

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES Y**  
**AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**Programación del riego en vid (*Vitis vinifera* L.) de mesa y su efecto en la producción**

**TESIS**

**Sergio Payán Ochoa**

**Santa Ana, Sonora**

**Febrero de 2011**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Programación del riego en vid (*Vitis vinifera* L.) de mesa y su efecto en la producción

TESIS DE MAESTRÍA

Sometida a la consideración del Departamento  
de Administración Agropecuaria

de la

División de Ciencias Administrativas, Contables y Agropecuarias  
de la Universidad de Sonora

por

Sergio Payán Ochoa

Como requisito parcial para obtener el grado

de

Maestro en Ciencias Agropecuarias


Santa Ana, Sonora

Febrero 2011

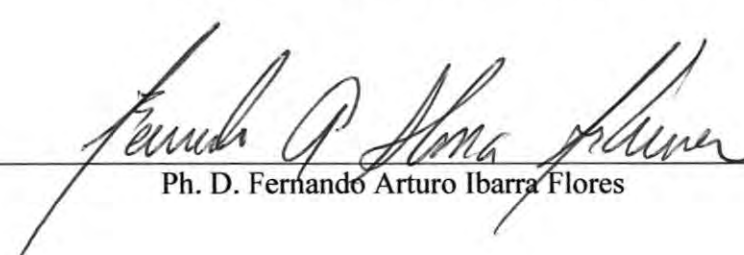
ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,  
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN  
DEL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**COMITÉ TUTORIAL:**

DIRECTOR:   
M. C. Benjamín Valdez Gascón

ASESOR:   
Ph. D. Martha Hortencia Martín Rivera

ASESOR:   
Ph. D. Fernando Arturo Ibarra Flores

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a Dios, por prestarme la vida, darme la salud y fuerzas suficientes para continuar con mi preparación académica a lo largo de mi formación profesional.

A mis padres, por su esfuerzo para educarme, por su paciencia, por sus consejos y por sacarme adelante en la vida; a mis hermanos que siempre han dado lo mejor de sí para brindarme todo su apoyo.

A mi esposa y a mis hijos, por tenerme paciencia y comprensión, sobre todo por esa inspiración que me brindan con el hecho de estar presentes en mi vida y me alientan para seguir adelante y lograr todas mis metas.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias por brindarme esta oportunidad, así como a la Universidad de Sonora por cobijarme en su seno y proporcionarme los conocimientos que me ayudaran a ser un hombre de bien y continuar con mi preparación, para forjar un mejor futuro, obtener mejor calidad de vida, servir a otras personas y a mi país, pero principalmente a mi familia.

Agradezco a mi gran amigo M. C. Benjamín Valdez Gascón, por su apoyo como director de esta tesis y convidarme a ser parte de una investigación dirigida por él, además por los consejos que siempre me ha brindado, porque es una gran persona a quien yo estimo mucho y siempre le estaré agradecido por haber compartido sus conocimientos y su experiencia laboral, para enriquecer los míos.

A mi asesora; Ph. D. Martha Hortencia Martín Rivera, por su gran apoyo en la elaboración de este documento, gracias doctora por su tiempo brindado para orientarme y por estar al pendiente para que todo saliera como debe, siempre le estaré agradecido.

A mi gran maestro y amigo Ph. D. Fernando Arturo Ibarra Flores, por hacerme el honor de formar parte de mis asesores, y contribuir en gran manera en la realización de este trabajo, por sus consejos y por su tiempo brindado para una mejor calidad del mismo.

Un especial agradecimiento al propietario del viñedo “San Luis”, el Ing. Luis Sierra Maldonado, que muy amablemente nos apoyó y estuvo en la mejor disposición, permitiéndonos llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

A todos los maestros que en el transcurso de mi preparación han aportado su granito de arena para hacerme una persona de bien y motivarme con sus consejos y vivencias a seguir adelante en mi preparación.

Al Lic. Martín A. López García y hermanos, así como a sus señores padres, el Sr. Jesús López y la Sra. Rosalba García, que gracias al apoyo y cariño que siempre me han brindado, fue una motivación más para subir un escalón en mi carrera y no desistir en ningún momento.

Por último, mi agradecimiento a todos mis compañeros de clase con los que he pasado ratos muy agradables y me han brindado su apoyo, críticas constructivas para mi mejor formación y sobre todo, me han demostrado su afecto y aceptación como soy, en especial a mi gran amiga, Alejandra Armenta Valenzuela.

Sinceramente, muchas gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

Dedico este humilde trabajo de tesis con todo mi amor y entrega a mis seres queridos, en especial a mi familia: a mi madre Benicia Ochoa Larquier, ese ser tan extraordinario que me dio la vida y luchó para cuidar de mí, y hoy sé que no le he fallado, he logrado que se sienta orgullosa de su hijo y para mí, es un placer que así sea y me llena de dicha, pues ella es el ser más maravilloso que he podido conocer.

A mi querida esposa Silvia Guevara Aragón por su apoyo incondicional y permanecer a mi lado en los momentos más difíciles de mi carrera profesional y claro, por regalarme a mis tres preciosos bebés, Sergio, Brandon Paúl y Silvia Paola, pues ellos son mi inspiración e impulso para salir adelante y continuar esforzándome para ser mejor cada día, y así poder brindarles una excelente educación para que un día ellos se sientan orgullosos de su padre y que con el favor de dios, nunca conozcan las carencias por las que yo he tenido que pasar.

Gracias por su amor y permanecer a mi lado.

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Características agronómicas de la vid.....	5
Generalidades del riego en vid.....	7
Sistema de riego por goteo.....	8
Programación del riego.....	10
Métodos de determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc).....	12
Dispositivos de medición de humedad del suelo.....	13
Tensiómetro.....	14
Sensores de resistencia eléctrica.....	16
Reflector de dominio de tiempo (TDR).....	18
Explorador del medio (EnviroScan).....	18
Sensor de prueba de capacitancia (C-probe).....	21
MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
Descripción de los tratamientos.....	30
Diseño experimental y análisis de datos.....	31
Monitoreo de humedad.....	32
Calibración de sensores.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
Consumo de agua.....	41
Resultados del monitoreo de humedad en el suelo.....	46
Resultados de la calibración de sensores.....	54



Producción y calidad.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Tensiómetro, dispositivo usado para medir la tensión (presión osmótica) de la humedad en el suelo.....	15
Figura 2.	Sensor de resistencia eléctrica, dispositivo utilizado para medir la tensión (presión osmótica) de la humedad en el suelo.....	17
Figura 3.	Reflector de dominio de tiempo (TDR, por sus siglas en inglés), dispositivo utilizado para medir el contenido de agua en el suelo.....	19
Figura 4.	Sensor explorador del medio (EnviroScan), dispositivo usado para medir el contenido de agua en el suelo.....	20
Figura 5.	Sensor prueba de capacitancia (C-probe), dispositivo utilizado para medir el contenido volumétrico de agua en el suelo.....	22
Figura 6.	Mapa satelital del Viñedo “San Luis” en la Costa de Hermosillo, Sonora, México. Fuente: Google Earth; imagen tomada el 19 de mayo de 2007.....	25
Figura 7.	Racimo completo de <i>Vitis vinifera</i> L., cultivar <i>Sugraone</i> , con bayas en proceso de maduración, Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	26
Figura 8.	Racimo completo de <i>Vitis vinifera</i> L., cultivar <i>Perlette</i> , con bayas en proceso de maduración Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	27
Figura 9.	Ejemplo de la base de datos en Excel, en donde se capturaron los datos de riegos y monitoreo de humedad del suelo, en ambos cultivares de vid cada mes durante todo el año, en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	29
Figura 10.	Refractómetro manual, dispositivo utilizado para medir la concentración de °brix en bayas de vid en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	33
Figura 11.	Sensor de resistencia eléctrica montado en un tubo de PVC, utilizado para medir la humedad del suelo en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	35
Figura 12.	Sonda de sensores “C-probe” utilizada como otra herramienta más para monitorear la humedad del suelo en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	37

Figura 13.	Medidor digital, instrumento utilizado para la toma de lecturas de los sensores de resistencia eléctrica en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	38
Figura 14.	Lámina de riego promedio y ETo, acumuladas en 2007 y 2008 con dos tratamientos de riego (Restringido y Modificado) y el Testigo, en el cultivar <i>Perlette</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	42
Figura 15.	Lámina de riego promedio y ETo, acumuladas en 2007 y 2008 con dos tratamientos de riego (Restringido y Modificado) y el Testigo, en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	44
Figura 16.	Láminas de consumo anual de agua (mm), Evapotranspiración (cm), y % de coeficientes de cultivo (Kc) para cada uno de los meses del año; en el cultivar <i>Perlette</i> , para la Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	45
Figura 17.	Láminas de consumo anual de agua (mm), Evapotranspiración (cm), y % de coeficientes de cultivo (Kc) para cada uno de los meses del año; en el cultivar <i>Sugraone</i> para la Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	47
Figura 18.	Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos de riego (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> , durante el ciclo de producción 2007 en el Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	48
Figura 19.	Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos de riego (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> durante el ciclo de producción 2008. Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	50
Figura 20.	Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar <i>Perlette</i> durante el ciclo de producción 2007. Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	52
Figura 21.	Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar <i>Perlette</i> durante el ciclo de producción 2008. Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México.....	53
Figura 22.	Calibración de sensores de resistencia eléctrica “ <i>Watermark</i> ” con el método gravimétrico a la profundidad de 40 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	55

Figura 23.	Calibración del sensor prueba de capacitancia “C-probe” con el método gravimétrico a la profundidad de 40 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	57
Figura 24.	Calibración de sensores de resistencia eléctrica “ <i>Watermark</i> ” con el método gravimétrico a la profundidad de 80 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	58
Figura 25.	Calibración del sensor prueba de capacitancia “C-probe” con el método gravimétrico a la profundidad de 80 cm en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar <i>Perlette</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	61
Cuadro 2. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar <i>Perlette</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2008.....	62
Cuadro 3. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.....	64
Cuadro 4. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar <i>Sugraone</i> del Viñedo “San Luis”, Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2008.....	65

## RESUMEN

El agua es el principal recurso para desarrollar una agricultura sustentable, sin embargo, cada día es menos la disponibilidad de este líquido, por lo que es de suma importancia mejorar su uso racional y eficiente, una forma de hacerlo es con la programación adecuada de los riegos dentro de los cultivos agrícolas. Este trabajo se realizó en un viñedo de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, con el objetivo de reducir al menos en un 30 % la cantidad de agua aplicada actualmente, con la hipótesis de que en la mayoría de los viñedos, se aplican riegos excesivos sin base técnica alguna, provocando un déficit en los volúmenes de agua del acuífero y afectando el rendimiento y la calidad en la producción. Se evaluaron dos tratamientos de riego y un testigo, en dos cultivares de vid de mesa: *Sugraone*, que es de ciclo de producción intermedio (172 días) y *Perlette*, de ciclo temprano (151 días). El diseño experimental que se utilizó fue un arreglo de bloques al azar con 15 repeticiones, manejando dos tratamientos de riego y un testigo; el tratamiento 1, riego “Restringido”, consistió en un programa de riego donde se aplicó solo el 70 % de la ETc usando una manguera de 16 mm con goteros dispuestos cada 50 cm de un gasto de 1.6 lph. El tratamiento 2, riego “Modificado”, se manejó aplicando el 100 % de la ETc, usando manguera de 16 mm con goteros dispuestos cada 50 cm de un gasto de 2.3 lph. En el “Testigo”, se aplicó también el 100 % de la ETc, usando una manguera de 16 mm, pero a diferencia de los tratamientos los goteros estaban dispuestos cada 75 cm, con un gasto de 3.5 lph, como la mayoría de los viñedos en la Costa de Hermosillo. Para monitorear la humedad en el suelo dentro del perfil radicular, en cada tratamiento se instaló una estación de monitoreo de humedad, compuesta por dos sensores de resistencia eléctrica, llevándose registro de una lectura diaria. También, se utilizó otro sensor llamado Prueba de Capacitancia (C-probe), se calibraron ambos sensores con el muestreo gravimétrico con el fin de establecer las lecturas equivalentes a capacidad de campo con cada uno de estos dispositivos. El experimento se evaluó midiendo parámetros a la cosecha tanto de

rendimiento como calidad, citando: número de racimos, peso de racimos, rendimiento de planta, diámetro de bayas y acumulación de sólidos solubles (°bríx). Todas las variables fueron analizadas con el paquete estadístico SAS utilizando un ANVA con una  $\alpha \leq 0.05$ , aplicando la prueba de Tukey para la comparación de medias. Los resultados obtenidos indican que el cultivar *Perlette*, durante el primer año no mostró ningún efecto con la reducción de la lámina de riego, sin embargo en el 2008 se presentó una afectación altamente significativa en el peso del racimo y significativa en el rendimiento de planta, con el tratamiento “Restringido”. El cultivar *Sugraone*, desde el primer año de estudio mostró una rápida adaptación a la reducción de los riegos, comportándose de manera similar el “Testigo” y el riego “Restringido”. En el 2008 el riego restringido se manifestó como el mejor tratamiento. Concluyendo, el cultivo de la vid de mesa con las condiciones climáticas de la región de la Costa de Hermosillo establecido en suelo franco arenoso, se puede manejar anualmente con menos de un metro de lámina de agua y en el cultivar *Sugraone* en especial, es posible reducir el riego un 30 % más, sin afectar rendimiento y calidad, pero se debe ser sumamente cuidadoso en la programación de los riegos y siempre llevar un monitoreo continuo de la humedad del suelo, en el perfil de suelo donde se encuentran las raíces absorbentes de la planta, para evitar un déficit hídrico o un sobre riego.

## ABSTRACT

Water is the main resource for developing sustainable agriculture, however, every day is less availability of water, so it is of utmost importance to improve their rational use and efficient way to do this is with proper programming risks in agricultural crops. This work was carried out in a vineyard of the Coast of Hermosillo, Sonora, México, with the goal of reducing by at least 30 % the amount of water applied today with the assumption that most of the vineyards, apply excessive irrigation without any technical base, causing a deficit in aquifer water volumes and affecting performance and production quality. The effect of two irrigation treatments and the control of two table grape cultivars *Sugraone*, which is intermediate production cycle (172 days) and *Perlette*, early cycle (151 days). The experimental design used was an array of random blocks with 15 repetitions, managing two irrigation treatments and a control, treatment 1, “Restricted” irrigation, consisted of an irrigation program where it was applied only 70 % of the ET<sub>c</sub> using a 16 mm hose with emitters arranged every 50 cm of an expense of 1.6 lph. Treatment 2, “Modified” irrigation, are handled using 100 % of ET<sub>c</sub>, using 16 mm hose with emitters arranged every 50 cm of an expense of 2.3 lph. In “Witness”, was also applied to 100 % ET<sub>c</sub>, using a 16 mm hose, but unlike the drip treatments were arranged every 75 cm, with an expenditure of 3.5 lph, like most of the vineyards on the Coast of Hermosillo. To monitor soil moisture in the root profile in each treatment were installed a water monitoring station consisting of two electrical resistance sensors, taking a daily reading log. Also, we used another test called capacitance sensor (C-probe), both sensors were calibrated with gravimetric sampling to establish the equivalent readings at field capacity with each of these devices. The experiment was evaluated by measuring parameters at harvest both yield and quality, citing: number of clusters, cluster weight, plant yield, berry diameter and accumulation of soluble solids (°brix). All variables were analyzed with SAS statistical



package using ANOVA with an  $\alpha \leq 0.05$ , Tukey test was applied for comparison of means. The results indicate that the cultivar *Perlette*, during the first year did not show any effect in reducing the irrigation requirement, however in 2008 there was a highly significant involvement in the bunch weight and yield significant plant limited treatment. *Sugraone* cultivar from the first year of study showed a rapid adaptation to reduce risks, behaving in a similar manner the “Witness” and “Restricted” irrigation. In 2008 “Restricted” irrigation was expressed as the best treatment. In conclusion, the cultivation of table grapes to the climatic conditions in the region of the Coast established in sandy loam soil, it can handle annually with less than a meter of water surface and grow *Sugraone* in particular it is possible reduce the risk to 30 % without affecting yield and quality, but be very careful in the scheduling of irrigation and always keep a continuous monitoring of soil moisture in the soil profile where the absorbing roots the plant, to avoid water stress or overwatering.

## INTRODUCCIÓN

El uso y dependencia del agua ha sido una actividad primordial desde la existencia del hombre hasta nuestros días, pero desde épocas prehistóricas se ha venido haciendo mal uso de ella, tanto que jamás se imaginó que algún día se escasearía este recurso y ahora es uno de los principales problemas a nivel mundial, día con día aumenta la escases de este vital líquido debido a un mal manejo en los diversos sectores de producción, donde se desperdicia en forma indiscriminada; siendo la agricultura la actividad que demanda los mayores volúmenes, debido a que se requiere de ellos para la producción de alimentos que debe mantenerse para satisfacer la demanda poblacional que cada vez es mayor.

En el estado de Sonora, específicamente en la Costa de Hermosillo, así como en todas las regiones de bombeo del Noroeste de México, se tiene una limitada disponibilidad de agua, lo que implica un mayor esfuerzo por parte de todos los sectores para lograr un uso eficiente de este recurso (Valdez *et al.*, 2007a). Este vital líquido es cada día más escaso y cada vez cuesta más su extracción, debido a características topográficas y geográficas con que se cuenta en la zona, esto provoca una condición hidrológica desfavorable comparada con otras regiones del país (Valdez *et al.*, 2007b), para poder hacer uso de este elemento en la agricultura de la región de la Costa de Hermosillo, el agua se tiene que extraer del subsuelo a más de 100 metros de profundidad mediante el uso de bombas, esto se refleja en los altos consumos de energía eléctrica, aumentando considerablemente los costos de producción y haciendo de la agricultura una actividad cada día menos rentable.

Otro problema que enfrenta la región, es la constante reducción en los volúmenes de agua disponibles en los acuíferos y que son destinados a los agricultores por medio de dotaciones en metros cúbicos cada día más insuficientes para irrigar la superficie cultivada, de tal manera que en los últimos años ha habido una considerable disminución en la superficie de siembra (las 120,000 ha que se cultivaban se redujeron a 55,000 ha.), también se ocasionó una

reconversión en el patrón de cultivos; hasta hace pocos años el cultivo que predominaba en la región eran los granos y se regaban de aniego o rodado; pero debido a el problema ya mencionado se cambiaron por cultivos hortofrutícolas, los cuales dan una alta rentabilidad por metro cúbico de agua y son irrigados por medio de sistemas presurizados altamente eficientes.

En el año de 1996 en el estado de Sonora se contaba con un total de 19 mil hectáreas establecidas con sistemas de riego presurizado, al paso de tres años ya existía el doble de superficie, actualmente se estima una superficie de 70 mil ha con este tipo de riego, de las cuales 22 mil ha corresponden a la Costa de Hermosillo (Valdez *et al.*, 2007a y Valdez *et al.*, 2007b).

En cuanto a la rentabilidad por metro cúbico de agua de los principales cultivos en la región de la Costa de Hermosillo, la lista es encabezada por las hortalizas con 6.44 pesos por m<sup>3</sup> de agua y situándose en segundo plano está la vid de mesa con 6.30 pesos, superando así en 3.7 veces la rentabilidad promedio de otros frutales que se cultivan en la región. De aquí la importancia de manejar adecuadamente las láminas de riego anuales e incrementar la rentabilidad de los cultivos. Una forma de ampliar la sostenibilidad de la vid es siendo más eficiente en el manejo del agua de riego, esto se logra con una adecuada programación de los riegos y suministrando el agua en cantidad, forma y oportunidad en sus diferentes etapas fenológicas. Aplicando una óptima lámina de riego en todo el ciclo de producción se evita el sobre-riego, pero se debe tener mucho cuidado de no caer en un déficit de irrigación que repercuta en la afectación de los estándares de rendimiento y calidad requeridos para la comercialización del producto final.

Para asegurar una adecuada programación de los riegos, es necesario apoyarse de instrumentos o dispositivos (sensores) de medición de humedad del suelo, de tal modo que éstos indiquen lo que está pasando en el subsuelo, sobre todo en el perfil donde se encuentra la zona radicular de la planta. También es indispensable hacer uso de las estaciones

agrometeorológicas automatizadas que proporcionan datos climáticos necesarios para programar riegos, éstas se encuentran distribuidas en toda la región agrícola de la costa y se accede a su información mediante un portal de internet de manera gratuita, el dato de más interés para la programación de los riegos es la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), la cual esta expresada en milímetros de agua extraídos por un cultivo de cobertura total, dígame un zacate o alfalfa que posee una determinada altura y jamás se sometió a un estrés hídrico, además trae implícito en su fórmula una serie de factores como radiación, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, etc. La ET<sub>o</sub> es indispensable para poder determinar la demandad real de agua o evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) en cuestión, en este caso los cultivares de vid de mesa *Perlette* y *Sugraone*.

