

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES METODOS PARA DETERMINAR LA  
HUMEDAD DEL SUSTRATO EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE  
CLAVEL EN LA SABANA DE BOGOTA MEDIANTE LA UTILIZACION DE  
5 SUBSISTEMAS DE RIEGO.**

Por: I.Min. Felipe Calderón Sáenz;

I.A. Ricardo Ambrosio Carrillo;

I.A Juan Pablo Medina Torres.

Sr. William Medina Campos

Departamento Técnico Dr. Calderon Laboratorios Ltda.

Bogotá, Octubre 10 de 2002

### **1. INTRODUCCION**

Uno de los factores más importantes para el manejo de cualquier cultivo es el suministro adecuado de agua, por tanto su aprovechamiento eficiente es vital dado que en determinadas épocas, en diferentes regiones y pensando en el futuro es necesario ahorrar este recurso. Para lograr este manejo eficiente es necesario contar con todas aquellas herramientas que nos proporcione la tecnología moderna, afín de tomar las decisiones adecuadas y tener criterios para que el manejo del riego y su mejor aprovechamiento se haga con los mayores criterios técnicos disponibles.

La cuantificación del grado de humedad en el sustrato es fundamental para el normal desarrollo del cultivo, ya que con un suministro adecuado de agua al cultivo se pueden alcanzar cosechas abundantes y de alta calidad. Esta situación hace necesario supervisar constantemente la cantidad de agua aplicada y presente en el sustrato, que permita hacer un manejo técnico de los riegos y por tanto es necesario contar con aparatos o sistemas de medición del agua del sustrato confiables y precisos.

Existen numerosas técnicas de laboratorio y en campo para determinar el grado de humedad de los sustratos, dentro de las cuales el uso de tensiómetros es una práctica frecuente. Los tensiómetros se denominan así ya que miden la tensión

matricial de la humedad del sustrato. Los tensiómetros básicamente están formados por un tubo lleno de agua desgasificada que en un extremo lleva un bulbo cerámico microporoso que permite el paso del agua y en el otro un tapón. Cuando se instala en un suelo o sustrato seco, este trata de tomar el agua contenida en el tensiómetro generando una fuerza de tensión en la columna de agua del aparato que puede leída con ayuda de un manómetro de presión negativa o vacío (vacuómetro), una columna de mercurio (barómetro) o un transductor electrónico. Entre más seco este el suelo o sustrato, es mayor la tensión producida al interior del aparato.

Los tensiómetros utilizados en el país son importados, tienen un gran costo en el mercado nacional, no cuentan con un buen servicio técnico y mantenimiento, y los repuestos son escasos y en ocasiones es imposible adquirirlos.

Laboratorios Dr. Calderón ha venido desarrollando con tecnología y materiales nacionales diferentes tipos de tensiómetros tanto como otros sistemas eléctricos ; Entre estos, : Tensiómetros de mercurio, de manómetro y electrónicos, con mayor calidad que los importados, a precios más favorables para los agricultores del país. El bajo costo de los instrumentos desarrollados por Laboratorios Calderón, junto a la disponibilidad permanente de repuestos y servicio técnico, permiten a los agricultores tener acceso a esta tecnología. Igualmente se han venido desarrollando los sistemas basados en la medición de la impedancia o conductividad granel del suelo. Este es el llamado en el presente trabajo sistema de conducción o de sensores eléctricos.

El principio de funcionamiento de estos sensores se basa en que la conducción de una corriente eléctrica en el suelo depende de que exista humedad y electrolitos. Ha sido demostrado por Rhoades et al (1) que existe una relación definida entre la conductividad granel (bulk conductivity) del suelo, el contenido de humedad y la conductividad del líquido intersticial. Conociendo dos de estas variables es posible derivar la tercera. Cuando se habla en ciencia del suelo de la Conductividad eléctrica de un suelo, lo que se refiere es la conductividad eléctrica de algún tipo de extracto de dicho suelo, diferente de la conductividad misma del suelo (Conductividad granel del suelo). Esta variable, cuyo valor y significado es el inverso

de la resistividad, depende de la impedancia del suelo al paso de una corriente eléctrica. En el sistema de los sensores eléctricos, midiendo la conductividad granel del sustrato y conociendo la conductividad eléctrica del líquido intersticial, es posible derivar la humedad del sustrato.

