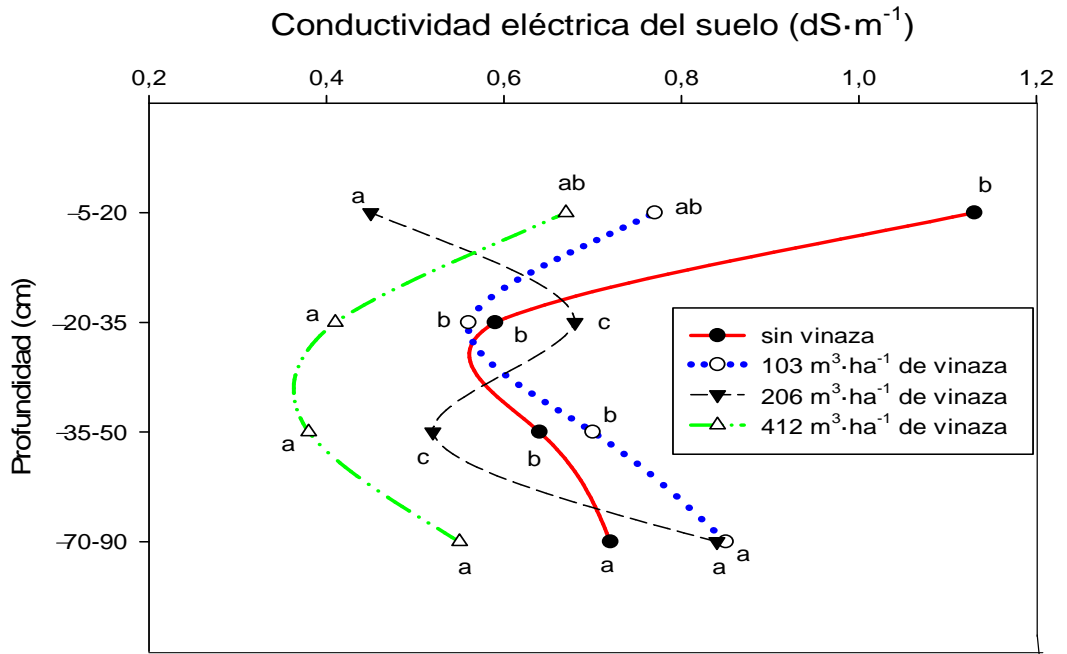
**Figura 12.** Concentración de P del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



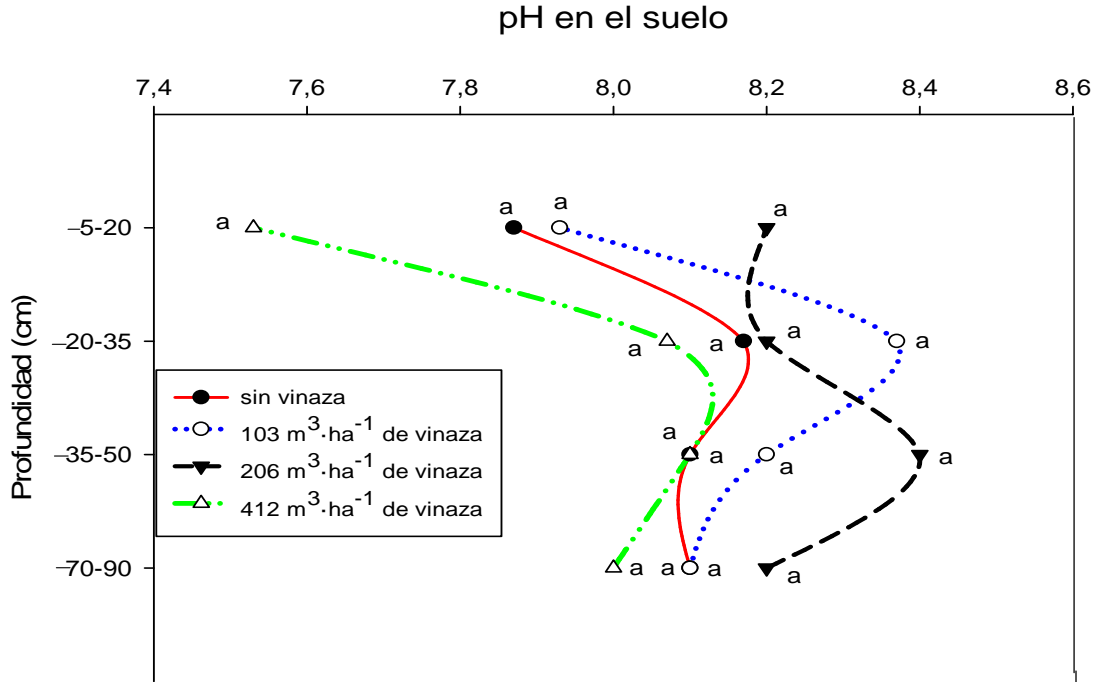
**Figura 13.** Concentración de K del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