La elaboración de diferentes programas de riego sirve para determinar cuál de ellos es el óptimo en cada variedad de uva de mesa, teniendo el mejor ahorro de agua y evitando un efecto adverso en la producción, por lo que existe la necesidad de contar con sistemas de riego presurizado en las parcelas para establecer este sistema; si bien es cierto que el establecimiento de un sistema de riego presurizado resulta una práctica con un elevado costo inicial, también lo es que con las bondades que proporciona en ahorro y distribución de agua el capital invertido queda cubierto en un tiempo relativamente corto.

En la actualidad el total de los viñedos de mesa establecidos en la Costa de Hermosillo cuentan con sistemas de riego por goteo y las nuevas plantaciones se están estableciendo con este mismo sistema. En lo único que difieren éstas de las ya establecidas es en el tipo de manguera que se utiliza; las mangueras diseñadas con emisores de bajo flujo que a su vez cuentan con menor espaciamiento entre goteros, están siendo mayormente aceptadas cada día, debido a su mejor eficiencia en la distribución del agua y mayor rapidez en la formación de los bulbos de humedad en la zona de raíces, economizando de esta manera el recurso y ahorrando energía al reducir los tiempos de riego. De acuerdo con estudios realizados por Larry E.

Williams *et al.* (2003), durante los los años noventa, se comprobó que proporcionando el 90 % de la ETc se puede manejar perfectamente la vid de mesa, pero si se aplica solo el equivalente al 60 % de ésta o menos, resulta imposible manejar favorablemente este cultivo. Se ha visto que los déficit de agua provocan en las hojas de la vid una reducción de elasticidad y plasticidad, del mismo modo se da una disminución en tamaño de la lámina foliar por la falta de este líquido (Schultz y Matthews, 1993).

El objetivo principal de este estudio fue determinar el programa de riego más adecuado a cada cultivar para lograr una reducción en las láminas de agua anuales que se aplican en los viñedos de mesa en la Costa de Hermosillo, sin afectar los rendimientos y la calidad de la cosecha. Otro objetivo fue conocer los milímetros de agua que se aplican al cultivo por cada hora de riego suministrada, llevando así un control en los volúmenes disponibles y hacer uso eficiente de ellos, siendo de esta manera, completamente eficaz en el manejo de este recurso. La hipótesis es que en el cultivo de la vid de mesa en la región de la Costa de Hermosillo, es posible reducir los volúmenes de agua aplicados actualmente sin afectar producción y calidad, llevando siempre un continuo monitoreo de la humedad en el suelo, específicamente en el perfil donde se encuentra el sistema radicular de la planta.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Características agronómicas de la vid.

La vid es una planta perenne que tiene una vida útil de por lo menos 20 años, todas las variedades provienen de una sola especie (*Vitis vinifera* L.) y los cultivares más sobresalientes son aquellos que poseen bayas sin semilla. Las principales variedades de uva de mesa son: *Perlette*, *Flame Seedless*, *Sugraone*, *Red Globe*, *Crimson Seedless*, *Black Seedless* y *Princesa* (Márquez *et al.*, 2004). Las más usadas en la región de la Costa de Hermosillo son *Perlette*, *Flame Seedless* y *Sugraone*; en menor importancia están *Black Seedless* y *Red Globe* (Osorio *et al.*, 2005). Las plantas de vid obtienen su óptimo desarrollo en zonas templadas, sin embargo, son cultivadas en todos los tipos de regiones climáticas, excepto en las de inviernos extremadamente fríos.

Este cultivo prefiere los suelos francos arenosos sin problemas de sales, lo cual permite mayor temperatura en la zona de raíces, de esta manera se puede manipular más fácilmente la fertilización y los riegos, que son los principales responsables en calidad y precocidad de la uva. La calidad del agua para riego debe tener una conductividad eléctrica (CE) menor de  $1.0 \text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,  $4.0 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de cloruros,  $20.0 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de sodio y menos de  $1.5 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de bicarbonatos; con estos valores al límite es posible que se tenga problemas con la producción (Márquez *et al.*, 2004).

En la mayoría de los casos como sucede en esta región, las parras son plantadas en condiciones ambientales desfavorables donde el suministro de agua y el tipo de suelo restringen su desarrollo, esto limita la productividad y calidad de la fruta. La principal causa de este problema es la inadecuada relación entre aire y agua contenidos en el perfil de suelo donde se encuentran las raíces de la planta, producto del mal manejo y la inadecuada programación de los riegos, que puede inducir en un déficit hídrico o un exceso de agua en el

perfil de las raíces (Ferreyra *et al.*, 2004), dependiendo del tipo de suelo existente será la magnitud del problema.

El cultivo de la vid se divide en dos grandes grupos de acuerdo a su uso: la uvas de mesa o para consumo en fresco y las uvas industriales; este último grupo comprende a las vides cuyas bayas son usadas en la fabricación de vinos, elaboración de pasa y para preparación de jugos o concentrados, las diferencias fisiológicas generales entre estos dos tipos de uva radican en que las industriales poseen bayas pequeñas y con un alto contenido de azúcar (22-26 °brix) y el contenido de acidez va de moderado a alto; mientras que en las uvas de mesa las bayas tienden a ser grandes, con moderada cantidad azúcar (16-20 °brix) y una acidez que va de moderada a baja. Debido al gran tamaño que se tiene que alcanzar en las uvas de mesa es necesario el uso de diversos promotores de crecimiento, que para la aplicación de los mismos se requiere hidratar a la planta, por consiguiente se dispara el uso del agua en las etapas de crecimiento y desarrollo de la baya (Wample y Smithyman, 2002). Cuando la disponibilidad hídrica de la vid durante el periodo de brotación a cosecha nunca constituye una condición de estrés hídrico, en el momento de la cosecha las bayas pueden alcanzar tamaños equivalentes a su potencial genético (Gurovich y Páez, 2004).

En cuanto a plagas y enfermedades, se menciona que la vid de mesa a nivel mundial es atacada por microorganismos e insectos que de no controlarlos pueden bajar considerablemente la producción (Jaime, 1993). En la Costa de Hermosillo, el Piojo Harinoso de la vid (*Planococcus ficus* S.) es la principal plaga, ya que ocasiona fuertes daños a la calidad y producción del cultivo, debido al potencial que posee este insecto para desarrollar grandes poblaciones. Esta plaga fue detectada en septiembre de 2001 afectando el 100 % de producción en 150 hectáreas, ocasionando pérdidas mayores a los dos millones de dólares (Fu *et al.*, 2005), para el año de 2003 ya se reportaba su presencia en más de 3,000 hectáreas entre la Costa de Hermosillo y la región de Pesqueira.

Las hormigas fueron consideradas una plaga de poca importancia para este cultivo hasta la aparición de *Planococcus ficus* S, debido a que estos dos insectos forman una especie de mutualismo, que consiste en la alimentación de las hormigas con la mielecilla secretada por los piojos harinosos y ellas a su vez los protegen de los enemigos naturales (Fu *et al.*, 2005). En cuanto a las enfermedades, la cenicilla de la vid [*Uncinula necator* (Schw.) Burr.] es la más común.

Otro problema serio son los nematodos llamados endoparásitos, se llaman así, porque se introducen en la raíz de las plantas provocando nódulos que evitan el paso de agua y nutrientes, provocando plantas deficientes y enfermas, el nombre científico del nematodo que ataca la vid es [*Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood]. De acuerdo con Márquez *et al.* (2004), [*Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood]. comúnmente es conocido como el nematodo agallador de la raíz y prospera en suelos arenosos.

### **Generalidades del riego en vid.**

En la Costa de Hermosillo actualmente el 100 % de la superficie de vid de mesa es irrigada con sistemas presurizados, específicamente riego por goteo superficial. Lo más importante en la operación de un sistema de riego por goteo es la programación adecuada de los riegos, lo cual consiste en cuánto y cuándo regar el cultivo, con el fin de suministrarle la cantidad de agua correcta y proporcionarla en el momento que es requerida por la planta, evitando así que ésta sufra un estrés hídrico (Valdez y Durón, 2004).

De acuerdo con estudios recientes se sabe que las recargas anuales del acuífero en la Costa de Hermosillo son de tan solo 151 millones de m<sup>3</sup> de agua dulce y 100 millones de agua salada, en lugar de los 350 millones de m<sup>3</sup> considerados durante los últimos 34 años (Valdez *et al.*, 2005). De aquí que el uso del riego localizado es esencial por su eficiencia; está difundido en las especies perennes por todo el mundo, en Chile hay una superficie estimada 65,000



hectáreas de frutales bajo este sistema, de las cuales 24,000 ha corresponden a vid de mesa en su mayoría irrigadas bajo el sistema de riego por goteo (Román, 2000).

### **Sistema de riego por goteo.**

El riego por goteo es el sistema presurizado más antiguo; en la prehistoria se enterraban vasijas de arcilla llenas de agua con el fin de que el líquido se infiltrara gradualmente en el suelo, por trasporo; pero el riego gota a gota moderno se desarrolló en Alemania hacia 1860, cuando los investigadores comenzaron a experimentar la subirrigación usando tuberías de arcilla para crear una combinación de riego y de sistema de drenaje. En 1920 fueron utilizadas tuberías perforadas, después O. E. Robey experimentó el riego por tubería porosa de tela en la universidad de Michigan. A finales de la segunda guerra mundial, en 1945 surgieron los plásticos modernos lográndose numerosas mejoras con su uso (Blass, 1973).

La actual tecnología de riego por goteo fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu, ellos en lugar de liberar el agua por agujeros minúsculos que fácilmente se podían obstruir por acumulación de partículas pequeñas, decidieron utilizar tuberías más amplias y de mayor longitud, empleando el principio de frotamiento para alentar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico; fue de esta manera como en 1959 se estableció el primer sistema experimental de este tipo, cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzerim, creó una compañía de riego a la que le llamó Netafim; e inmediatamente, desarrollaron y patentaron el primer emisor exterior de riego (gotero) y en 1965 lanzaron al mercado los primeros sistemas de riego por goteo.

Este método se desarrolló en Australia, América del Norte y América del Sur, hacia el final de los años 60 (Blass, 1973) y se ha venido perfeccionando a través del tiempo. En la Costa de Hermosillo, los sistemas de riego presurizado se comenzaron a utilizar en los años

setenta y se ha ido incrementando su uso enormemente, tanto así, que en la actualidad ocupan una superficie estimada de 11,800 hectáreas (Valdez *et al.*, 2005).

De acuerdo con Gal *et al.* (2004), el riego por goteo consiste en proporcionar agua y nutrientes a las plantas solo donde es requerido (riego localizado), mientras que la demás superficie de suelo se mantiene seca, en el caso de la vid, la calle existente entre las hileras de plantas; fue diseñado para desarrollar la agricultura en áreas de recursos hídricos escasos (Bresler, 1977), como es el caso de la Costa de Hermosillo. El principio básico de este sistema de riego consiste en mantener un alto potencial mátrico del agua en un volumen reducido de suelo, donde se desarrolla todo el sistema radicular de la planta, lo cual se logra con la aplicación diaria del riego, reemplazando así el agua consumida por las plantas un día anterior, esta forma de riego es muy eficiente en suelos de textura gruesa (suelos arenosos) donde se tiene menor capacidad en la retención de la humedad y buenas condiciones de aireación (Bresler, 1977); en suelos de textura fina (suelos con alto contenido de arcilla) con problemas de compactación sucede lo contrario, los riegos diarios pueden provocar problemas en el desarrollo de raíces, ya que el agua no penetra rápidamente en el perfil de suelo (INIA-ODEPA, 2000).

Sin embargo, en un suelo de textura franca (suelos con buenos niveles en el contenido de arena, limo y arcilla) al disminuir la frecuencias de riego (regar cada 3-6 días) aumenta el tamaño en los bulbos de mojado, esto al aplicarse mayor volumen de agua en cada riego (Bucks *et al.*, 1985; Caliandro *et al.*, 1988), y mucho más en los suelos de textura fina (Bresler, 1977). Lo anterior debe ser considerado por su importancia, efectivamente la calidad de la producción de acuerdo a lo citado por los investigadores Wample y Smithyman (2002), puede estar influenciada significativamente por el monto y el tiempo del riego. Un aspecto muy importante en este sistema de riego, es la continua sofisticación y diversificación por parte de las empresas fabricantes en equipos de bombeo y sus componentes; un claro ejemplo

esta en los emisores, los cuales en un principio eran goteros de inserción que se incrustaban manualmente en la manguera a diversas distancias, dependiendo el marco de plantación del cultivo y de acuerdo a la presión de operación en el cabezal de riego era como se comportaba el flujo de emisión del gotero; hoy se cuenta con una gran diversidad de mangueras con goteros incrustados en su interior, los cuales son autocompensantes (arrojan el mismo gasto en todo el tendido de riego con diferentes cambios de presión de carga), de variados gastos en su caudal y distinta separación entre los mismos, inclusive, algunas empresas venden goteros impregnados con herbicida para evitar la intrusión de raíces al interior de la manguera.

Como se mencionó existe un sin número de tipos de mangueras para riego y goteros, pero para asegurar un correcto funcionamiento de los sistemas de riego por goteo, se deben considerar varios puntos, uno de los más importantes es el mantenimiento (Nesbitt *et al.*, 2002), continuamente se debe realizar aplicaciones de ácidos, lavados en el cabezal de riego y purgado de las líneas regantes.

### **Programación del riego.**

Los investigadores Valdez *et al.* (2005), señalan que la programación de los riegos se refiere principalmente al cuánto y cuándo regar. Trimmer y Hansen (1994) definen la programación del riego como las técnicas necesarias con el fin de ahorrar agua y energía, pero aclaran que se debe tener conocimientos básicos del tipo de suelo y la calidad del agua. Un programa de riego debe determinar cuándo regar y cuánta agua se va a aplicar con el fin de cumplir objetivos específicos, el objetivo expresado con mayor frecuencia es tener una predecible influencia sobre el crecimiento de la planta, rendimiento, y calidad de la fruta.

Precisamente, los mayores rendimientos de cosecha están directamente relacionados con el volumen de consumo de agua (Ratlift *et al.*, 1983), además, los suplementos pequeños y periódicos de agua pueden aumentar el rendimiento y la calidad de la baya (Chaves *et al.*,

2010). La programación del riego, es una metodología que permite determinar la cantidad de agua que se debe aplicar en cada período fenológico de la vid, tomando en cuenta la interacción entre el suelo, planta y clima; estableciendo así la frecuencia de riego (¿cuándo regar?) y el tiempo de riego (¿cuánto regar?). Una ayuda muy importante en la programación del riego es la instalación de un dispositivo que estime de manera indirecta el contenido de agua en el suelo (Nesbitt *et al.*, 2002).

Para programar el riego es necesario estimar la evapotranspiración real de la vid y la capacidad de almacenamiento de agua que tiene el suelo en la zona de raíces, las cuales son requeridas en abundancia para el buen desarrollo de la planta. En conclusión y de acuerdo a Ortega (1999) y Ortega *et al.* (2003), que indican que la programación del riego es un procedimiento que permite establecer el momento oportuno de la aplicación del agua y la cantidad exacta que requiere aplicarse en el viñedo. La humedad almacenada en el suelo y que puede ser usada por las plantas (agua total disponible) es la diferencia entre la cantidad de agua almacenada a capacidad de campo (cc), que es igual al contenido de humedad en el suelo a una tensión de  $1/3$  atmósfera (atm) ó 33 centibares (cb) aproximadamente, y el punto de marchitez permanente (pmp), que es el contenido de agua en el suelo a una tensión de 15 atmósferas (1,500 cb), en la cual no es posible la absorción de agua por las raíces en la mayoría de las plantas (Allen *et al.*, 1998, citado por Fernández *et al.*, 2001).

En el laboratorio, la cc se determina en base al contenido de agua que queda de una saturación del suelo una vez que ésta se drenó libremente hasta ser despreciable, sin llegar a valores de pmp (Fernández *et al.*, 2001). La cantidad de agua que debe ser repuesta en la zona de raíces de una planta, está altamente influenciada por la estrategia de riego y algunos cambios en dicha zona, por tanto un déficit en la aplicación de los riegos acarrea como consecuencia un preocupante secamiento en el perfil de suelo donde se encuentra la zona radicular (Ratlift *et al.*, 1983).

## **Métodos de determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc).**

Existen métodos directos e indirectos para determinar la ETc de la vid; los primeros son relativamente caros y muy laboriosos, como es el muestreo gravimétrico, que se realiza *in situ* y consiste en realizar un muestreo del suelo utilizando una barrena de gajo o de tornillo; las muestras de suelo se pesan en húmedo al momento de ser extraídas y se depositan en un recipiente de metal con tapa hermética para evitar que pierdan humedad, posteriormente son trasladadas a un horno o estufa para secarlas a una temperatura de 105 °C, durante 24 horas o hasta que el peso de la muestra sea constante, algunos autores difieren en el tiempo de secado de la muestra, como es el caso de Topp y Ferré (2002), que recomiendan 48 horas. Una vez que está completamente seca la muestra, se pesa nuevamente para obtener el peso seco, finalmente se calcula la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco para determinar el contenido de agua en la muestra.

El uso de esta técnica implica realizar muchas mediciones, lo que ocasiona un sinnúmero de desventajas: se requiere equipo de laboratorio, herramientas de muestreo, 24 horas como mínimo para el secado de las muestras, añadiendo a todo esto, que es una técnica de destrucción de la estructura del suelo pues se requiere remover la muestra (Boman y Parsons, 2002).

Los métodos indirectos se basan en la evapotranspiración (ETo), medición de la demanda evaporativa de una región geográfica en particular, a lo largo de todo el año. Dicho de otra manera, son los consumos de agua por una unidad de tiempo (mm/día) en cultivos de referencia con cobertura total, donde los individuos poseen la misma altura y jamás han estado sometidos a algún estrés hídrico (Williams, 2001). La mayor demanda evaporativa coincide con las más altas temperaturas ambientales (Santos y Kaye, 2009). Dichos valores se obtienen de la estación de clima más cercana al sitio de estudio, dentro de la red de estaciones agrometeorológicas automatizadas que monitorean diferentes variables de clima y están

distribuidas en toda la región de la Costa de Hermosillo; se puede determinar el consumo exacto de agua (ETc) que requiere la vid, a través de la aplicación de un coeficiente de cultivo (Kc), (Boman, 2002) haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Donde:

ETc = evaporación de las plantas de vid (mm/día)

Kc = coeficiente del cultivo

ETo = ET de referencia basada en un cultivo con cobertura total (césped)

La principal ventaja de las estaciones agrometeorológicas automatizadas, es la disponibilidad inmediata de los datos en tiempo real, lo cual sirve para mejorar la estimación de la evapotranspiración potencial (ETo) usada en manejo y automatización del riego; estas estaciones cuentan con sensores que miden la temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura del suelo, humedad del suelo y humedad de las hojas, entre otros (Grageda *et al.*, 2002). Dentro del valor de ETo, están implícitos varios de los parámetros que miden los sensores de la estación como son la radiación solar, temperatura, humedad ambiental, dirección y velocidad del viento.

### **Dispositivos de medición de humedad del suelo.**

Para lograr una adecuada programación de los riegos, además del uso de las estaciones de clima mencionadas anteriormente, es de suma importancia apoyarse de dispositivos de medición de humedad en el suelo, pues la zona radicular es la parte de la planta que no se mira, pero es la fuente principal de abastecimiento de agua y nutrientes a los demás tejidos de la misma.

De acuerdo con Valdez *et al.* (2005), estos dispositivos, entre otros beneficios proporcionan ayuda para: 1. Mantener una adecuada humedad en el perfil de raíces, obteniendo un óptimo crecimiento en la planta y producción de la fruta, 2. Controlar el sobre-

riego al momento de efectuar el lavado de sales y 3. Mantener un déficit regulado de riego en etapas no críticas del cultivo.