En el presente trabajo, la medición de la conductividad granel del sustrato se realizó por medio de un instrumento desarrollado por Laboratorios Calderón, consistente en una fuente de excitación de onda cuadrada simétrica de 1 KHz (1000 Hz), con aproximadamente 10 uS de tiempo de subida, 10 uS de tiempo de bajada, 480 us de ancho de pulso y 1 ms de período de pulso. Simultáneamente se colocaron en el campo 15 sensores electricos tipo MA, las especificaciones de los cuales pueden ser vistas en [http://www.drcalderonlabs.com/Aparatos/Sensores\\_de\\_Humedad.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Aparatos/Sensores_de_Humedad.htm)

Por estas razones se pretende evaluar la confiabilidad, constancia y precisión de los aparatos desarrollados y construidos por Laboratorios Calderón y compararlos con tensiómetros importados, en cuanto a la respuesta a la aplicación de diferentes láminas de riego en el cultivo del Clavel.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

El experimento se realizó en la Finca Flores GUACARI, ubicada en el municipio de Tocancipá, en el departamento de Cundinamarca, a una altura aproximada de 2.660 msnm. Las evaluaciones se realizaron durante los meses de Junio, Julio y Agosto del 2002. Las condiciones del ensayo fueron las mismas de un cultivo comercial de clavel bajo cubierta. El cultivo se manejo con los mismos criterios con que se maneja un cultivo comercial. Las recomendaciones fitosanitarias, siembra, densidad de siembra, etc, se realizaron según los criterios establecidos por el personal técnico de la finca. Se inició el experimento utilizando plantas de clavel de la variedad Nelson de 2 meses de edad.

En 5 camas para el cultivo Hidropónico de Clavel se instalaron 5 líneas de riego por goteo diferentes. En cada cama se establecieron 3 estaciones para la medición, una en la cabecera, otra en el centro y una tercera en el extremo posterior. Estas

estaban constituidas por un tensiómetro diseñado para suelos (graduado de 0 a 100 centibares), un tensiómetro para cultivos hidropónicos graduado de 0 a 10 centibares, un sensor eléctrico MA-15 y una sonda de succión para extraer solución intersticial y evaluar la conductividad eléctrica de la solución del sustrato. Además de lo anterior se utilizaron las respectivas cajas de lectura electrónica correspondientes a cada tipo de tensiómetro y sensor. Las estaciones se ubicaron al centro y a los extremos de la cama. Las Camas Nos. 1, 2, 3 y 4 fueron llenas con sustrato de Cascarilla de arroz quemada y la Cama 5 fue llena con Cascarilla de arroz Cruda.

La forma de la cama fue cama colgante duplex, de 30 cm de ancho c/u por 20 cm de profundidad promedio.

Se utilizó un diseño factorial de 5x2, correspondientes a 5 líneas, con dos horas de medición (8 am antes del primer pulso de riego y 1 pm antes del segundo pulso de riego) y tres repeticiones (estaciones). Se hizo análisis de varianza para cada día de evaluación. El periodo del ensayo comprendió los meses de Junio, Julio y Agosto del 2002. Como variables de respuesta se consideraron los valores de la tensión de humedad medida con los dos tensiómetros (Suelo e Hidropónico), la conductividad granel del sustrato medida mediante los sensores eléctricos, la humedad gravimétrica medida por diferencia de pesos en el laboratorio y la conductividad eléctrica de la solución del sustrato extraída en las estaciones mediante el uso de sondas de succión y medida mediante un conductivímetro. También se estableció el ajuste de la conductividad eléctrica granel del sustrato por medio de siguiente fórmula:

Conducción corregida = Conducción en miliamperios del sensor x 1.5 / Conductividad Eléctrica de la solución extraída. Este ajuste se hizo con el fin de referir la lectura de los sensores de humedad a una conductividad eléctrica constante de 1.5 mmhos/cm.

Cuando el ANAVA mostró diferencias entre tratamientos se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey.