**Figura 14.** Contenido de materia orgánica del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



**Figura 15.** Conductividad eléctrica del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).



**Figura 16.** pH del suelo con distintos tratamientos de vinaza. Letras iguales en una misma profundidad no difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

## APÉNDICE II

### Descripción morfológica del suelo del estudio Serie Oro Blanco realizado en Punitaqui.

#### **1er horizonte (0-10 cm)      A<sub>p</sub>**

Bloques subangulares finos, moderados, friable, franco arcillo arenoso, plástico y adhesivo, con gravas finas escasas, raíces finas comunes, medias escasas, poros finos, abundantes, medios abundantes, gruesos escasos, límite lineal claro.

Observación: se ve mezclado el material de la entrehilera con la platabanda.

#### **2do horizonte (10-20 cm)      A<sub>2</sub>**

Bloques subangulares finos y medios, fuertes.

Franco arcillo arenoso, plástico y adhesivo.

Raíces finas comunes, medias y gruesas abundantes.

Poros finos y abundantes, medios comunes.

Coprolitos escasos.

Límite lineal claro.

#### **3er horizonte (20-38 cm)      B<sub>1</sub>**

Bloques subangulares finos y medios, moderados.

Friable.

Franco arcillo arenoso, plástico y adhesivo.

Raíces finas escasas, medias y gruesas comunes.

Poros finos abundantes, medios abundantes.

Gravas angulares escasas de 2-4 cm.

Límite lineal gradual.



**4to horizonte (38-65 cm) B<sub>2</sub>**

Bloques subangulares finos, débiles.

Friable.

Franco arcillo arenoso, plástico, ligeramente adhesivo.

Raíces finas escasas, medias escasas.

Poros finos abundantes, medios escasos.

Límite lineal claro.

**5to horizonte (65-100 cm) B<sub>3</sub>**

Bloques subangulares finos y medios, débiles.

Franco arcillo arenoso, plástico y adhesivo.

Friable.

Raíces finas y medias muy escasas.

Poros finos abundantes.

Grava fina escasa.

### APÉNDICE III

#### Desviación estándar de las evaluaciones Capítulo III

**Cuadro 1.** Desviación estándar para la concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en envero y cosecha en plantas de vid 'Chardonnay' con distintos tratamientos de vinaza.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Desviación estándar				
	N	P	K	Ca	Mg
	<b>Envero (20-01-2012)</b>				
T0 (0)	0,14	0,09	0,08	0,27	0,02
T1 (103)	0,38	0,06	0,07	0,15	0,03
T2 (206)	0,11	0,04	0,11	0,26	0,04
T3 (412)	0,18	0,03	0,08	0,16	0,02
	<b>Cosecha (02-03-2012)</b>				
T0 (0)	0,22	0,02	0,12	0,38	0,10
T1 (103)	0,08	0,00	0,04	0,17	0,04
T2 (206)	0,16	0,04	0,09	0,16	0,05
T3 (412)	0,09	0,02	0,03	0,12	0,06

**Cuadro 2.** Desviación estándar para las variables productivas en plantas de vid 'Chardonnay'.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Desviación estándar			
	Producción/ planta (kg)	Racimos/ planta	Peso medio de racimos (g)	Peso de poda (kg/planta)
T0 (0)	0,87	6,44	21,62	0,38
T1 (103)	0,90	6,94	14,41	0,29
T2 (206)	1,26	9,01	15,59	0,43
T3 (412)	0,98	9,11	11,98	0,40

**Cuadro 3.** Desviación estándar para el índice de enraizamiento (IE) en función de la profundidad de suelo para los tratamientos aplicados en plantas de vid 'Chardonnay'.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	IE (0-20 cm)	IE (20-40 cm)	IE (40-60 cm)
T0 (0)	0,11	0,60	0,76
T1 (103)	0,43	2,18	1,52
T2 (206)	0,52	0,76	0,50
T3 (412)	0,14	0,25	1,38

**Cuadro 4.** Desviación estándar para el contenido de macronutrientes disponibles, materia orgánica, conductividad eléctrica (CE) y pH del suelo a distintas profundidades en el ensayo de plantas de vid 'Chardonnay' durante una temporada.