En el mercado existe a la venta un sin número de estos dispositivos disponibles en varios precios, que como todo, tienen ventajas y desventajas (Nesbitt *et al.*, 2002), unos muy económicos y otros tienen un costo muy elevado. A continuación se mencionan algunos sensores de medición de humedad del suelo que son los más utilizados:

**Tensiómetro.** Es un tubo de plástico de 6, 12, 18, 24, 36 o 48 pulgadas de largo, con una cápsula de cerámica porosa incrustada en un extremo del tubo y un indicador de vacío (vacuómetro) en el otro extremo, conectándose ambos por un tubo lleno de agua (Figura 1), las unidades de medición de este dispositivo van de cero a 100 centibares (cb) o kilopascales (kpa), pero solo hasta 80 cb son confiables, una desventaja es que no miden directamente la cantidad de agua en el suelo, si no, la tensión que existe en él, por lo cual estos dispositivos se deben de calibrar (Prichard *et al.*, 2004), los tubos son colocados en el suelo a la profundidad donde se requiera monitorear la humedad en el suelo, para asegurar una correcta distribución del agua de riego.

Los tensiómetros funcionan de tal manera que el suelo ejerce una tensión sobre la columna de agua en el interior del dispositivo, lo cual hace que la altura de dicha columna descienda, pasando al suelo y provocando por lo tanto una presión negativa, de esta manera el tensiómetro mide directamente la energía de succión que requiere la raíz de la planta para poder extraer las partículas de agua que están retenidas en el suelo; pero el rango de medición de estos dispositivos es muy corto (0-100 cb), las lecturas cercanas a cero cb indican que el suelo está saturado de agua, mientras que lecturas más altas indican la disminución del agua en el perfil del suelo. La ventaja de este dispositivo es que proporciona rápidamente la medida del potencial mátrico del suelo (*in situ*), además tiene un bajo costo y es de fácil instalación; pero



Figura 1. Tensiómetro, dispositivo usado para medir la tensión (presión osmótica) de la humedad en el suelo.



tiene el inconveniente de que las lecturas varían de acuerdo al tipo de suelo, además que requiere de un mantenimiento periódico (Fernández *et al.*, 2001).

**Sensores de resistencia eléctrica.** Estos sensores se usan desde 1978, están compuestos por dos electrodos envueltos en una matriz de yeso y conectados a dos cables guía de aproximadamente 1.5 metros de longitud, el yeso está forrado de una membrana sintética protegida en su exterior con fibra de vidrio y una maya de acero inoxidable para evitar su deterioro, de esta forma queda protegido contra la salinidad (Figura 2). Al igual que los tensiómetros, sus unidades de medición son centibares (cb), pero difieren de éstos en que los sensores de resistencia eléctrica tienen mayor rango de lectura (0-200 cb), además de no requerir mantenimiento alguno. Para obtener las lecturas se debe de contar con un medidor digital que se conecta a los electrodos por medio de los cables guía de la cápsula, este dispositivo también puede ser conectado a un “*data-logger*”, donde las lecturas de humedad se guardan automáticamente cada cierto tiempo, según la programación que se requiera, de acuerdo al cultivo en cuestión.

Los cambios que se den en el contenido de humedad del suelo causan cambios en el contenido de agua dentro de la cápsula, manifestándose así cualquier cambio en la resistencia eléctrica del sensor; los efectos de salinidad son estabilizados por el yeso, precipitando o disolviendo las sales, estas condiciones mantienen una condición eléctrica del agua en la cápsula, sin embargo, si los contenidos de sales en el agua y suelo exceden el nivel correspondiente a una mezcla saturada de yeso ( $1-1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ó  $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) se puede afectar la resistencia del bloque; otro aspecto importante es la temperatura, pues la resistencia eléctrica decrece a medida que la temperatura se incrementa.

Existen resultados donde se muestra que los sensores de resistencia eléctrica, son los más apropiados para su uso con métodos de riego con baja frecuencia y también en sistemas



Figura 2. Sensor de resistencia eléctrica, dispositivo utilizado para medir la tensión (presión osmótica) de la humedad en el suelo.

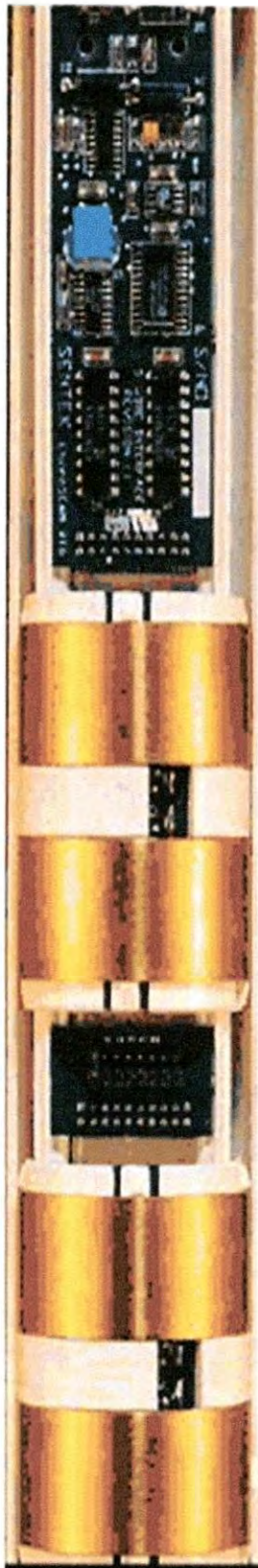
de micro irrigación, donde las frecuencias de riego mantienen el suelo relativamente húmedo, estos dispositivos no requieren de mantenimiento y tienen una vida útil promedio de tres años, funcionando correctamente; dependiendo de las condiciones del suelo, la durabilidad después de los tres años puede variar, pues una humedad constante causa deterioro en la matriz de yeso según Prichard *et al.* (2004); la ventaja de estos sensores, es que proporcionan medidas continuas de la humedad del suelo, aparte de ser baratos y fáciles de instalar. La desventaja al igual que el tensiómetro es que no miden directamente el contenido de agua en el suelo, solo miden el potencial matricial (Fernández *et al.*, 2001). Las lecturas (resistencia) que arroja el medidor digital, van desde 0 a 200 cb, donde el valor de 0 a 10 cb, equivale a un suelo completamente saturado de agua (resistencias más bajas corresponden a mayor contenido de agua en el suelo y a la inversa).

**Reflector de dominio de tiempo (TDR).** Este es un sensor que mide la constante dieléctrica del suelo, por medio del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético, que se introduce en el suelo a través de dos varillas de acero inoxidable (Figura 3). Tiene la ventaja de ser muy preciso y no necesita calibración; además que mide el contenido de agua en el suelo, pero es muy costoso y la toma de lecturas es un poco laboriosa (Fernández *et al.*, 2001), además presenta problemas en suelos con alto contenido de materia orgánica y de textura fina (Hanson y Peters, 2000). La velocidad de medición depende de las propiedades del suelo, especialmente del contenido de agua y la conductividad eléctrica, la medición persiste en promedio aproximadamente 30 segundos (Cary y Ficher, 1983).

**Explorador del medio (EnviroScan).** Es un conjunto de sondas con varios sensores colocado a distintas profundidades en un tubo de cloruro de polivinilo (PVC) y utiliza la capacitancia para medir la humedad del suelo, alrededor de cada sensor se crea un campo eléctrico de alta frecuencia, la cual está en función del contenido de agua en el suelo (Figura 4). Un equipo está



Figura 3. Reflector de dominio de tiempo (TDR, por sus siglas en inglés), dispositivo utilizado para medir el contenido de agua en el suelo.



**Sentek**  
ENVIRONMENTAL INSTRUMENTS

### EnviroSCAN PROBE DESIGN

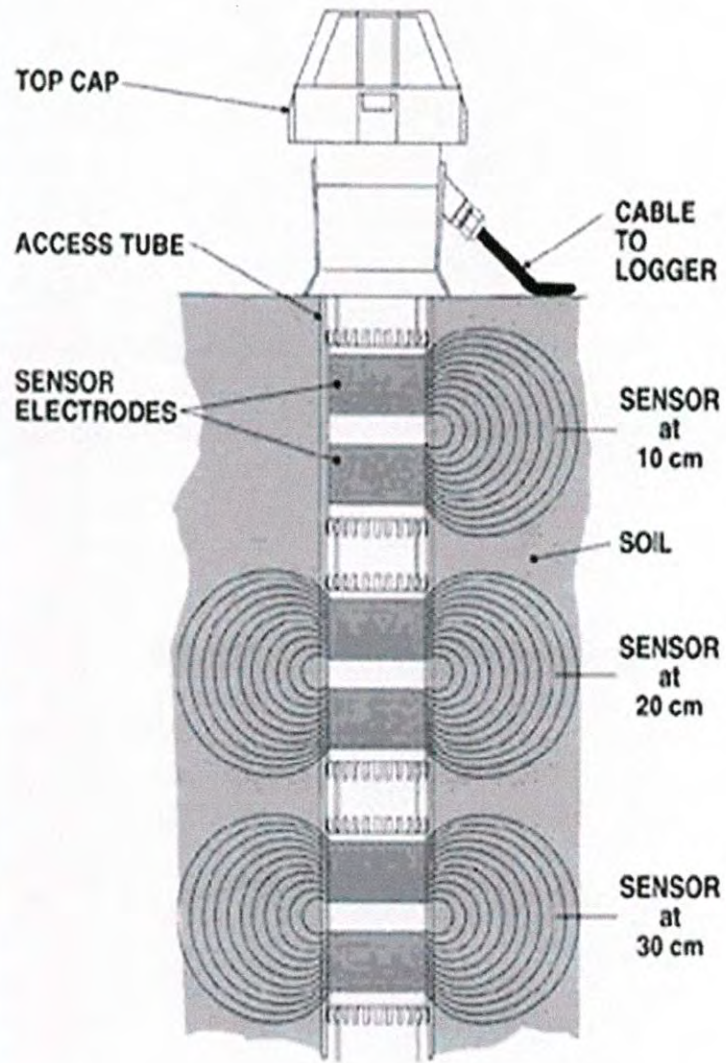


Figura 4. Sensor explorador del medio (EnviroScan), dispositivo usado para medir el contenido de agua en el suelo.

compuesto por varias sondas conectadas por medio de un cable a una base de datos donde se almacenan las lecturas de todos los sensores. La ventaja de este dispositivo, es que permite colocar sensores a distintas profundidades en el mismo tubo de acceso y realizar medidas del contenido de agua en el suelo en todas las profundidades de forma continua, la principal desventaja es su elevado costo y su difícil instalación (Fernández *et al.*, 2001).

**Sensor de prueba de capacitancia (C-probe).** Es una sonda con sensores compuestos por dos electrodos separados con un material llamado dieléctrico, los sensores están dispuestos comúnmente a cada 10.0 cm uno de otro, en un tubo de PVC, pero dicha disposición se puede designar de acuerdo a las profundidades que se desee muestrear en el perfil del suelo (Jaworski *et al.*, 1999). Es muy similar al Enviroscan, pero el “C-probe” solo es una sonda que normalmente usa electrodos cilíndricos y aplica una frecuencia oscilatoria entre 50 y 150 Mhz a los electrodos, la cual resulta una frecuencia resonante y la magnitud de ésta depende de la constante dieléctrica del suelo; el más alto contenido de humedad del suelo puede ser la frecuencia de resonancia más pequeña (Figura 5). Este dispositivo tiene la desventaja de requerir calibración en cada tipo de suelo, para poder obtener lecturas correctas con este dispositivo debe ser calibrado periódicamente; además de que ostenta poco rango de acción en el suelo, aunado a su alto costo de adquisición, el cual varía de cientos hasta miles de dólares (Prichard *et al.*, 2004).

Todos los dispositivos mencionados con anterioridad, poseen mecanismos de medición puntual y la humedad del suelo tiene una variabilidad espacial, por lo que es de mucha importancia conocer la zona de raíces de mayor absorción de agua y la uniformidad de distribución de la misma, sobre y entre las líneas regantes para no cometer errores de interpretación de datos con respecto a las lecturas obtenidas. También se considera importante realizar una calibración en campo de los dispositivos que se utilizaran para medir humedades



Figura 5. Sensor prueba de capacitancia (C-probe), dispositivo utilizado para medir el contenido volumétrico de agua en el suelo.

mediante el método conocido como gravimétrico *in situ*; con el fin de determinar los valores de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente del tipo de suelo en cuestión. Otro punto muy importante a tomarse en cuenta con todos los dispositivos de medición de humedad del suelo, es que para obtener las lecturas correctas se deben colocar dentro del bulbo de mojado, que comprende la zona radicular de la planta (Fernández *et al.*, 2001).



## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el campo agrícola San Luis, ubicado en el km 19.5 de la calle 12 Norte en la Costa de Hermosillo, Sonora, México (Figura 6). Está a una latitud de 29° 00' 37.05" Norte y una longitud de 111° 28' 39.73" Oeste, presenta una elevación de 81.0 msnm (Google Earth, 2008) y su suelo es franco arenoso.

Para el experimento se utilizó el cultivo de vid de mesa usando dos cultivares de siete años de edad, los cuales fueron: *Perlette* y *Sugraone*. El cultivar *Perlette* tenía un marco de plantación de 4.0 m de separación entre hileras y 1.0 m entre plantas, siendo considerado como una plantación de alta densidad con 2,500 plantas por hectárea. El cultivar *Sugraone* tenía un marco de plantación de 4.0 m de separación entre hileras y 1.5 m entre plantas, con una densidad de 1,666 plantas por hectárea, considerándose también como un cultivar de producción intensiva. El cultivar *Sugraone* produce bayas ovaladas de color blanco sin semilla (Figura 7), su ciclo de producción está considerado como intermedio a tardío (10 de enero al 25 de junio), su vigor es alto y es una uva de mesa muy productiva. El cultivar *Perlette* también produce bayas de color blanco sin semilla, pero un poco más pequeñas y redondas (Figura 8); su ciclo de producción es corto (30 de diciembre al 25 de mayo) y tiene vigor medio (Márquez *et al.*, 2004).

El sistema de riego en el viñedo San Luis es similar al de la mayoría de los viñedos de la Costa de Hermosillo, está compuesto por un sistema de bombeo encargado de conducir el agua mediante tuberías de Cloruro de Polivinilo (PVC, por sus siglas en inglés) hasta el predio que se desea irrigar, no sin antes pasar por un sistema de filtrado, el cual está compuesto por varias boyas rellenas con arena y grava que a su vez hacen la función de filtrado, pasando el agua primeramente por la arena para retener partículas e impurezas que pueden ocasionar taponamiento en los goteros. La manguera que se usó en ambos cultivares tenía un diámetro de 16 mm, con goteros autocompensados, los cuales arrojaban el mismo gasto de agua en toda



Figura 6. Mapa satelital del Viñedo "San Luis", en la Costa de Hermosillo, Sonora, México. Fuente: Google Earth; imagen tomada el 19 de mayo de 2007.

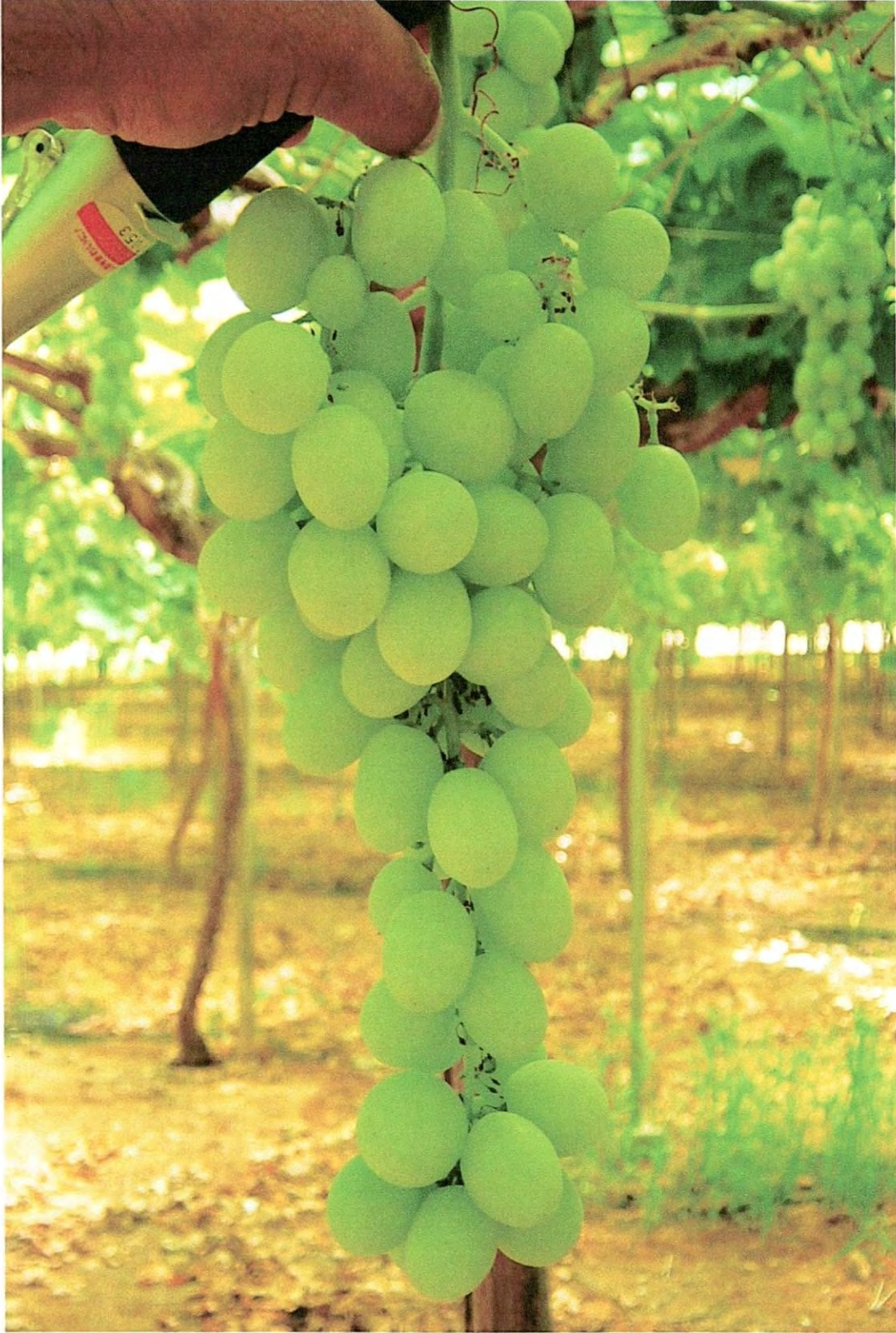


Figura 7. Racimo completo de *Vitis vinifera* L., cultivar *Sugraone*, con bayas en proceso de maduración, Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

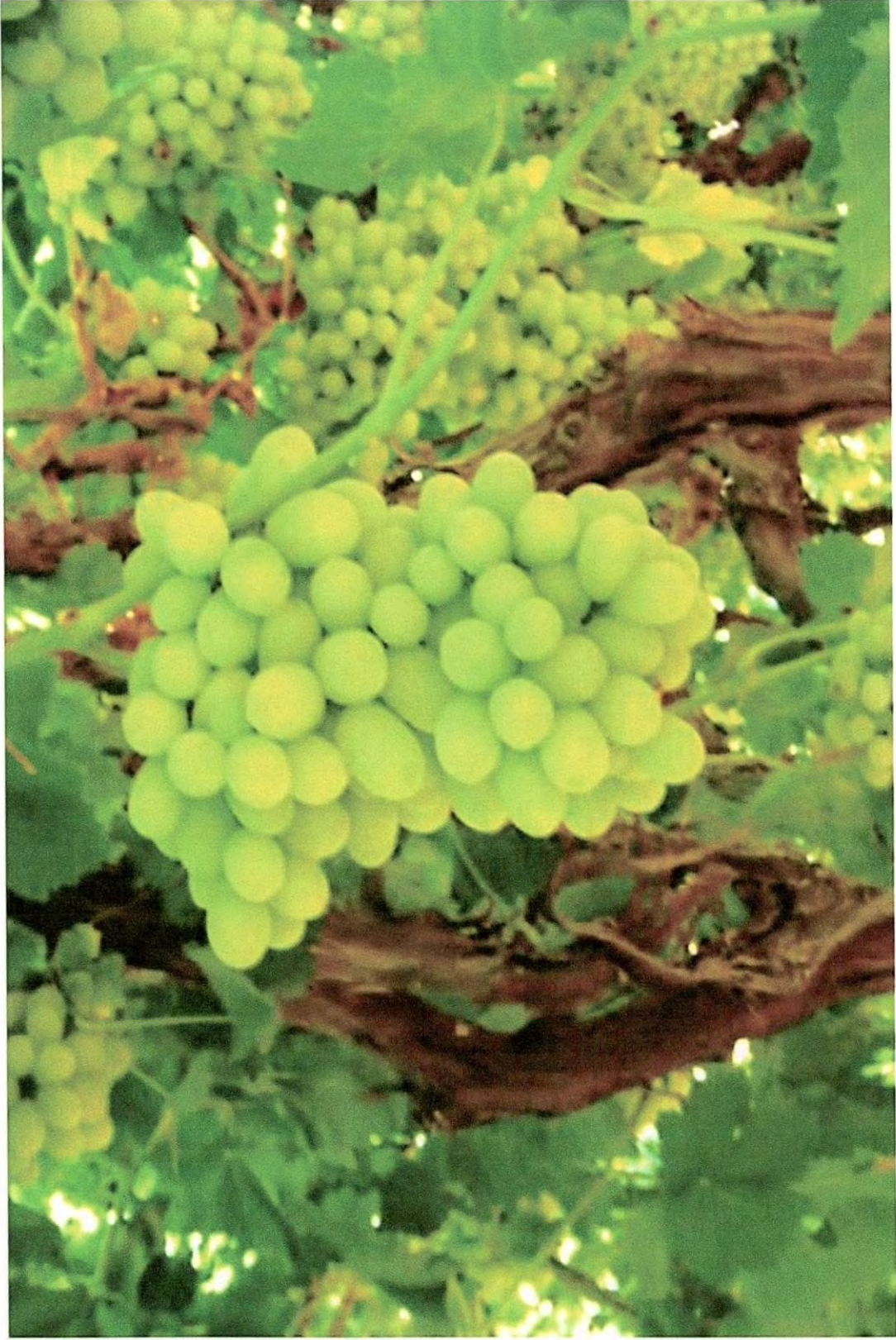


Figura 8. Racimo completo de *Vitis vinifera* L., cultivar *Perlette*, con bayas en proceso de maduración, Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

la línea regante, con diferente presión de operación en el sistema. Los goteros estaban separados a 75 cm uno de otro y tenían un gasto de 3.5 litros por hora (lph) cada uno, dando un gasto nominal de 4.6 litros por hora por metro lineal (lph·m).