Para determinar cual de los sistemas tiene mejor asociación con la humedad gravimétrica se estableció el grado de correlación de cada método con esta humedad. También se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la dependencia de las mediciones de humedad con relación a la humedad gravimétrica. Esta prueba permitió calcular una ecuación de pronóstico entre la humedad gravimétrica y la medición con cada aparato.

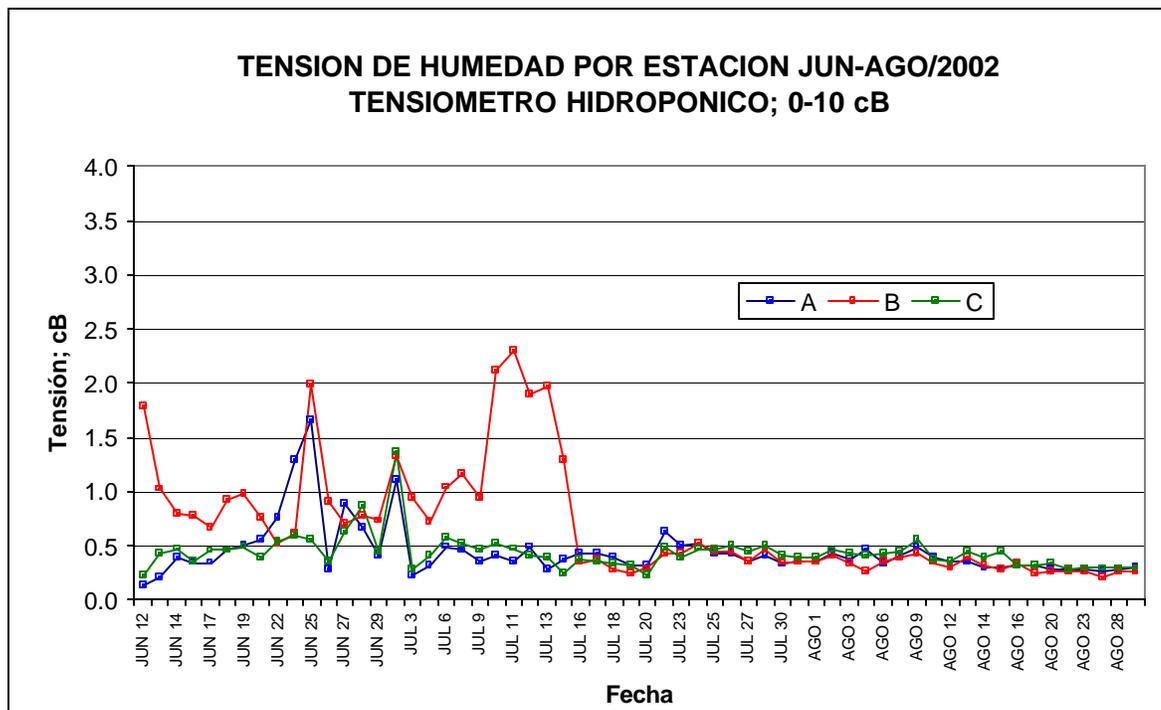
### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. ANÁLISIS CON EL TENSÍOMETRO HIDROPÓNICO; 0-10 cB**

Este análisis incluyó un diseño experimental factorial (5x2), con 3 estaciones, con 5 líneas o camas con diferente sistema de riego y 2 horas diferentes de lectura para la humedad del sustrato con el tensiómetro Hidropónico durante los meses de Junio, Julio, y Agosto del 2002. El objetivo de este análisis fue mirar las respuestas del tensiómetro Hidropónico para medir la humedad del sustrato. El resumen de los análisis de varianza se observan en el anexo 1.

##### **3.1.1. Diferencias entre Estaciones**

Con excepción del 20 de Julio y 27 de Agosto, no hubo diferencias estadísticas entre sectores o estaciones en todas las fechas de evaluación consideradas. En general con el tensiómetro hidropónico la medición es homogénea en toda la cama. A pesar de no presentarse diferencias es de destacar que en el primer mes y medio el sector medio de la cama fue más seco que las demás y en las evaluaciones finales fue el sector más húmedo (Figura No. 1 a Figura No. 3), donde el efecto acumulado del riego hace que la humedad se concentre al centro de la cama.