Tratamiento (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Desviación estándar			
	5-20 cm	20-35 cm	35-50 cm	70-90 cm
<b>Nitrógeno</b>				
T0 (0)	27,43	4,04	4,93	1,00
T1 (103)	2,51	4,72	19,62	7,02
T2 (206)	2,53	4,93	6,65	2,51
T3 (412)	12,48	1,73	2,88	1,73
<b>Fósforo</b>				
T0 (0)	32,52	31,79	12,85	4,16
T1 (103)	28,74	15,87	5,56	3,05
T2 (206)	8,04	11,06	1,52	5,03
T3 (412)	18,06	24,75	12,70	8,18
<b>Potasio</b>				
T0 (0)	278,37	273,13	131,77	39,87
T1 (103)	228,70	206,52	59,22	44,37
T2 (206)	152,19	97,50	10,40	24,58
T3 (412)	190,73	288,31	153,60	5,50
<b>Materia orgánica</b>				
T0 (0)	0,83	0,62	0,40	0,04
T1 (103)	0,55	0,26	0,32	0,11
T2 (206)	0,89	1,14	0,18	0,07
T3 (412)	0,61	0,18	0,10	0,17
<b>CE</b>				
T0 (0)	1,18	0,36	0,27	0,14
T1 (103)	0,22	0,19	0,17	0,09
T2 (206)	0,19	0,22	0,18	0,38
T3 (412)	0,05	0,05	0,09	0,27
<b>pH</b>				
T0 (0)	0,50	0,40	0,34	0,26
T1 (103)	0,41	0,25	0,30	0,17
T2 (206)	0,36	0,36	0,17	0,26
T3 (412)	0,55	0,41	0,43	0,45

## ANEXO I

Composición química de la vinaza utilizada en Punitaqui temporada 2011-2012.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
C.E (solución)	dS·m <sup>-1</sup>	3,9
pH (solución)		3,6
Materia orgánica	%	1,8
Carbono orgánico	%	1,00
Nitrógeno total (N)	%	0,08
Relación C/N	mg/l	13,5
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	mg/l	362
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	mg/l	924
Calcio total (CaO)	mg/l	122
Magnesio total (MgO)	mg/l	176
Hierro total (Fe)	mg/l	0,80
Manganeso total (Mn)	mg/l	1,4
Boro total (B)	mg/l	22,0
Cobre total (Cu)	mg/l	5,6
Zinc total (Zn)	mg/l	0,80
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,00

**Fuente: Laboratorio Agrolab.**

## ANEXO II

Composición química del agua de riego utilizada en Punitaqui temporada 2011-2012.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
C.E (solución)	dS·m <sup>-1</sup>	1,6
pH (solución)		7,35
RAS corregida		3,0
Sodio porcentual	%	37,4
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	515
<b>Cationes y aniones</b>		
Calcio (Ca)	meq/l	8,2
Magnesio (Mg)	meq/l	2,1
Potasio (K)	meq/l	0,09
Sodio (Na)	meq/l	5,5
Cloruro (Cl)	meq/l	6,9
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	meq/l	7,4
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	meq/l	2,1
<b>Cationes y aniones</b>		
Calcio (Ca)	mg/l	164
Magnesio (Mg)	mg/l	26
Potasio (K)	mg/l	4
Sodio (Na)	mg/l	127
Cloruro (Cl)	mg/l	245
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	mg/l	355
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	mg/l	128
<b>Otras determinaciones</b>		
N-Amoniaco (N-NH <sub>4</sub> )	mg/l	1,9
N-Nítrico (N-NO <sub>3</sub> )	mg/l	4,0
Fósforo (P)	mg/l	0,07
Boro (B)	mg/l	0,53
Cobre (Cu)	mg/l	0,01
Hierro (Fe)	mg/l	0,26
Manganeso (Mn)	mg/l	0,08
Zinc (Zn)	mg/l	0,01

Fuente: Laboratorio Agrolab.

**ANEXO III**

Rango óptimo de nutrientes en envero para la vid (Fregoni, 1999).

Elemento mineral	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>
	2,4-2,6	0,20-0,24	1,2-1,4	2,5-3,5	0,23-0,27