Los programas de riego se elaboraron partiendo de la evapotranspiración del cultivo (ETc), que consistió en multiplicar la Evapotranspiración de referencia (ETo) por el coeficiente del cultivo (Kc) para la vid en esta región, el cual fue determinado para ambos cultivares en este mismo sitio por estudios realizados anteriormente durante el 2004 y 2005 (Valdez y Durón, 2004; Valdez *et al.*, 2005). La ETo se obtuvo de la estación agrometeorológica “Santa Inés” por ser la más cercana al predio de estudio (Sistema de Información Agroclimática, 2007 y Sistema de Información Agroclimática, 2008). También se utilizó una base de datos con un programa de cómputo desarrollado en Excel para registrar el número de riegos, la duración de los mismos y la lámina de riego que se aplicaba por cada hora de abasto en cada tratamiento (Figura 9).

Más adelante se explicarán a detalle los dos tratamientos usados: un tratamiento de riego “Restringido” y otro de riego “Modificado”, además de un “Testigo”; las variables que se cuantificaron fueron número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y acumulación de sólidos solubles (°brix).

El programa de riego se manejó en general para todos los tratamientos con los dos cultivares, compuesto por tres etapas: a) riego para la formación del bulbo de humedad (enero), b) riegos para reposición de la evapotranspiración del cultivo (febrero-junio) y c) riego para manejo del periodo de poscosecha (julio-diciembre); a continuación se hace una descripción de los mismos.

a) La aplicación de los riegos inició con el ciclo del cultivo, en el mes de enero, primeramente se dio un riego pesado para crear un fondo de humedad en el suelo, o lo que es igual, provocar la formación de un bulbo de mojado y ocasionar así, un buen lavado de sales.

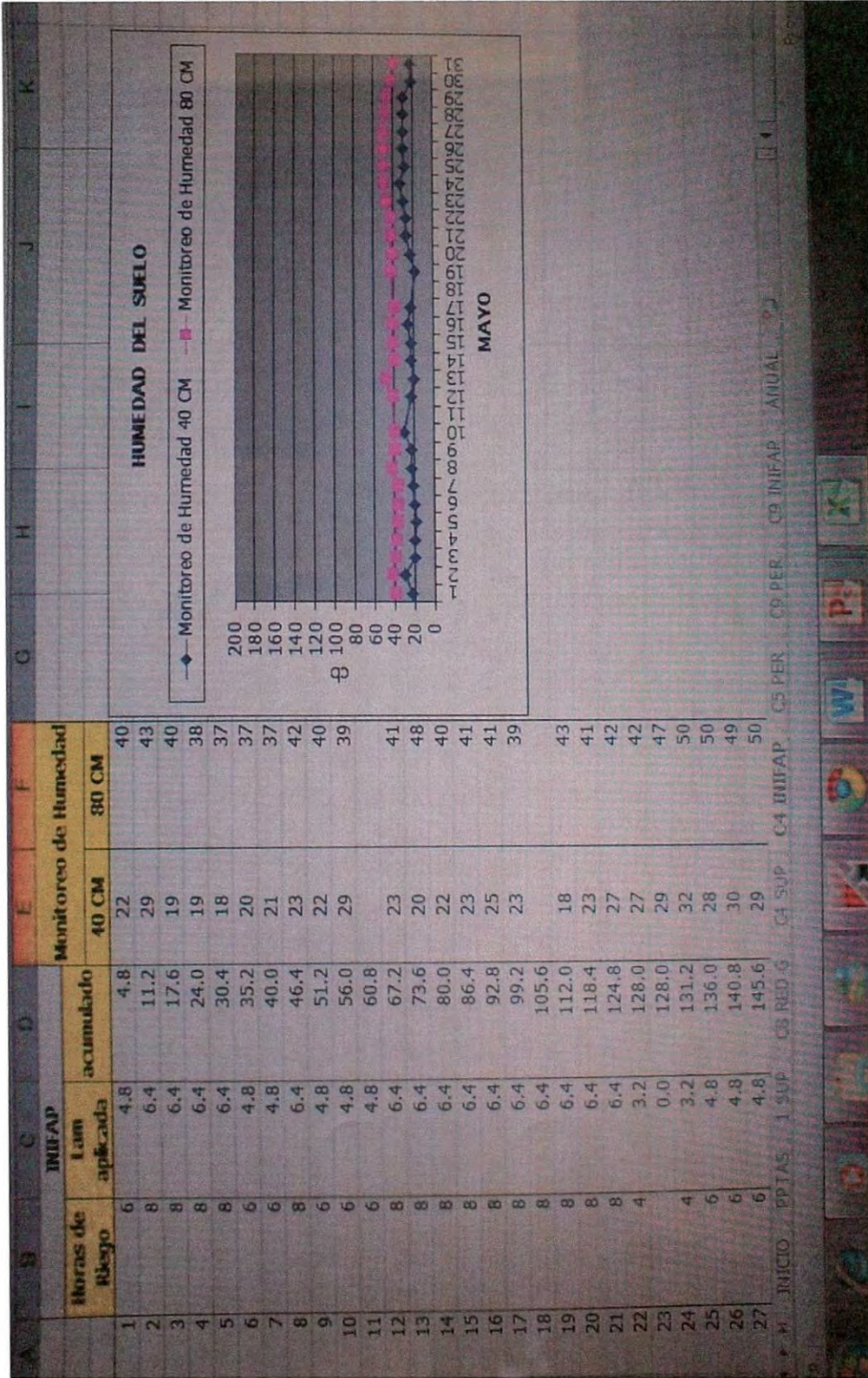


Figura 9. Ejemplo de la base de datos en Excel, en donde se capturaron los datos de riegos y monitoreo de humedad del suelo, en ambos cultivares de vid cada mes durante todo el año, en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

En el cultivar *Perlette*, se aplicaron 40.0 horas continuas de riego, suministrando una lámina de riego equivalente a 4.7 cm, en el cultivar *Sugraone* se aplicaron 39.0 horas continuas de riego, proporcionando 4.6 cm de lámina de riego.

b) Posteriormente, durante los meses de febrero a junio se aplicaron riegos para reposición de ETc sumando 608 horas de riego en el cultivar *Perlette* y 625 en el cultivar *Sugraone*, equivalentes a una lámina de 71.1 y 73.1 cm, respectivamente.

c) Después de este periodo se continuó con los riegos de manejo de poscosecha, acumulando de julio a diciembre, 318 horas de riego (37.2 cm) en *Perlette* y 298 horas (34.9 cm) en *Sugraone*. La suma del riego equivalente a las tres etapas en que se manejó el cultivo, equivalió a 966 horas de riego en *Perlette* y 962 en *Sugraone*, alcanzando al final del año una lámina total acumulada de 113.0 cm en el cultivar *Perlette* y 112.6 cm para el cultivar *Sugraone*.

Las láminas de riego totales acumuladas (113.0 y 112.6 cm) corresponden al tratamiento de riego “Modificado” y al “Testigo”. En el tratamiento de riego “Restringido” se aplicó solamente el 70 % de los 113.0 cm de lámina aplicados en el riego “Modificado” y “Testigo” en *Perlette*; de igual manera se aplicó el 70 % de los 112.6 cm de lámina de riego que se suministraron en el cultivar *Sugraone*.

### **Descripción de los tratamientos.**

Los tratamientos de riego utilizados fueron: riego “Restringido”, “Modificado” y “Testigo”, en los dos cultivares durante los años 2007 y 2008, en el viñedo San Luis de la Costa de Hermosillo, Sonora, México.

Tratamiento 1, riego “Restringido”. Éste consistió en aplicar el 70 % de la ETc (79.1 cm y 78.8 cm en *Perlette* y *Sugraone*, respectivamente), durante todo el ciclo del cultivo que corresponde del 31 de diciembre al 13 de mayo para el cultivar *Perlette* y del cinco de enero al

28 de mayo para *Sugraone*), se utilizó una manguera de 16.0 mm de diámetro, con goteros autocompensados de un gasto de 1.6 lph separados a 50.0 cm, sumando un gasto nominal de 3.2 lph·m. Este tratamiento se diseñó de esta forma, con el fin de observar la respuesta del cultivo en cuanto a calidad y rendimiento, mediante la reducción de la lámina de riego durante los años 2007 y 2008.

Tratamiento 2, riego “Modificado”. En este tratamiento se aplicó el 100 % de la ETc (113 cm y 112.6 cm en *Perlette* y *Sugraone*, respectivamente) durante todo el año, la manguera que se utilizó fue 16.0 mm de diámetro, con goteros autocompensados de un gasto de 2.3 lph separados a 50.0 cm, sumando un gasto nominal de 4.6 lph·m. La finalidad de este tratamiento fue observar la respuesta del cultivo respecto a la mejor distribución del agua en toda la hilera de plantación, ya que difiere del testigo solamente en una menor separación entre goteros.

Por último lo que se consideró como el riego “Testigo”, consistió en aplicar el 100 % de la ETc usando manguera de 16.0 mm de diámetro, con goteros separados a 75.0 cm de 3.5 lph, sumando un gasto nominal de 4.6 lph·m (misma cantidad de agua que en riego “Modificado”, pero distinta distribución en el perfil de mojado). Aclarando que este sistema de riego tenía las características tradicionales que existen en la mayoría de los viñedos en la Costa de Hermosillo.

#### **Diseño experimental y análisis de datos.**

Las parcelas experimentales quedaron constituidas por tres hileras de plantas de 100 m de largo, por cada tratamiento de riego al igual que el testigo, se seleccionaron cinco plantas por cada hilera, sumando en total 15 plantas como parcela útil de cada tratamiento. Todas y cada una de las plantas seleccionadas en el cultivar *Perlette* fueron cosechadas durante el mes de mayo y en el cultivar *Sugraone* durante el mes de junio, cada racimo fue cortado con unas



tijeras “corona” número 20, especiales para realizar esta labor, una vez cosechados se contaron y se depositaron en una charola de plástico, posteriormente, fueron pesados uno por uno en una báscula digital. En cada racimo se realizaron tres mediciones del diámetro de las bayas, midiéndose una baya de la parte basal del racimo, otra en la parte media y una última en la parte apical (punta). Dentro de estas mismas partes del racimo se midió la acumulación de sólidos solubles (°brix) con un refractómetro manual (Figura 10), mediante la extracción del jugo de tres bayas de vid, en cada sección del racimo (parte basal, media y apical).

El análisis estadístico de los resultados, se realizó analizando por separado los cultivares, debido a que poseen características diferentes en los racimos y bayas. También se analizó por separado cada año de evaluación; se utilizó el paquete estadístico SAS con un arreglo experimental de bloques al azar con 15 repeticiones, usando el ANOVA con una  $\alpha \leq 0.05$ , se utilizó la prueba de Tukey, para la comparación de todas las variables de respuesta a cuantificar en las plantas: número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y acumulación de sólidos solubles (°brix), para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos.

### **Monitoreo de humedad.**

Para llevar un mejor control de los riegos en la línea central de cada tratamiento se instaló una estación de monitoreo de humedad del suelo, consistente en dos sensores de resistencia eléctrica incrustados en el suelo a los 40 y 80 cm de profundidad dentro del bulbo de mojado; los datos de lecturas de tensión también se capturaron en la base de datos ya descrita, para dar seguimiento al monitoreo continuo de humedad del suelo y ajustar los tiempos de riego; aclarando que estos dispositivos miden tensión en el suelo y proporcionan valores de resistencia eléctrica, en un rango de medición que va de cero hasta 200 centibares (cb) correspondiendo las lecturas más bajas (cerca a cero centibares) para un suelo que está



Figura 10. Refractómetro manual, dispositivo utilizado para medir la concentración de °brix en bayas de vid en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

completamente saturado de agua y una resistencia mayor (arriba de 40 cb) para un suelo que requiere humedad mediante la aplicación de riego.

Los sensores se colocaron a 10.0 cm de distancia del gotero, existiendo una separación de 15.0 cm entre un sensor y otro, se introdujeron en el suelo quedando uno a 40 cm de profundidad y el otro a 80 cm, con el fin de cubrir todo el sistema radicular de la planta; de acuerdo con Fernández *et al.* (2001), se aseguró que los dispositivos quedaran dentro del bulbo de mojado para evitar la obtención de lecturas incorrectas en la medición. La instalación de los sensores se realizó con el uso de una barrena especial de acero que posee un martillo deslizable “*slide hammer*”, con ella se crearon los orificios en el suelo para colocar los sensores a las profundidades definidas.

Previo a todo esto, los sensores fueron preparados y montados en un tubo de Cloruro de Polivinilo (PVC, por sus siglas en inglés). Concretamente, se cortaron tramos del tubo de PVC clase 200 de media pulgada de diámetro a las longitudes de 40 y 80 cm, la cápsula que contiene el sensor fue colocada y adherida con pegamento especial para PVC en un extremo del tubo, los cables guía de los electrodos se sacaron por el interior del tubo hasta el extremo opuesto, enredando el sobrante del cable alrededor de la superficie del tubo, como se muestra en la Figura 11. Cuando secó el pegamento, el sensor preparado se introdujo dentro de una cubeta con agua durante 24 horas, con la finalidad de saturar con agua la cápsula de yeso que contenía los electrodos, asegurando que la resistencia en éstos fuera igual a cero cb al momento de la instalación, corroborando así el correcto funcionamiento del dispositivo.

Una vez instalada la estación de sensores se procedió a sellar con silicón el extremo del tubo que quedó sobre la superficie del suelo, y evitar que se introduzca el agua o alguna otra sustancia al interior de éste y que pudiera alterar los datos de medición. El anterior procedimiento es un complemento basado en la práctica, de la guía para instalación de sensores que proporciona el fabricante al momento de adquirir los sensores de resistencia



Figura 11. Sensor de resistencia eléctrica montado en un tubo de PVC, utilizado para medir la humedad del suelo en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

eléctrica “*Watermark*”. Contiguo a la estación de monitoreo se encontraba una sonda con sensores llamada prueba de capacitancia “C-probe”, la cual se estuvo observando durante el experimento, con el fin de hacer uso de una herramienta más para el monitoreo de la humedad del suelo y asegurar un mayor control en la aplicación de los riegos. Este dispositivo está equipado con varios sensores dispuestos cada 20 cm hasta la profundidad de un metro (Figura 12), la información que proporcionaba era enviada automáticamente mediante una antena con señal de radiofrecuencia a una base de datos central de “*Internet*” en donde se procesaba la información y mediante un usuario y contraseña proporcionada por la empresa se accedió a la información.

Contrario a lo anterior, en la estación con sensores de resistencia eléctrica las lecturas fueron tomadas manualmente todos los días con un medidor digital, el cual posee dos pequeñas pinzas (Figura 13), que eran colocadas en las terminales de los cables guía del sensor para conocer la tensión que prevalece en el suelo al momento de la medición, el valor de la resistencia surgida era registrado en una bitácora para después ser capturado en la base de datos, donde se incluyeron también las horas de riego que se suministraron al viñedo ese día. De esta manera, mediante la multiplicación de las horas de riego suministradas por un factor de conversión, que fue establecido de acuerdo a las características de emisión de agua con que cuenta el sistema de riego del viñedo, automáticamente se proporcionaba la lámina de riego ministrada y la acumulación de ésta, a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Así se obtuvo finalmente la lámina de riego acumulada durante todo el año.

#### **Calibración de sensores.**

Una actividad extra que se realizó en diciembre de 2006 y se incluyó para complemento de la presente investigación, fue una calibración, con el método gravimétrico, de los dos tipos de sensores utilizados en el experimento (sensores de resistencia eléctrica y la



Figura 12. Sonda de sensores "C-probe" utilizada como otra herramienta mas para monitorear la humedad del suelo en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.



Figura 13. Medidor digital, instrumento utilizado para la toma de lecturas de resistencia eléctrica en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

sonda prueba de capacitancia “C-probe”). Debido a que el suelo en todo el viñedo presenta una textura similar, se decidió realizar la calibración solamente en el cultivar *Sugraone*, por presentar mayor espacio para realizar las labores pertinentes de muestreo de suelo con la barrena. El objetivo de esta calibración fue establecer los valores correspondientes a capacidad de campo con los sensores de resistencia eléctrica y el “C-probe”, realizando correlaciones y comparando las lecturas de cada uno de estos dispositivos con los valores de por ciento de humedad resultantes del muestreo.

La calibración se realizó primeramente saturando un metro cúbico de suelo con 200 litros de agua, donde previamente se colocó una batería con cuatro sensores de resistencia eléctrica “*Watermark*” a las profundidades de 40 y 80 cm, además de la sonda prueba de capacitancia, con sensores dispuestos a las mismas profundidades; inmediatamente, después se procedió con la colección de muestras de suelo y monitoreo de lecturas en los sensores.

Las muestreos gravimétricos se realizaron en lapsos de tiempo de dos a tres horas procurando tomar al menos tres muestras en el día, para ello se utilizó una barrena metálica de tornillo, extrayendo el suelo a las profundidades de 40 y 80 cm mencionadas, la masa de suelo extraída se colocó inmediatamente en recipientes de metal especiales con tapa hermética, para evitar pérdidas de humedad por efecto de evaporación antes de ser pesadas.

El pesado de las muestras se realizó en forma manual con una báscula “Torrey” digital de 5.0 kg de capacidad. Una vez obtenido el peso húmedo del suelo, las muestras se trasladaron al lugar donde se encontraba el horno de secado y la deshidratación de las muestras requirió efectuarse a 105 °C por un periodo de 24 horas. Topp y Ferré (2002) mencionan que el secado debe realizarse a esta temperatura pero por un lapso de 48 horas; de esta manera se permite determinar por diferencia de peso el contenido volumétrico de agua en el suelo, que indica, la cantidad de agua que se debe aplicar para llevar al suelo de vuelta a



capacidad de campo o cuánta agua por consumir queda en el suelo antes de tener que regar (Radulovich, 2009).

Al día siguiente, una vez completado el periodo de secado, se procedió a pesar nuevamente el suelo para la obtención del peso seco y determinar el contenido de agua en la muestra; para efectuar los cálculos se usó la siguiente ecuación (Aguilera y Martínez, 1990):

$$PS = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100\%$$

Donde:

PS= porcentaje de humedad en base a suelo seco

Psh= peso de suelo húmedo

Pss= peso de suelo seco

La toma de muestras de suelo y las lecturas de los sensores, se llevó a cabo durante 16 días consecutivos (del 11 al 26 de diciembre de 2006), realizando cada día el mismo procedimiento ya descrito arriba. A la misma hora que se tomaban las muestras con la barrena, se tomaron lecturas de los dos tipos de sensores; las lecturas de tensión en los sensores de resistencia eléctrica expresadas en centibares (cb) se tomaron manualmente con un medidor digital, los valores de humedad del “C-probe”, expresados en volumen de agua disponible en el suelo y representados por las siglas “sfu”, se obtuvieron de la base de datos de la computadora del campo agrícola donde se realizó el experimento. Finalmente, los datos obtenidos durante todo el ciclo se capturaron manualmente en una bitácora para después efectuar los cálculos pertinentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Consumo de agua.