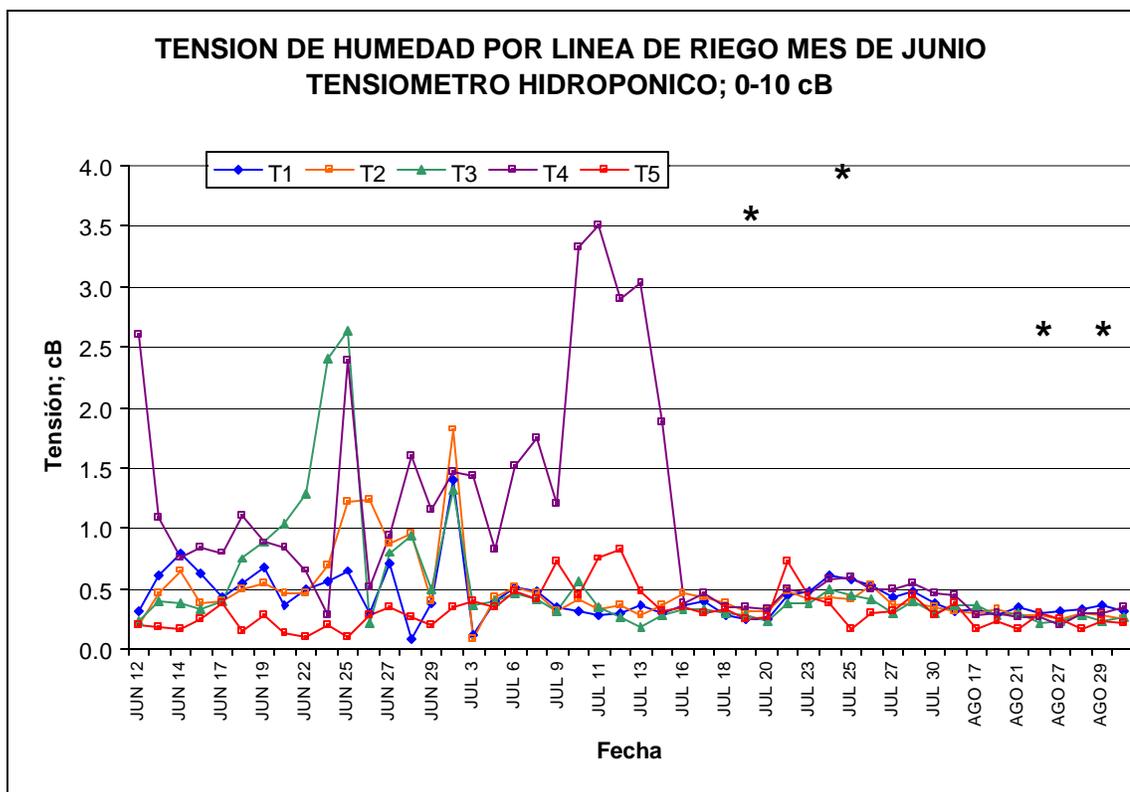


**Figura No. 1.** Humedad de sustrato en cada estación con tensiómetro Hidropónico durante los tres meses del experimento

### 3.1.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

En el mes de Junio se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de riego en los días 14, 15, 17, 22, 24, 28 y 29. En general en estas fechas las línea 5 (con sustrato diferente) y la 1 presentaron los mayores contenidos de humedad, la línea 2 tuvo de un comportamiento intermedio y las líneas 3 y 4 con menor humedad del sustrato (Figura No. 4).

En el mes de Julio las diferencias entre líneas se concentraron al final del mes en los días 22, 23, 24, 25 y 27. La Figura No. 4 muestra el comportamiento de los sistemas de riego en esta época. La línea 5 (sustrato en cascarilla de arroz) y la línea 3 fueron los sistemas con mayor humedad en el sustrato, en contraste con las líneas 1 y 4 con menor humedad. La línea 2 presentó el comportamiento promedio de todos los sistemas.



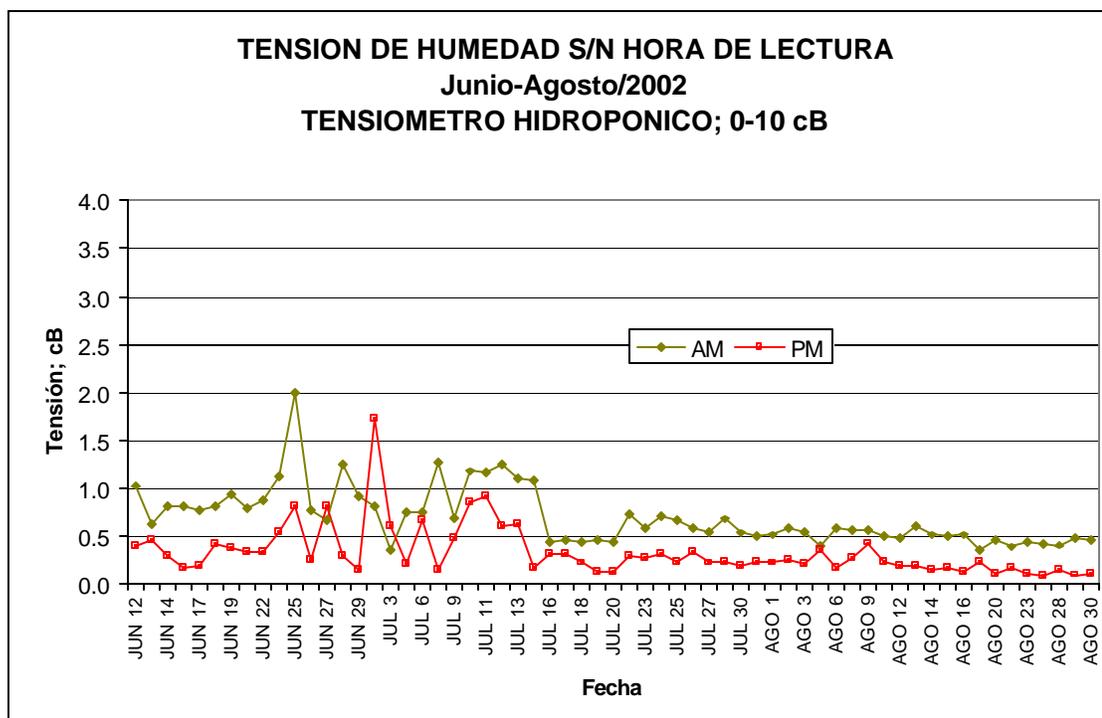
**Figura No. 4.** Humedad de sustrato en cada línea de riego con el tensiómetro Hidropónico durante los tres meses del experimento.

En el mes de agosto las diferencias se presentaron en los días 5, 13, 17, 28 y 29. En general las líneas 5 y 3 presentaron la mayor humedad en contraste con la línea 1 con la menor humedad. Las líneas 2 y 4 mostraron humedades similares (Figura No. 4).

### 3.1.3. Diferencias entre horas de Evaluación

En la gran mayoría de las fechas de medición se presentaron diferencias entre las dos horas, siendo más húmedo en las horas de la tarde que en las horas de la mañana. Esta respuesta coincide con el análisis general. Las fechas en donde se presentaron diferencias estadísticas fueron: 14, 16, 17, 24, 28 y 29 de Junio, 2, 3, 8, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 29 y 31 de julio, 1, 2, 3, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 27, 28, 29 y 30 de agosto. De igual manera al análisis general, la humedad de las camas aumenta lentamente hasta aproximadamente el