Durante los dos años de estudio, se llevó registro del agua que se aplicaba al cultivo mes con mes; en la Figura 14, se muestra la lámina de riego promedio aplicada en el cultivar *Perlette* con los dos tratamientos de riego y el testigo, también se muestra la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) acumulada durante los ciclos de producción 2007 y 2008 (183.23 cm y 180.02 cm respectivamente).

Se aprecia claramente que en el “Testigo”, al igual que en el tratamiento de riego “Modificado”, la lámina de riego promedio aplicada durante todo el año fue exactamente la misma (113.0 cm) correspondiendo al 62.2 % del promedio de la ET<sub>o</sub> acumulada en los dos años (2007 y 2008). En el tratamiento de riego “Restringido” se aplicó el 30 % menos (79.1 cm) correspondiendo al 43.6 % del promedio de la ET<sub>o</sub> anual acumulada durante 2007 y 2008. Williams *et al.*, 2003, realizaron un estudio similar durante tres años consecutivos, pero aplicando el 60 % y 73 % de la ET<sub>o</sub>, sin que se afectara negativamente la calidad y el rendimiento de la vid.

En el presente estudio se manejó una restricción en el riego más fuerte sin provocar una disminución significativa en rendimiento y calidad durante los dos años; sin embargo, el efecto se esperaría hasta los 3-5 años (Keller *et al.*, 2008). Durante los dos años de evaluación la diferencia de la ET<sub>o</sub> acumulada en el año fue mínima y no presentó una tendencia ascendente ocasionada por el incremento continuo en la temperatura, cómo es interpretado por autores en artículos relacionados con el cambio climático y calentamiento global (Rackley y Marshall, 2010), por el contrario, en el 2008 decreció 3.0 cm con respecto al 2007.

En el cultivar *Sugraone*, se aplicó prácticamente la misma lámina de riego anual que en el cultivar *Perlette*, la ET<sub>o</sub> fue exactamente idéntica debido a que los datos se obtuvieron de la

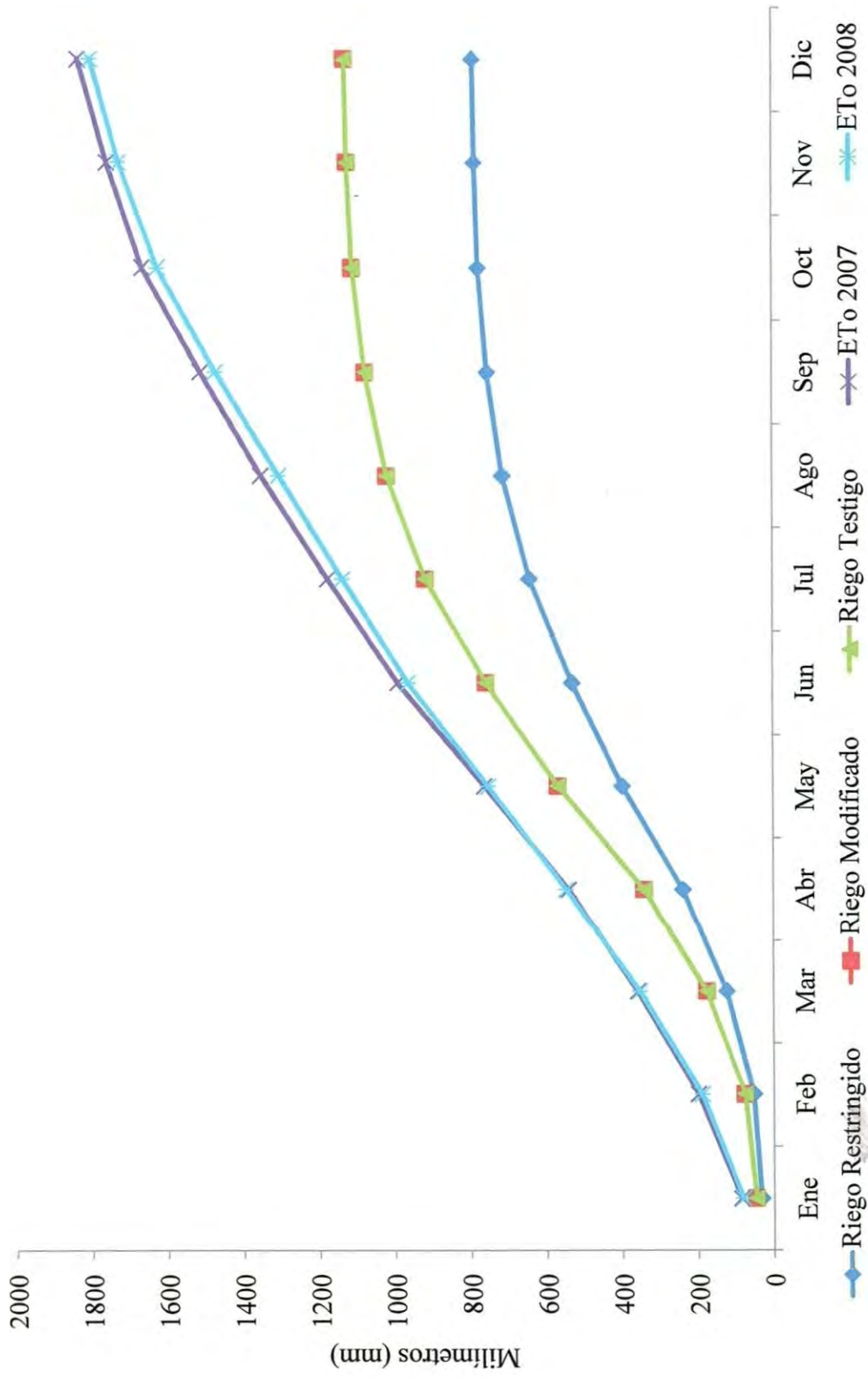


Figura 14. Lámina de riego promedio y ETo, acumuladas en 2007 y 2008 con dos tratamientos de riego (Restringido y Modificado) y el Testigo, en el cultivar *Perlette* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

misma estación agrometeorológica para ambos cultivares. En el “Testigo” al igual que en el tratamiento de riego “Modificado” se aplicó una lámina total de 112.6 cm que correspondió al 61.0 % de la ETo promedio acumulada en los dos años de estudio; para el tratamiento de riego restringido la lámina de riego promedio aplicada en el año fue de 78.8 cm, correspondiente al 43.4 % de la ETo promedio acumulada en los dos años (Figura 15).

Aunque no se manifieste visualmente en la gráfica, en el cultivar *Perlette* durante la primera semana de mayo se redujo el monto del riego, lo anterior para acelerar la acumulación de azúcares, ya que déficit hídricos controlados mejoran la calidad de las bayas de vid (Muñoz *et al.*, 2002; Gurovich y Páez, 2004), en *Sugraone* no fue necesario realizar esta labor debido a que es un cultivar de ciclo más largo.

En la Figura 16 se muestra el promedio del consumo de agua aplicada en los dos años de estudio (2007 y 2008) en el cultivar *Perlette*, apreciándose claramente la diferencia entre la evapotranspiración potencial o de referencia (ETo) y la evapotranspiración del cultivo (ETc). También se representa gráficamente el coeficiente de cultivo (Kc), para cada uno de los meses del año, a excepción del mes de enero que carece de valor, no quiere decir que no haya habido demanda de agua por el cultivo, al contrario, en este periodo se aplicó un riego pesado (39 y 40 horas de riego continuas en *Sugraone* y *Perlette*, respectivamente), para crear un bulbo de humedad en el suelo, el cual necesario para hidratar al cultivo y provocar un lavado de sales, es por eso que se omite el valor de Kc.

Los valores más altos de Kc se encuentran durante los meses de abril y mayo, que no necesariamente son los más calurosos como menciona Santos y Kaye (2009), se observó que el valor de coeficiente de cultivo está regido por la etapa fenológica en que se encuentra la planta, más que por las condiciones climáticas. Dichos valores en la región de la Costa de Hermosillo se dan en abril y mayo, coincidiendo con la etapa fenológica de crecimiento y maduración de la baya (Marquéz *et al.*, 2004), específicamente inicia en abril con el amarre

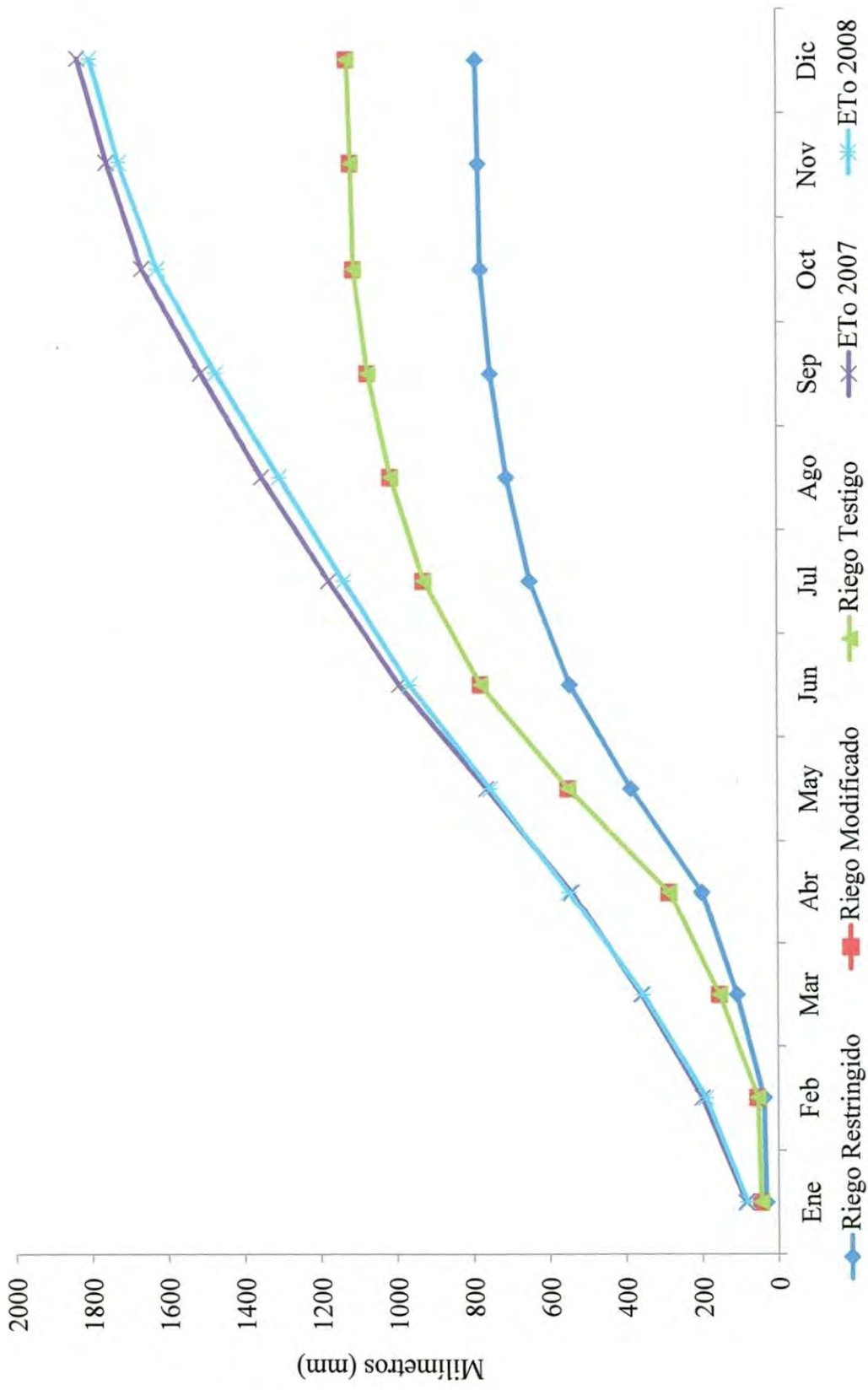


Figura 15. Lámina de riego promedio y ET<sub>0</sub>, acumuladas en 2007 y 2008 con dos tratamientos de riego (Restringido y Modificado) y el Testigo, en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

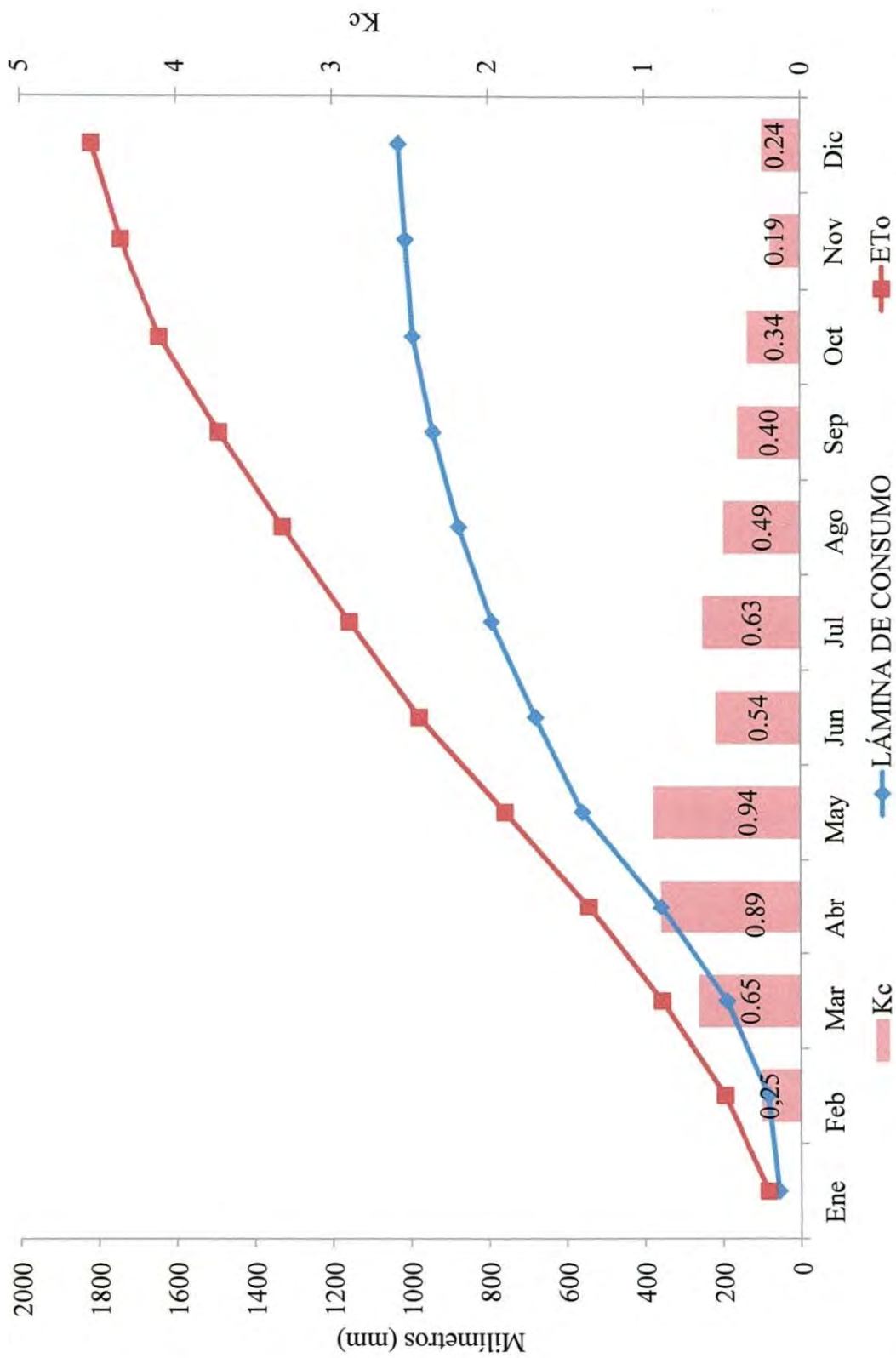


Figura 16. Láminas de consumo anual de agua (mm), Evapotranspiración (cm), y % de coeficientes de cultivo (Kc) para cada uno de los meses del año; en el cultivar *Perlette*, para la Costa de Hermosillo, Sonora, México.

del fruto y culmina en mayo con la cosecha. Sin embargo, aún en los meses de mayor demanda evaporativa del cultivo los valores de Kc de la vid nunca son mayores a 1.0, debido a que no es un cultivo de cobertura total; lo que quiere decir que por ningún motivo se deben aplicar riegos de reposición que sobrepasen el 100 % de la ETo, a excepción del mes de enero, que como ya se menciona tiene su razón de ser.

En el cultivar *Sugraone* el Kc mayor se tuvo en el mes de mayo siendo de 0.9 y el valor más pequeño (0.19) se presentó en el mes de noviembre, en la lámina de consumo al igual que con *Perlette* quedo muy por debajo de la ETo acumulada durante el año (Figura 17), en general el comportamiento fue idéntico al del cultivar *Perlette*.

Ambos cultivares presentan demandas hídricas muy similares, el Kc también es muy parecido durante todo el año, sin embargo, la demanda de agua por el cultivar *Sugraone* fue ligeramente menor, lo que pudo ser por su marco de plantación el cual fue menos intensivo que en el cultivar *Perlette*.

### **Resultados del monitoreo de humedad en el suelo.**

Como ya se mencionó un apoyo fundamental en la programación del riego es el monitoreo de la humedad del suelo en todo el perfil que comprende la zona de raíces de la planta, de esta manera, con el monitoreo que se llevó a cabo en los tratamientos durante los dos años de estudio, se encontró que el “Testigo” y el tratamiento de riego “Modificado” mostraron un comportamiento muy similar, por lo cual se decidió omitir los datos de éste último en ambos cultivares y contrastar solo el riego “Restringido” y el “Testigo”; con la finalidad de hacer una mejor apreciación de los resultados obtenidos como se observa en la Figura 18, donde se presenta el comportamiento de la humedad del suelo en el cultivar *Sugraone* a las profundidades de 40 y 80 cm durante el año 2007. En este primer año de estudio, el tratamiento “Restringido” manifestó una pérdida de humedad a partir del mes de

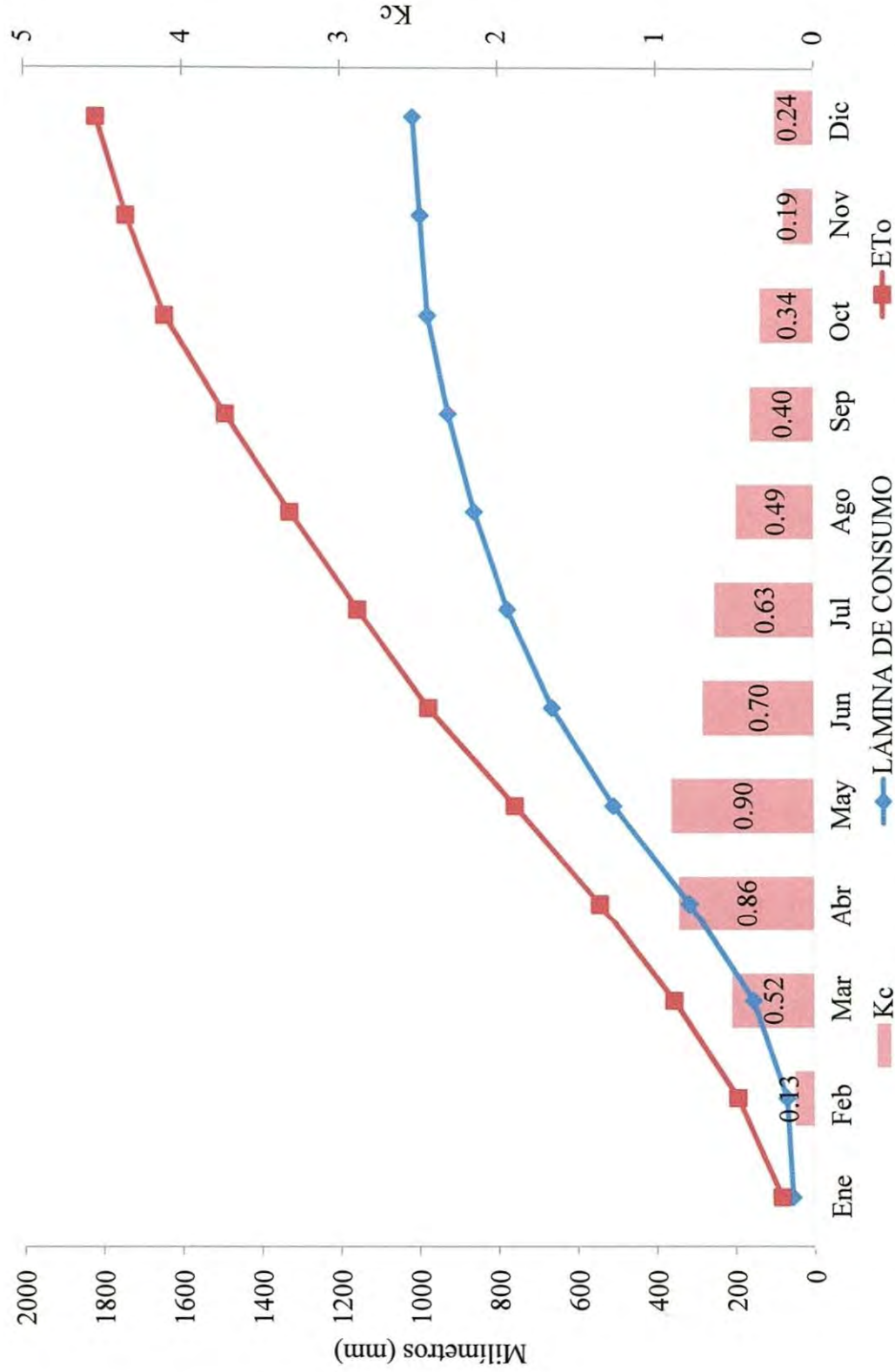


Figura 17. Láminas de consumo anual de agua (mm), Evapotranspiración (cm), y % de coeficientes de cultivo (Kc) para cada uno de los meses del año; en el cultivar *Sugraone* para la Costa de Hermosillo, Sonora, México.