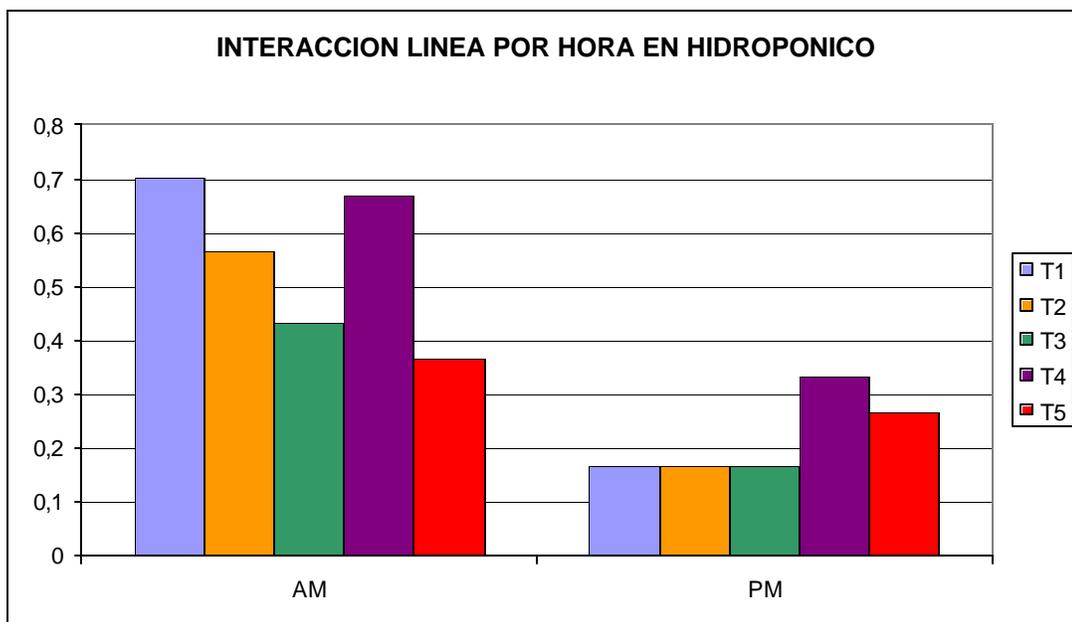
15 de Julio, fecha a partir de la cual tiende a permanecer constante Figura No. 7, 8 y 9).



**Figura No. 7.** Humedad del sustrato según Hora de lectura con el tensiómetro Hidropónico durante el mes de Junio.

### 3.1.4. Interacción Línea por Hora

Esta interacción fue significativa en los días 27, 28, 29 de Junio, 22, 23, 24, 25, 27 de Junio, 6 y 17 de Agosto. La interacción indica que la humedad de cada línea es diferente según la hora en donde se evalúe la misma. Mientras un sistema de riego determinado presenta mayor tensión de humedad en una hora, en la otra puede presentar la más baja tensión. La tendencia de los resultados se observa en la Figura No. 10. La más altas humedades en las mañana se observan con las líneas 3 y 5, mientras que en la tarde son las líneas 1, 2 y 3. La línea 4 fue la que presentó menor humedad en ambas horas, siendo la línea de riego que aporta menor humedad al sustrato. En general las líneas hidropónicas presentan una gran pérdida de agua en horas de la noche, mientras que la línea 5 pierde menos humedad y esta se mantiene más homogénea en ambas horas.



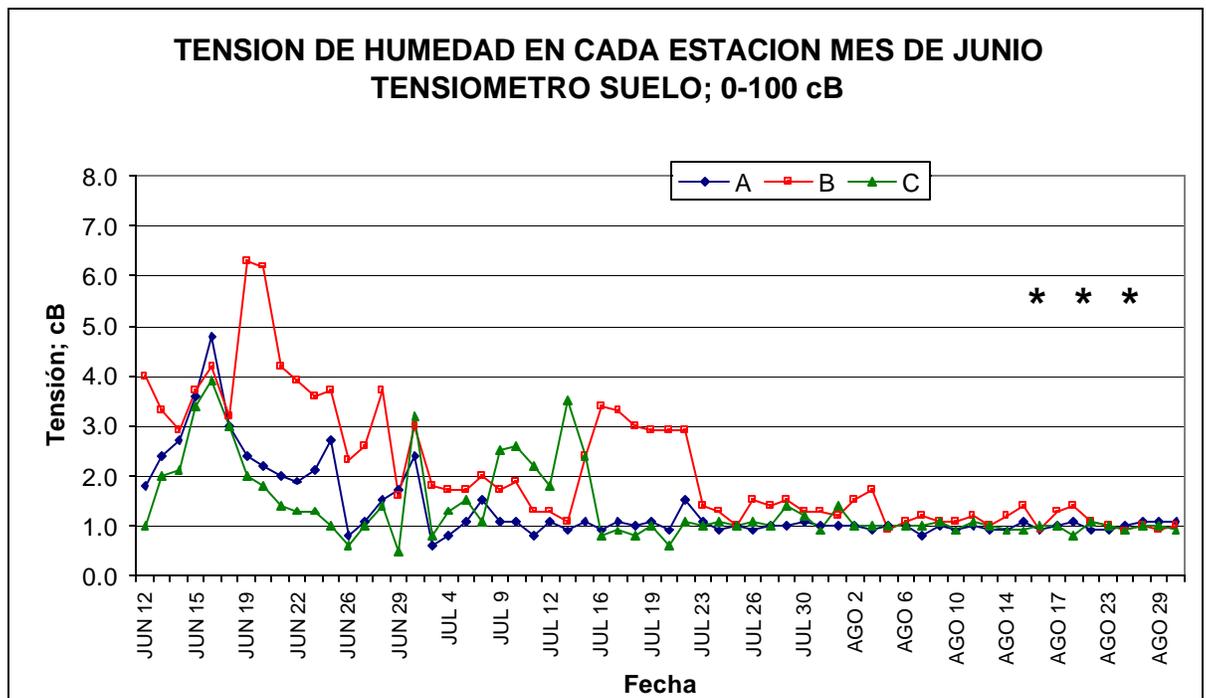
**Figura No. 10.** Interacción Línea por Hora con el tensiómetro para suelos.