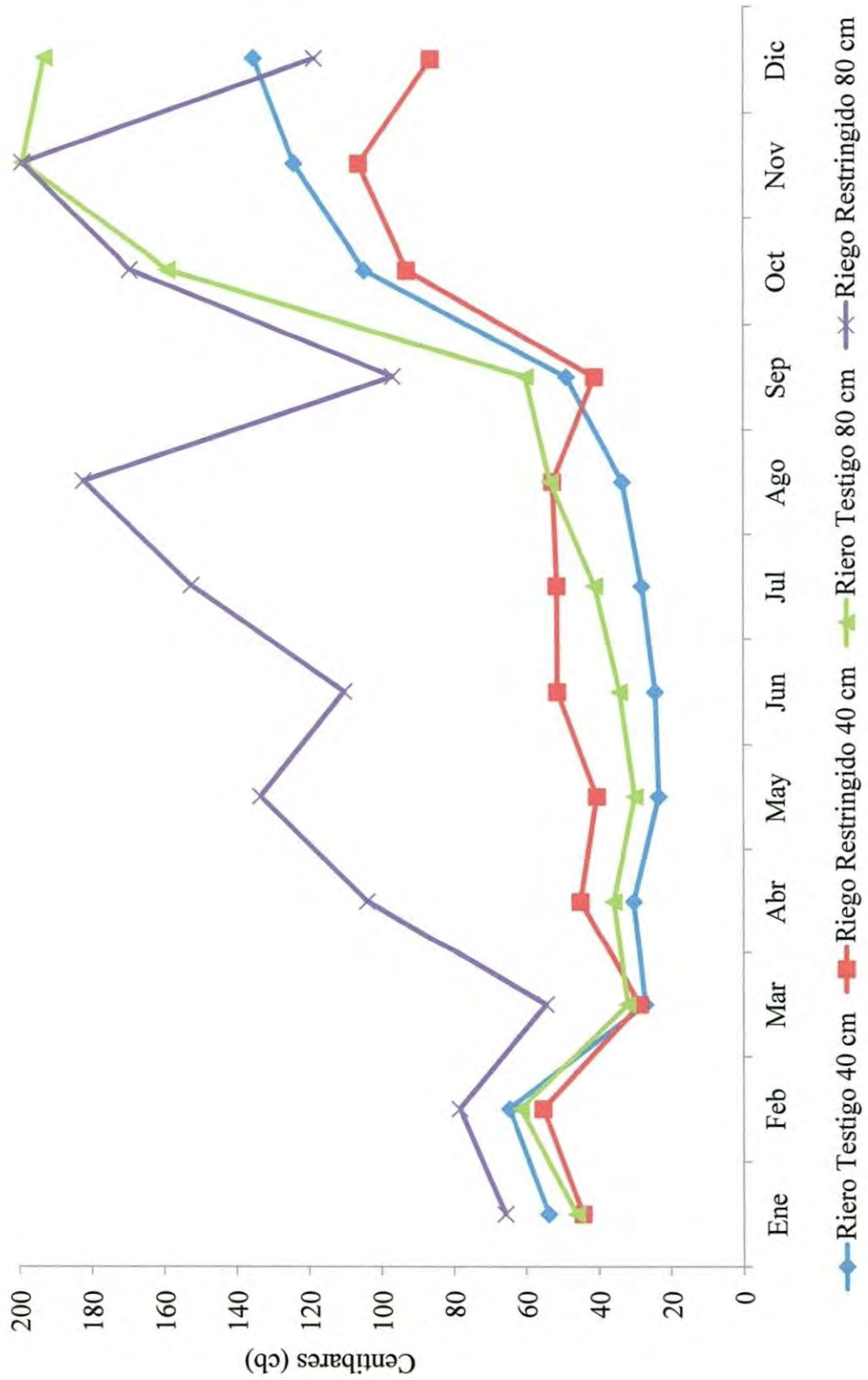


Figura 18. Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos de riego (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar *Sugraone*, durante el ciclo de producción 2007 en el Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

abril, sobrepasando los 100 cb en el sensor ubicado a 80 cm de profundidad, cosa que no sucede a la profundidad de 40 cm, donde los valores de tensión se mantuvieron entre 30 y 40 cb, los cuales son considerados como aceptables.

Lo anterior indica que en las plantas de vid sí se dio una reacción a la restricción del riego, manifestándose en el mes de abril, debido a que corresponde a la etapa fenológica de amarre de fruto, que es donde la planta comienza a incrementar su demanda hídrica, y solamente se manifestó en el perfil de suelo a 80 cm porque los riegos continuos que se efectuaron suplían correctamente el perfil de suelo hasta 40 cm, pero eran insuficientes para mantener una humedad adecuada hasta 80 cm; sin embargo, a pesar de ese incremento en los valores de tensión no se vio afectado negativamente la calidad y el rendimiento de la fruta para este primer año. Los valores de tensión en el “Testigo” a las profundidades de 40 cm y 80 cm se mantuvieron con valores muy aceptables de marzo hasta agosto, resaltando que dicho periodo es muy importante para la vid en la Costa de Hermosillo, puesto que engloba los periodos fenológicos de floración hasta cosecha.

Durante el año de producción 2008, el comportamiento de la humedad del suelo en el “Testigo” se mostró muy similar al ciclo 2007, de tal forma que prevalecieron contenidos de humedad alrededor de capacidad de campo (entre 20 cb y 40 cb) desde marzo hasta julio, a partir de agosto se comenzó a perder la humedad (se incrementaron los valores de tensión) paulatinamente, que es lo que se requiere para el cultivo de vid en nuestra región debido a que una vez cosechada la planta comienza la etapa de poscosecha, donde se recomienda irrigar con menor intensidad a la vid, porque comienza a disminuir su metabolismo.

El tratamiento de riego “Restringido”, en su segundo año de evaluación expresó un comportamiento completamente diferente al mostrado durante el 2007, al prevalecer lecturas de tensión de humedad del suelo de 40 cb en la profundidad de 80 cm durante los meses de mayor demanda (Figura 19), existiendo un contraste con las lecturas del primer año, las cuales

Res. T233

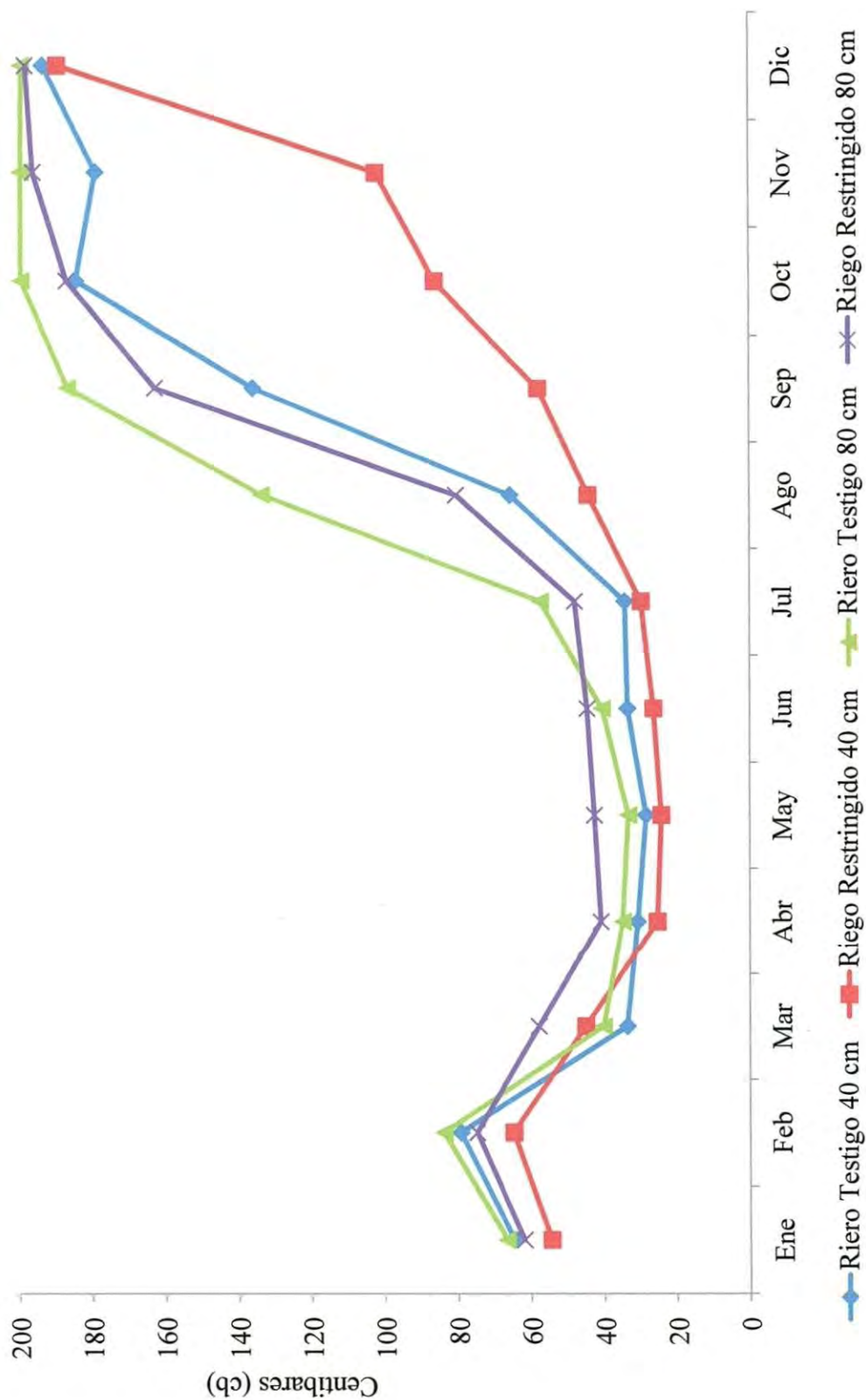


Figura 19. Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos de riego (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar *Sugraone* durante el ciclo de producción 2008. Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

sobrepasaron los valores de 100 cb de tensión en el mismo perfil de suelo; lo anterior indica que el cultivar *Sugraone* se adaptó relativamente rápido (un año) a la restricción del riego, lo anterior se debe a que el cultivo de vid es una de las especies que mejor se adaptan a las condiciones de estrés hídrico, ya que posee una adaptación fisiológica a nivel celular conocida como ajuste osmótico (Cifré *et al.*, 2005; Patakas y Noitsakis, 2001).

En lo que respecta al cultivar *Perlette*, en el año 2007 las lecturas de tensión de humedad en el suelo se mantuvieron alrededor de los 40 cb desde marzo a julio, a excepción del “Testigo”, que en el mes de junio presentó una reducción de humedad, en el perfil de 80 cm, alcanzando los 100 cb (Figura 20), lo anterior no afectó en ningún grado la producción de ese año debido a que esta variedad es de ciclo temprano y para entonces ya se había llevado a cabo la cosecha.

En el periodo de poscosecha (agosto a diciembre) se comenzó a perder la humedad paulatinamente, obteniéndose los mayores valores de tensión (cerca de 200 cb) con el “Testigo” a 80 cm de profundidad y la menor pérdida de humedad fue en el tratamiento de riego “Restringido” a la profundidad de 40 cm con valores por debajo de los 60 cb. El sensor de 40 cm en el “Testigo” y el del riego “Restringido” a 80 cm tuvieron un comportamiento muy similar en la disminución paulatina de la humedad.

En el 2008 como se representa en la Figura 21, el riego restringido se mantuvo muy uniforme alrededor de 30 cb en las dos profundidades (40 cm y 80 cm) hasta el mes de agosto, comenzando a perderse la humedad en el mes de septiembre, hasta llegar a 120 cb durante el mes de diciembre. El “Testigo” se comportó muy similar al riego “Restringido” hasta el mes de mayo, en junio el sensor ubicado a 80 cm comenzó a manifestar pérdida de humedad en el suelo incrementándose en julio hasta pasar los 80 cb; también en la profundidad de 40 cm durante el mes de junio se presentó un pequeño pico de déficit hídrico, el cual no sobrepasó los 60 cb.

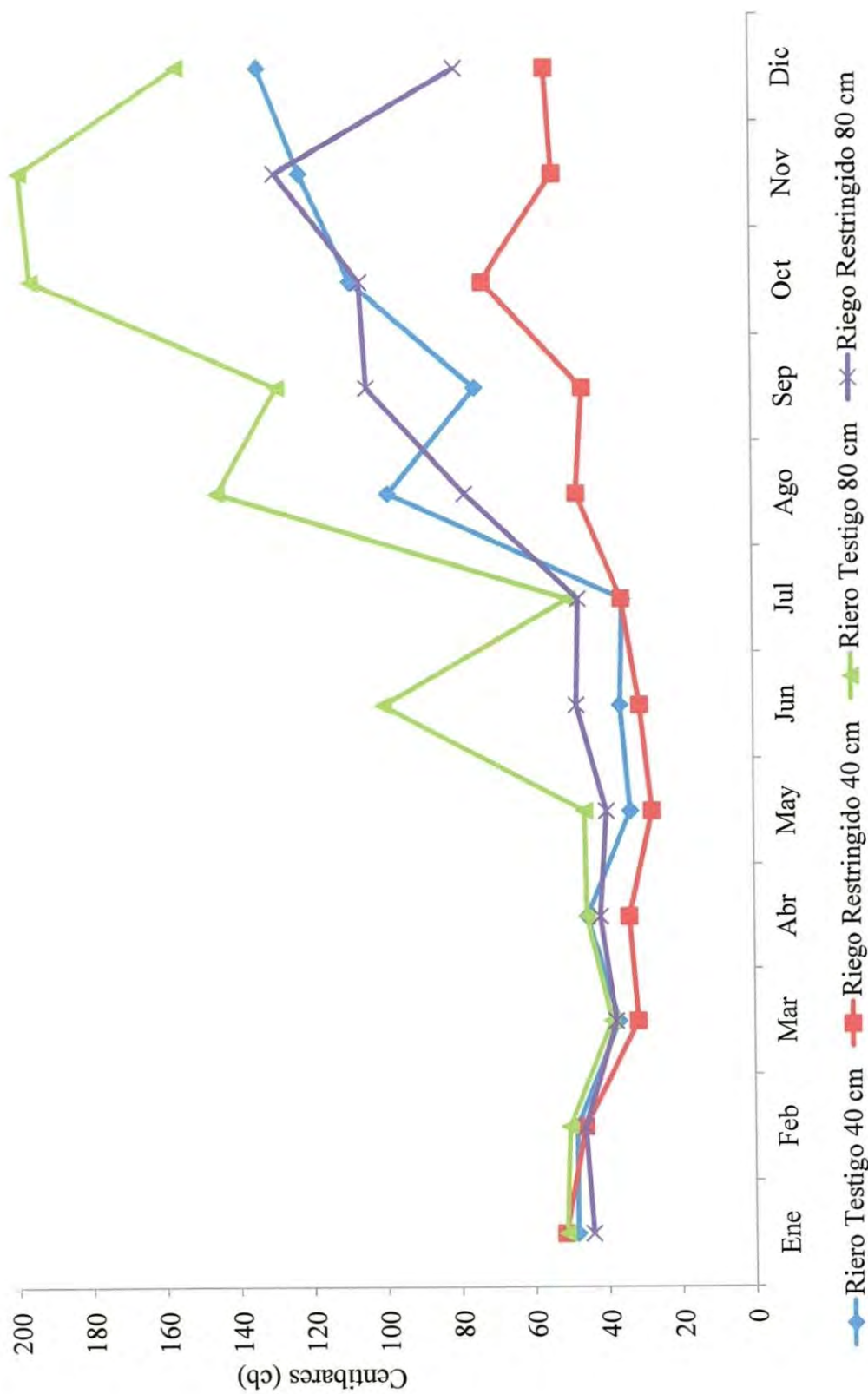


Figura 20. Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar *Perlette* durante el ciclo de producción 2007. Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

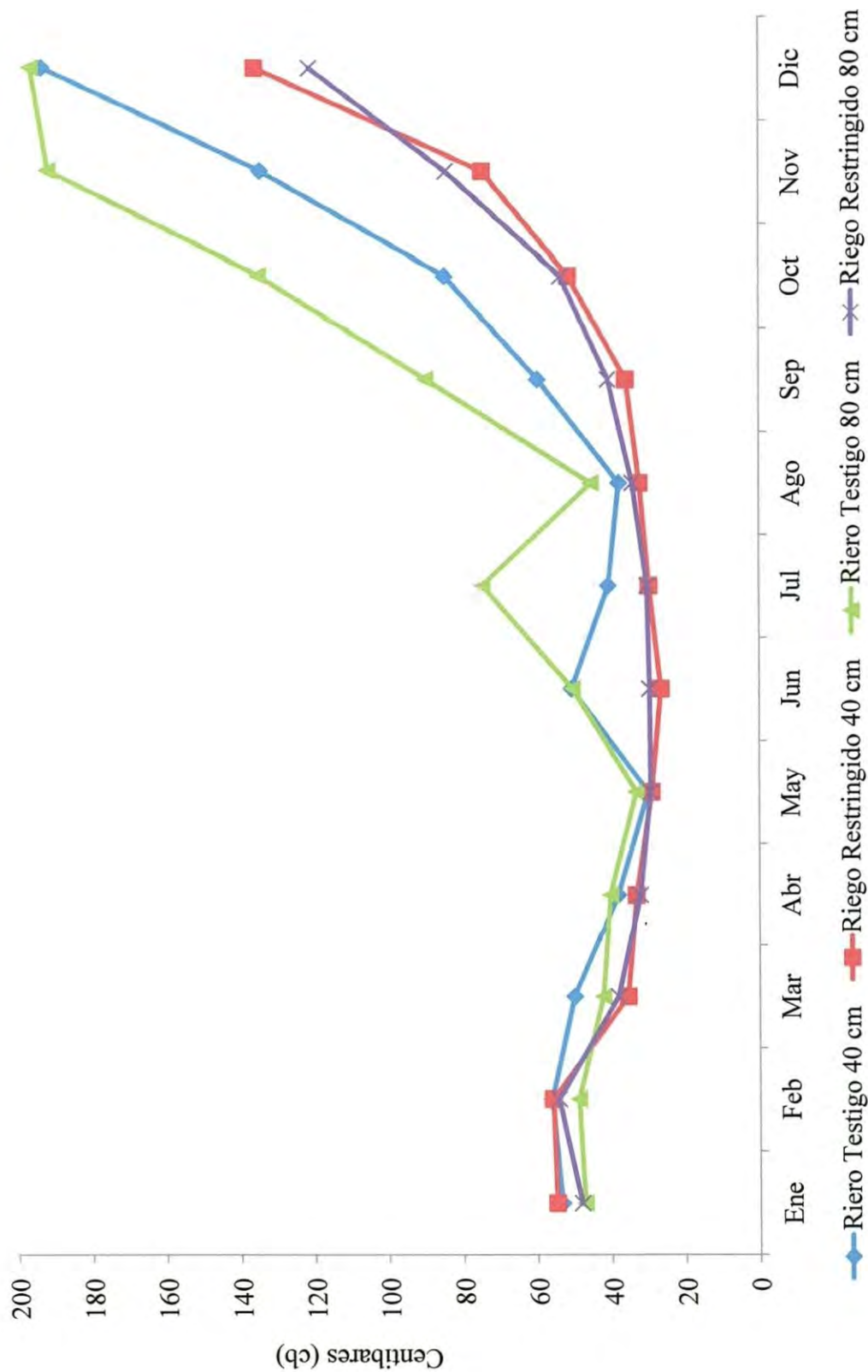


Figura 21. Comportamiento de la humedad del suelo con dos tratamientos (Testigo y Restringido) a las profundidades de 40 y 80 cm en el cultivar *Perlette* durante el ciclo de producción 2008. Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México.

El comportamiento relacionado a la demanda de agua por parte del cultivo que se produjo con el tratamiento de riego “Restringido” en el cultivar *Perlette*, durante el ciclo de producción 2008, se debe a que las plantas presentaban a simple vista, menor cantidad de follaje; por lo que la pérdida evaporativa fue menor, demandando menor cantidad de riego. Por lo anterior, a pesar de que el suministro de agua se dio en un 30 % menos que en el riego “Modificado” y en el “Testigo”, la condición de humedad en el suelo se mantuvo en cantidad adecuada para la planta.

### **Resultados de la calibración de sensores.**

Para corroborar y asegurar un buen funcionamiento de los sensores se realizó una calibración, utilizando el método gravimétrico. Respecto a la calibración de sensores realizada en el cultivar *Sugraone* durante el mes de diciembre de 2006, se presentaron los resultados del muestreo de humedad solamente para las profundidades de 40 y 80 cm, debido a que el monitoreo de humedad que se llevó a cabo durante los años de estudio 2007 y 2008, se efectuó con sensores instalados a estas profundidades.

El análisis de los datos se efectuó mediante regresión lineal, analizando los datos obtenidos de los sensores de resistencia eléctrica y los datos del muestreo gravimétrico, correspondientes al segundo día después de haber saturado el suelo, que de acuerdo con Boman (2002), quien define capacidad de campo como el porcentaje de agua restante que permanece en el suelo después de dos a tres días de haberse saturado éste, y después que el drenaje de agua libre prácticamente ha cesado (típicamente de uno a dos días para un suelo arenoso), los siguientes valores son los equivalentes a capacidad de campo: para la profundidad de 40 cm, correspondieron 36 centibares (cb) en los sensores de resistencia eléctrica y 10.3 por ciento de saturación en base a suelo seco (ps) en el muestreo gravimétrico (Figura 22).

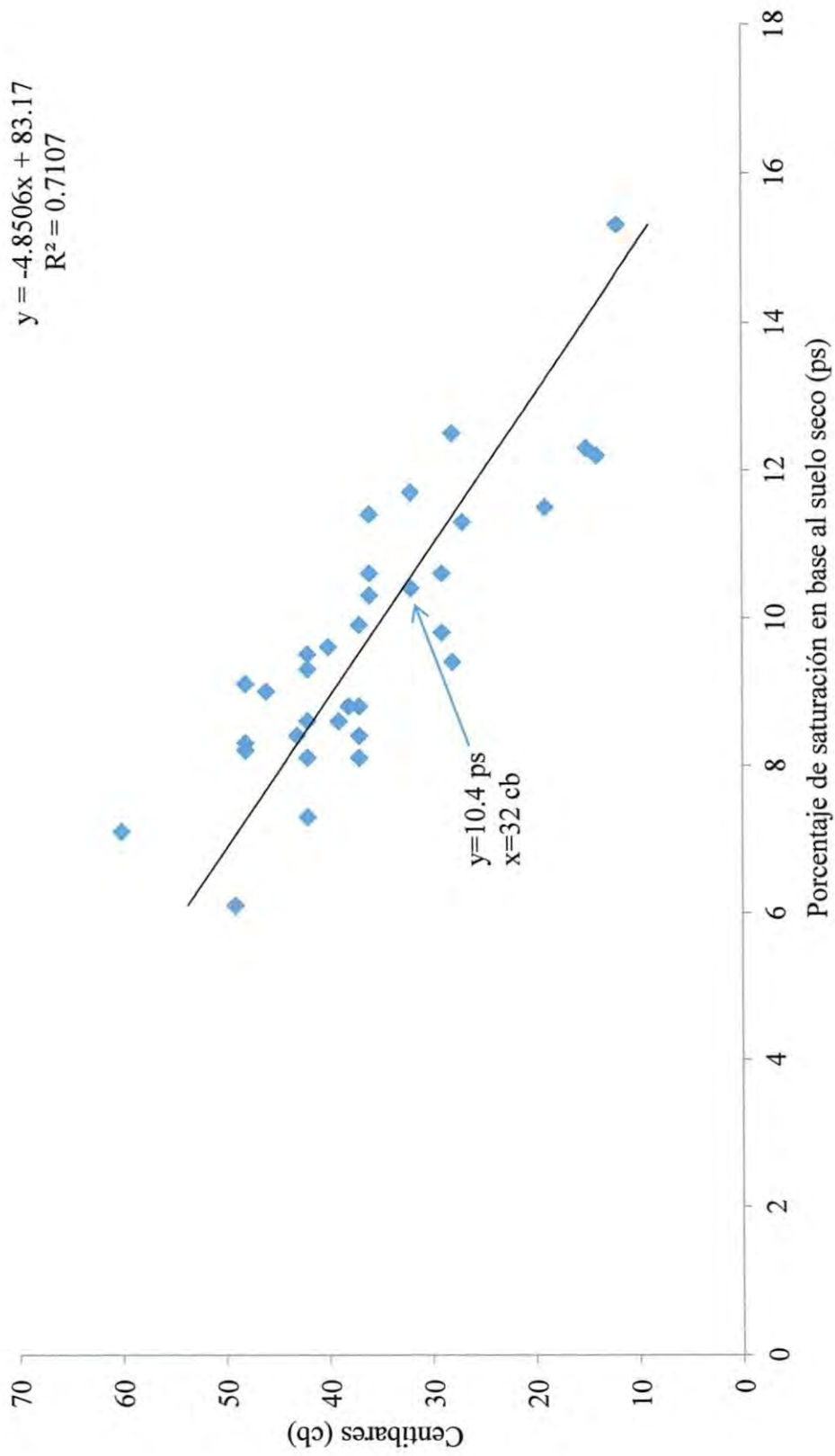


Figura 22. Calibración de sensores de resistencia eléctrica "Watermark" con el método gravimétrico a la profundidad de 40 cm en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.



Al realizar la regresión lineal comparando los datos de la sonda del “C-probe” con los datos del muestreo gravimétrico se encontró que para los valores de 10.3 ps, que fueron determinados con el método gravimétrico como el contenido de humedad a capacidad de campo en la profundidad de 40 cm, en la sonda del “C-probe” le correspondió un valor de 28 sfu (Figura 23).

Para el perfil de suelo correspondiente a la profundidad de 80 cm los valores de 10.3 ps se obtuvieron tres días más tarde que a 40 cm de profundidad, correspondiendo valores de 34 cb en los sensores de resistencia eléctrica (Figura 24) y valores de 29 sfu en la sonda prueba de capacitancia (Figura 25). La explicación de que los valores de capacidad de campo no se hayan obtenido en el tiempo que maneja la literatura sino después, a pesar de ser un suelo arenoso; se debió a las condiciones de clima presentes en ese momento en el sitio, aunado a la etapa fonológica de la planta al momento de realizar el muestreo (mes de diciembre: etapa fonológica de dormancia). Otro factor que influyó bastante fue las temperaturas ambientales, las máximas promedio durante estos días fueron de 26.7 °C con mínimas de 8.2 °C, arrojando un promedio diario igual a 16.5 °C (Sistema de Información Agroclimática, 2006). Comparado con los más de 40 °C que se alcanzan en la región durante los meses de mayo a septiembre.

Se tomó como base el valor de 10.4 ps como el punto de capacidad de campo, debido a que fue el valor de humedad que se obtuvo a 40 cm de profundidad, a los dos días de haber saturado el suelo, y es lo que se maneja en la literatura como capacidad de campo para un suelo con las características del viñedo San Luis.

### **Producción y calidad.**

Se efectuaron cosechas de las plantas seleccionadas en cada tratamiento, las variables de producción que se evaluaron fueron: número de racimos, peso de racimo, rendimiento de planta, diámetro de baya y acumulación de sólidos solubles (°brix).

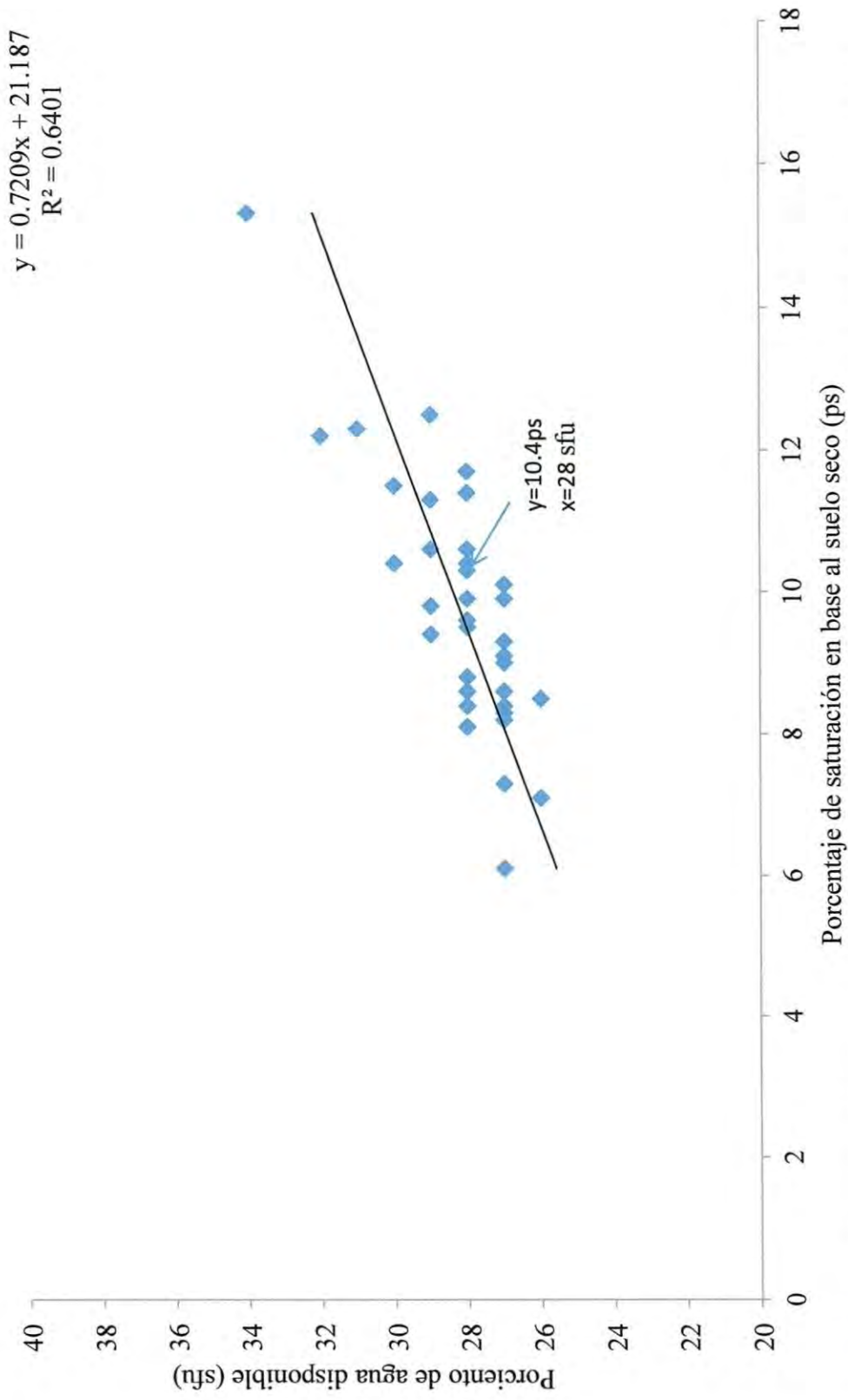


Figura 23. Calibración del sensor prueba de capacitancia "C-probe" con el método gravimétrico a la profundidad de 40 cm en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.

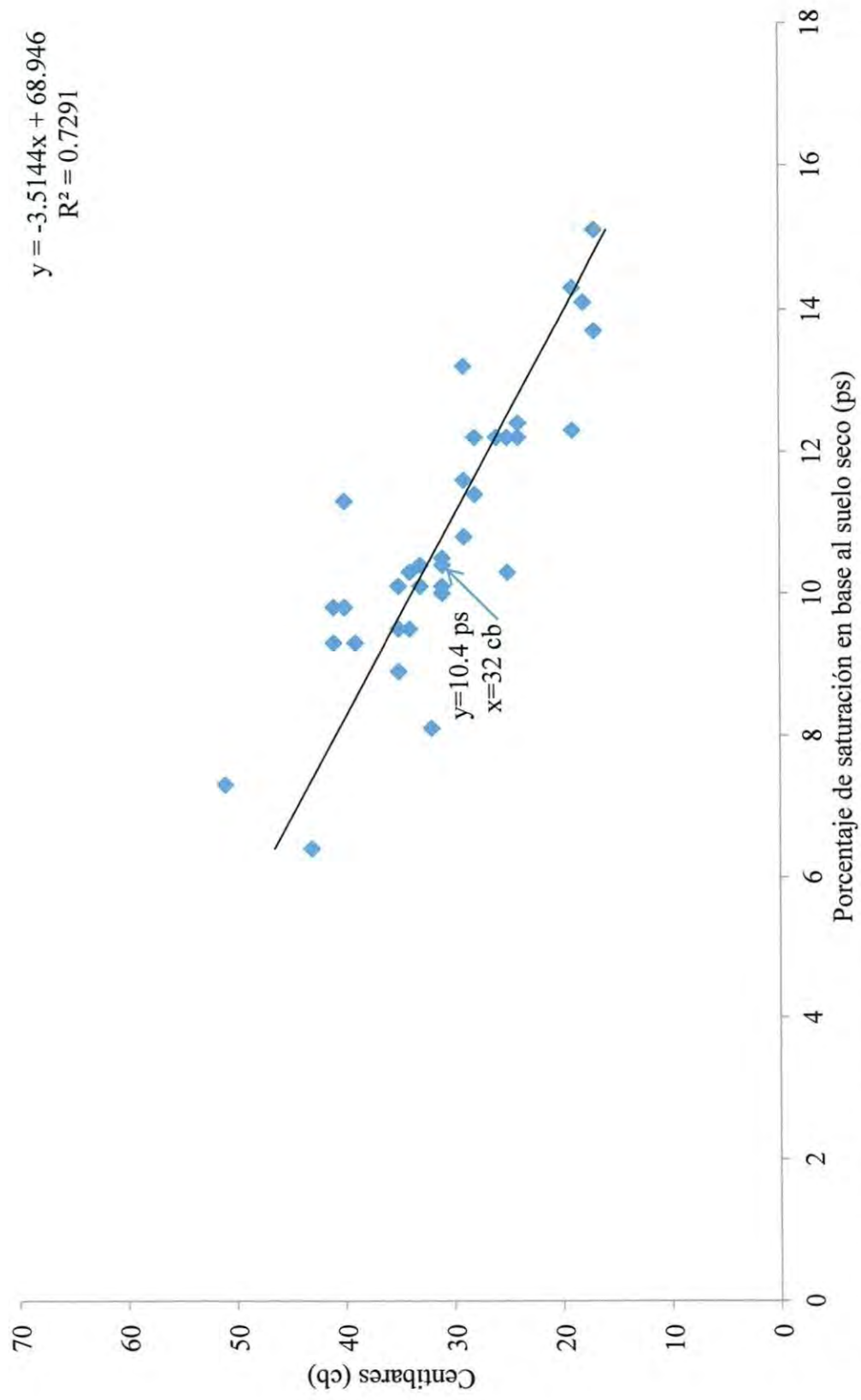


Figura 24. Calibración de sensores de resistencia eléctrica "Watermark" con el método gravimétrico a la profundidad de 80 cm en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.

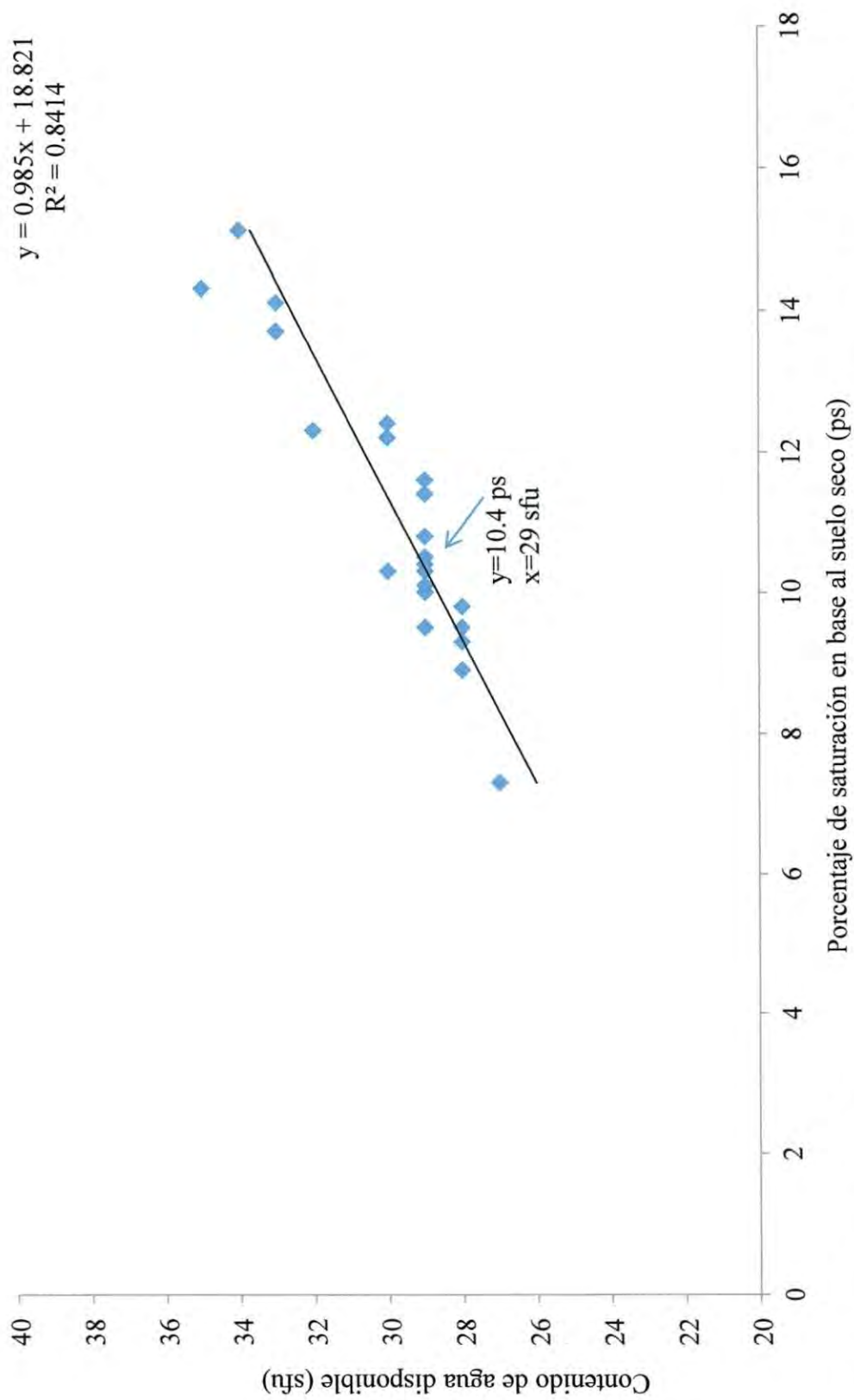


Figura 25. Calibración del sensor prueba de capacitancia "C-probe" con el método gravimétrico a la profundidad de 80 cm en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.