### 3.2. ANÁLISIS CON EL TENSÍOMETRO PARA SUELOS (0-100 cB)

Las evaluaciones de la humedad del sustrato realizadas con el tensiómetro para Suelos presentaron menores diferencias estadísticas entre sectores, líneas de riego y horas de medición en las diferentes fechas con respecto a las obtenidas con el tensiómetro hidropónico, indicando una menor sensibilidad para medir la humedad del sustrato debida a que el rango donde opera el tensiómetro para suelos es demasiado grande y presenta marcaciones muy por encima del rango de variación del sustrato que impiden una medición más precisa (Anexo 2).

#### 3.2.1. Diferencias entre Estaciones

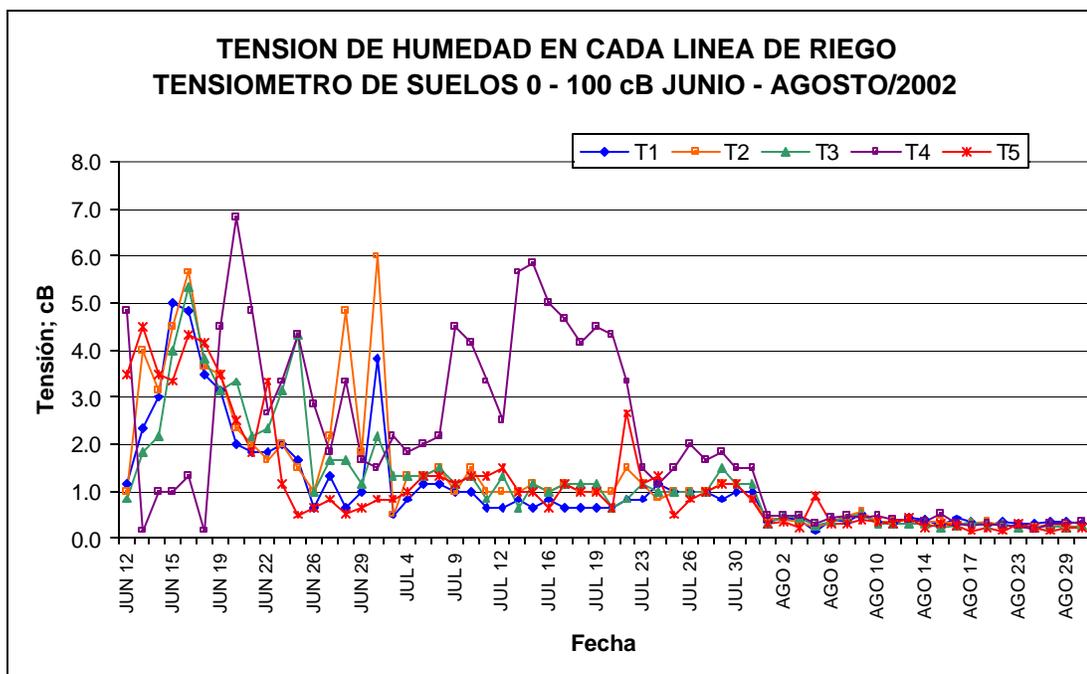
En los tres meses de evaluación, sólo se encontraron diferencias entre sectores de la cama en Junio 27, 28 y 29 de Junio y el 20 de agosto. En estas fechas el sector medio es el menos húmedo (como lo muestra la Figura No.11), comparado con los extremos de la cama, pero al final del periodo de evaluación la humedad de los sectores es similar, como se observó también con el Tensiómetro Hidropónico (Figura No. 12 y 13).