En el Cuadro 1, se muestra que para el cultivar *Perlette* los valores comparados de todas las variables que se obtuvieron durante el año de producción 2007, no presentan significancia entre los tratamientos de riego “Restringido” y riego “Modificado”, lo mismo se presentó en el “Testigo”.

La repuesta de este cultivar a la modificación en el manejo del riego no se vio reflejada en el primer año, sin embargo, para el ciclo de producción 2008, se puede apreciar una afectación altamente significativa en la disminución del 30.5 % en peso promedio de los racimos, con el tratamiento de riego “Restringido” (Cuadro 2). Lo que significa que el efecto de los tratamientos de riego se manifestó apenas en el segundo año de estudio, mediante la producción de racimos más pequeños, los cuales presentaron menor peso (167.12 g contra 218.57 g y 210.35 g del riego “Modificado” y del “Testigo”, respectivamente.

De igual manera en este cuadro se muestra la variable de rendimiento de planta, en donde también hubo diferencia estadística significativa, quedando el tratamiento de riego “Modificado” significativamente mejor que el “Testigo” y que el tratamiento “Restringido”, con 2.07 y 2.74 kg más por planta, respectivamente, lo anterior señala la importancia de la distribución uniforme del agua de riego en el perfil del suelo donde se encuentran las raíces de la planta, lo cual se logró usando mangueras de riego con mayor cantidad de goteros por metro lineal.

Con las demás variables no se presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos durante los dos años de evaluación, sin embargo, numéricamente el número de racimos tiende a ser mayor también con el riego “Modificado” en este segundo año, al superar con 6.2 racimos por planta al “Testigo” y con 3.3 al riego “Restringido”, el “Testigo” presenta ligeramente mayor diámetro de baya (18.18 mm), seguido del modificado con 18.02 mm, en la variable de °brix numéricamente el riego “Modificado” fue el mejor. Las variables de peso de racimo y rendimiento de planta que fueron diferentes estadísticamente a las demás variables

Cuadro 1. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar *Perlette* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.

Tratamiento	Número de racimos	Peso de racimo (g)	Rendimiento de planta (kg)	Diámetro de baya (mm)	Grados brix (°brix)
Riego Restringido	33,867a	240,40a	8,2800a	19,6200a	17,8000a
Riego Modificado	34,933a	233,80a	8,3127a	19,4400a	17,4000a
Riego Testigo	36,267a	222,40a	8,0253a	19,4267a	17,2200a
Nivel de significancia	NS	NS	NS	NS	NS
CV	23.64	14.65756	30.03434	2.094856	3.893968
DMSH	7.4802	30.75	2.2267	0.369	0.6147

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales, de acuerdo con la prueba de Tuckey a una  $P \leq 0.05$

NS = No Significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente Significativo

DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta

Cuadro 2. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar *Perlette* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2008.

Tratamiento	Número de racimos	Peso de racimo (g)	Rendimiento de planta (kg)	Diámetro de baya (mm)	Grados brix (°brix)
Riego Restringido	39,733a	167,12b**	6,8067b	18,0067a	16,9800a
Riego Modificado	43,000a	218,57a	9,5467a*	18,0200a	17,0867a
Riego Testigo	35,800a	210,35a	7,5067ab	18,1800a	16,4800a
Nivel de significancia	NS	**	*	NS	NS
CV	22.72187	17.32595	31.48457	4.605227	5.381436
DMSH	8.1112	31.101	2.2624	0.7518	0.8192

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales, de acuerdo con la prueba de Tuckey a una  $P \leq 0.05$

NS = No Significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente Significativo

DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta

están relacionadas entre sí de alguna manera, pues las unidades de medición son las mismas (g) y al haber racimos más pequeños, por default, el rendimiento de planta será menor.

En el cultivar *Sugraone*, a diferencia de *Perlette* desde el primer año de estudio (2007) mostró efecto entre los tratamientos. Con la variable peso de racimos y rendimiento de planta, el “Testigo” estadísticamente fue superior a los dos tratamientos de riego, al superarlos con 47.94 g al riego “Modificado” y con 6.27 g al riego “Restringido”. Las demás variables son estadísticamente iguales, sin embargo, numéricamente el riego “Modificado” fue el menos favorecido con la excepción en la variable de °brix (Cuadro 3). Al parecer, la modificación inducida en el patrón de mojado en el suelo mediante un sistema de riego con goteros más juntos, no favoreció mucho a este cultivar, al menos en el primer año de estudio.

En el ciclo de producción 2008, la variable peso de racimo fue la única que no mostró significancia. en número de racimos el riego “Restringido” superó con 7.7 racimos al riego “Modificado” y con 15.8 al “Testigo”, siendo estadísticamente superior que éstos, en rendimiento por planta fue estadísticamente superior el riego “Restringido”, superando con 900 g al riego “Modificado” y con 5,440 g al “Testigo”, en diámetro de baya el riego “Restringido” superó solamente con 0.72 mm al riego “Modificado” y con 0.74 al testigo, sin embargo estadísticamente fue superior; en la acumulación de sólidos solubles el riego “Restringido” se muestra como el mejor tratamiento estadísticamente con 18.09 °brix, seguido del “Testigo” con 17.36 °brix (Cuadro 4).

Lo anterior significa que en el cultivar *Sugraone* se puede restringir el riego sin afectar en lo más mínimo calidad y rendimiento, por el contrario responde mejor la planta a la restricción del riego, pero hay que recordar que este comportamiento se dio después del segundo año y algo que se debe tener en cuenta siempre es monitorear continuamente la humedad en el suelo.



Cuadro 3. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2007.

Tratamiento	Número de racimos	Peso de racimo (g)	Rendimiento de planta (kg)	Diámetro de baya (mm)	Grados brix (°brix)
Riego Restringido	32,933a	324,20ab	11,020a	20,3600ab	17,8133a
Riego Modificado	24,667a	282,53b	7,087a	20,1333b	18,0400a
Riego Testigo	35,267a	330,47a*	11,847a*	20,4600a	17,7867a
Nivel de significancia	NS	*	*	NS	NS
CV	44.44734	14.95867	53.71433	1.759784	3.704648
DMSH	12.431	42.221	4.8455	0.323	0.5985

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales, de acuerdo con la prueba de Tuckey a una  $P \leq 0.05$

NS = No Significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente Significativo

DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta

Cuadro 4. Análisis estadístico de las variables número de racimos, peso de racimos, rendimiento por planta, diámetro de baya y °brix, en el cultivar *Sugraone* del Viñedo "San Luis", Costa de Hermosillo, Sonora, México. Ciclo de producción 2008.

Tratamiento	Número de racimos	Peso de racimo (g)	Rendimiento de planta (kg)	Diámetro de baya (mm)	Grados brix (°brix)
Riego Restringido	37,2009a*	358,91a	13,420a*	20,4933a*	18,0867a**
Riego Modificado	29,533ab	372,71a	12,513ab	19,7800b	16,7067b
Riego Testigo	21,400b	381,63a	7,960b	19,7600b	17,3600ab
Nivel de significancia	*	NS	*	*	**
CV	47.70637	15.43889	45.19472	3.654124	5.136199
DMSH	12.662	51.762	4.6132	0.6607	0.8067

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales, de acuerdo con la prueba de Tuckey a una  $P \leq 0.05$

NS = No Significativo

\* = Significativo

\*\* = Altamente Significativo

DMSH = Diferencia Mínima Significativa Honesta

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la vid de mesa en la región de la Costa de Hermosillo, lo esencial de los riegos comprende desde el mes de enero hasta la primer semana de julio, debido a que después de esta fecha termina la zafra y la planta comienza con un proceso de reducción de su metabolismo, hasta que finalmente entra en reposo o dormancia en el invierno, característica principal de los frutales caducifolios; por lo anterior, en la vid de mesa es posible aplicar una lámina de riego por debajo de la evapotranspiración potencial o de referencia (ET<sub>o</sub>), restringiendo los riegos en etapas no críticas del cultivo para evitar perjudicar lo menos posible el rendimiento y calidad de la producción.

Con los resultados del monitoreo de humedad realizado durante todo el año y el efecto que se produjo en el rendimiento y la calidad de la producción, se concluye que las lecturas mayores a 100 cb de tensión no deben prevalecer en las etapas fenológicas de máxima demanda de agua del cultivo, pero fácilmente se pueden manejar estos valores durante el periodo de poscosecha.

Respecto a los resultados de rendimiento y calidad de la producción, se llegó a la conclusión de que el cultivar *Perlette* y el cultivar *Sugraone* responden de manera diferente a la reducción y modificación en la aplicación del riego, tanto así, que *Perlette* en el año 2007 no manifestó ninguna respuesta de variación entre los tratamientos, sin embargo, en 2008 se afectó negativamente el peso del racimo con el tratamiento de riego “Restringido”, hacen falta más años de evaluación para determinar en qué dimensión se afecta el rendimiento y calidad en este cultivar con reducción del riego en un 30 % de la ET<sub>c</sub>, sin embargo, el tratamiento de riego “Modificado” tuvo mayor calidad y rendimiento.

En *Sugraone* durante los dos años de estudio el mejor tratamiento se obtuvo con el riego “Restringido”, lo que significa que en este cultivar y con las características tanto de suelo como climáticas de la Costa de Hermosillo, específicamente, del viñedo San Luis, es

completamente factible optimizar en un 30 % el consumo de la ETc, sin afectar en lo más mínimo el rendimiento y calidad de la producción.

En cuanto a la calibración de los dos tipos de sensores, se observó que ambos dispositivos una vez calibrados son esenciales para monitorear perfectamente la humedad del suelo en los viñedos, manejando los valores de capacidad de campo ya determinados. La explicación de que los valores de capacidad de campo no se hayan obtenido en el tiempo que maneja la literatura sino después a pesar de ser un suelo arenoso; se debió a las condiciones de clima presentes en ese momento en el sitio, aunado a la etapa fenológica de la planta al momento de realizar el muestreo (mes de diciembre: etapa fenológica de dormancia).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, C. M. y R. Martínez, E. 1990. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Tercera edición. Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México. 321 pp.
- Blass, S. 1973. Water in strife and action (Hebrew), published by massada limited, Israel. <http://es.wikipedia.org/wiki/Riego-por-goteo>. 24 de Enero de 2010.
- Bresler, E. 1977. Trickle-drip irrigation: principle and application to soil water management. *Adv. Agronomy Journal*. 29: 343-393.
- Boman, J. B. 2002. Water and Florida Citrus: Use, Regulation, Irrigation, Systems, and Management. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. SP 281. 166 p.
- Boman, J. B. and L. Parsons. 2002. Water and Florida Citrus: Use, Regulation, Irrigation, Systems, and Management. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. SP 281. p. 148-162.
- Bucks, D .A. French, F. S. Nakayama and D. D. Fangmeier. 1985. Trickle irrigation management for grape production. *Agricultural water management*. Vol. 23. Issue 2. pp. 204-211.
- Caliandro, A., G. Carrieri, E. Ferrara and P. Rubino. 1988. Influence of some irrigation variables on drip irrigated table grape cv. "Italia", in Southern Italy. *Acta Horticulturae* 228: 189-196.
- Cary, J. W. and H. D. Fisher. 1983. Irrigation decisions simplified with electronics and soil water sensors. *Soil Sciences Society American Journal* 47: 1219-1223.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L. and C. M. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*: 105: 661-676 pp. doi: 10.1093/aob/mcq030, available online at [www.aob.oxfordjournals.org](http://www.aob.oxfordjournals.org).
- Cifré, J., Bota, J., Escalona, J., Medrano, H. and J. Flexas. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). An open gate to improve water-use efficiency?. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 159-170.
- Fernández, Ma. 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. Editorial CAJA MAR. pp. 15-41.
- Ferreira, R., Sellés, G., Peralta, J. and J. Valenzuela. 2004. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Horticulturae* 646: 27-33.

- Fu, C. A. A., González, H. H. y M. K. Daane. 2005. Los Piojos Harinosos de la Vid. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. Libro técnico 9. ISBN 968-5580-64-2. 212 p.
- Fundación Produce Sonora, A. C. 2007. PIEAES. Información Agroclimática para el Estado de Sonora. <http://www.agroson.org.mx/>.
- Fundación Produce Sonora, A. C. 2008. PIEAES. Información Agroclimática para el Estado de Sonora. <http://www.agroson.org.mx/>.
- Gal, A. B., Lazorovitch, N. and U. Shani. 2004. Subsurface Drip Irrigation in Gravel-Filled Cavities. *Soil Science Society of America Journal* 3:1407-1413.
- Google Earth. 2008. <http://earth.google.es>. Fecha de consulta: julio de 2008, 15:35.
- Gurovich, L. y C. Páez. 2004. Influencia del Riego Deficitario Controlado Sobre el Desarrollo de las Bayas y la Composición Química de los Mostos y Vinos. *Ciencia e Investigación Agraria*. 31:175-186.
- Grageda, G. J. G., Osorio A., R. Sabori, P. y J. L. Ramirez. 2002. Uso de Estaciones Meteorológicas Automatizadas en la Agricultura. INIFAP. Folleto Técnico No. 24. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. 28p.
- Hanson, B. R. and D. W. Peters. 2000. Using Dielectric Soil Moisture Sensors for Irrigation Scheduling. *Acta Horticulturae (ISHS)* 537:471-477. [http://www.actahort.org/books/537/537\\_55.htm](http://www.actahort.org/books/537/537_55.htm)
- INIA-ODEPA. 2000. Proyecto sistemas de validación y transferencia de tecnologías de riego sector regado de las provincias de San Felipe y Los Andes. Convenio INIA-ODEPA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación. La Platina, Santiago, Chile. 52p.
- Jaime, G. R. 1993. Enfermedades de la Vid. *In: Producción Vitícola*. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México - INIFAP. pp. 155-194.
- Jaworski, A. J., T. Dyakowski and G. A. Davies. 1999. A capacitance probe for interface detection in oil and gas extraction plant. *Journal, Meas. Sci. Technol.* 10. L15-L20.
- Keller, M., Smithyman, R. and L. Mills. 2008. Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet Sauvignon in an arid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*. 59: 221234.
- Márquez, C. J. A., G. Osorio, A., G. Martínez, D., J. H. Núñez, M., A. Fú, C., J. Grageda, G., B. Valdez, G. y J. L. Miranda, B. 2004. Vid de Mesa. Establecimiento y Manejo en la Costa de Hermosillo y Pesqueira. Folleto Técnico No. 27. INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. 132 p.

- Muñoz, R., Pérez, J., Pszczółkowski y E. Bordeu. 2002. Influencia del nivel de carga y microclima sobre la composición y calidad de bayas, mosto y vino de Cabernet-Sauvignon, Ciencia e Investigación Agraria 29. 115-125.
- Nesbitt, A., Nagarajah, S., Kenna, G. and A. Springs. 2002. Irrigation Management in Table grapes at Ti-Tree. Technote. Agdex No. 241/561. ISSN No. 0158-2755.
- Ortega-Farias, S. 1999. Avances sobre programación del riego en el viñedo. Seminario internacional: programación del riego en vides. Centro tecnológico de la Vid y el vino (CTVV) y Servicio Integrado de Agroclimatología y Riego (SIAR). p. 57-64.
- Ortega-Farias, S., A. Acevedo, C., Acevedo, A. and Leyton. 2003. Talca irrigation management system (TIMAS) for grapevine: IV International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. Acta Horticulturae. 664 p.
- Osorio, A. G., J. L. Miranda, B., J. Guevara, P., A. A. Gardea, B. y J. A. Orozco, A. 2005. Manejo del Viñedo para Regulación de la Brotación y Cosechas Altamente Productivas y Rentables. Avances 2004-05. Seminario de Viticultura 2005. Memoria Técnica No. 20. INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. pp. 30-39.
- Patakas, A. and B. Noitsakis. 2001. Leaf age effects on solute accumulation in wáter stressed grapevines. Journal Plant Physiological 158: 63-69.
- Prichard, T., B. Hanson, L. Schwank, P. Verdegaal and R. Smith. 2004. Deficit Irrigation of Quality Winegrapes Using Micro-Irrigation Techniques. University of California Davis, Cooperative Extension Departament of Land, Air and Water Resources.
- Radulovich, R. 2009. Método gravimétrico para determinar *in situ* la humedad volumétrica del suelo. Revista de Ciencias Agrícolas 33(1):121-124.
- Rackley, A. and T. Marshall. 2010. Experiment Earth?. Natural environment research council. planetEarth. 36 pp. ISSN: 1479-2605. Artículo electrónico consultado en: [www.nerc.ac.uk/publications/planetearth/](http://www.nerc.ac.uk/publications/planetearth/).
- Ratlift, L. F., J. T. Ritchie, and D. K. Cassel. 1983. Field-Measured Limits of Soil Water Availavility as Related to Laboratory-Measured Properties. Soil Science Society of America Journal 47:770-775.
- Román, S. 2000. Fertilizantes solubles y fertirriego en Chile. Primer Seminario Internacional de Fertirriego, Santiago Chile, 28-30 de agosto de 2000. SOQUIMICH, Santiago, Chile. pp. 1-38.
- Santos, O. S. and O. Kalle. 2009. Composición and chemical-sensorial profile of ‘Syrah’ cultivated under transient water stress. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13(3):272-281.

- Schultz, R. H. and A. M. Matthews. 1993. Growth, Osmotic Adjustment, and Cell-Wall Mechanics of Expanding Grape Leaves during Water Deficits. *Crop Science Society of America* 33:287–294.
- Sistema de Información Agroclimática. 2006. Fundación Produce Sonora A. C –PIEAES. [www.agrososon.org.mx](http://www.agrososon.org.mx). Fecha de consulta: 30/12/2006.
- Sistema de Información Agroclimática. 2007. Fundación Produce Sonora A. C –PIEAES. [www.agrososon.org.mx](http://www.agrososon.org.mx). Fecha de consulta: 01/01/2007–31/12/2007.
- Sistema de Información Agroclimática. 2008. Fundación Produce Sonora A. C. –PIEAES. [www.agrososon.org.mx](http://www.agrososon.org.mx). Fecha de consulta: 01/01/2008–31/12/2008.
- Trimmer, W. and H. Hansen. 1994. Irrigation Scheduling. PNW 288.
- Topp, G. C. and P. A. Ferré. 2002. Thermogravimetric determinations using convective oven-drying. *Soil Science Society of America, Inc., Madison*. pp.422-424.
- Valdéz, G. B. y L. J. Durón, N. 2004. Manejo del Riego en Vid de Mesa. Seminario de Viticultura 2004. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Regional del Noroeste – Campo Experimental Costa de Hermosillo. Publicación Especial No. 18. Hermosillo, Sonora, México. pp. 47-54.
- Valdéz, G. B., Durón, N. L. J. y J. Grageda, G. 2005. Uso de Sistemas de Riego por Goteo y Monitoreo de la Humedad del Suelo en Vid de Mesa en la Costa de Hermosillo. Seminario de Viticultura 2005. Memoria Técnica No. 20. INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. p. 9-14.
- Valdéz, G. B., Durón, N. L. J. y O. S. Payán. 2007a. La Región de la Costa de Hermosillo: Un ejemplo a seguir en aprovechamiento del Agua. Sustentabilidad y rentabilidad: el rumbo por el que avanza la Agricultura Sonorense. *Revista SONORA PRODUCE A.C.* Año 2. No. 6. p. 4-5.
- Valdéz, G. B., Durón, N. L. J. y O. S. Payán. 2007b. Adopción de Tecnología de Riego para Incrementar el Aprovechamiento del Agua en Campos Agrícolas de la Costa de Hermosillo. Memoria Seminario de Viticultura. Centro de Investigación Regional del Noroeste Campo Experimental Costa de Hermosillo. Memoria Técnica 28. p. 16-19.
- Wample, R. L. and R. Smithyman. 2002. Regulated deficit irrigation as a water management strategy in *Vitis vinifera* production. *FAO Deficit Irrigation Practices: Water Reports* 22. pp. 89-100.
- Williams, L. E. 2001. Department of viticulture and Enology. University of California-Davis, and Kearney Agricultural Center.
- Williams, L. E., Phene, C. J. and T. J. Trout. 2003. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science* 22:11-18.



Williams, L. E. and T. J. Trout. 2005. Relationship among Vine- and Soil- Based Measures of water Status in a Thompson Seedless Vineyard in Response to High-Frequency Drip Irrigation. *American Journal Enology and Viticulture* 56(4):357-366.