**Figura No. 11.** Humedad de sustrato en cada estación con tensiómetro para suelos durante los meses de Junio, Julio y Agosto.

### 3.2.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

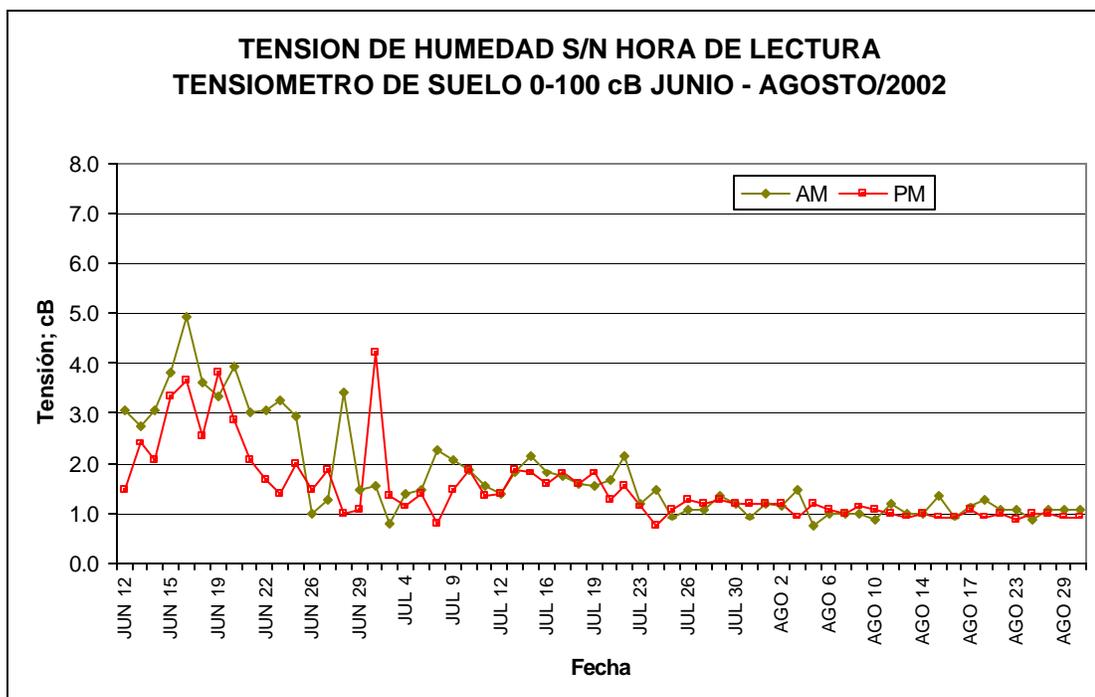
En Junio se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de riego en los días 14, 15, 17 y 28, siendo un menor número de fechas a las encontradas con el Hidropónico. Al igual con el Hidropónico, la línea 5 (con sustrato diferente) y la 1 presentaron los mayores contenidos de humedad, la línea 2 tuvo de un comportamiento intermedio y las líneas 3 y 4 con menor humedad del sustrato (Figura No. 14). En Julio las diferencias entre líneas se concentraron al final del mes en los días 10, 25, 26 y 29. La Figura No. 15 indica que la línea 5 (sustrato en cascarilla de arroz) y la línea 3 fueron los sistemas con mayor humedad en el sustrato, en contraste con las líneas 1 y 4 con menor humedad. La línea 2 presentó el comportamiento promedio de todos los sistemas. En agosto no se presentaron diferencias entre las líneas de riego (Figura No. 16).



**Figura No. 14.** Tensión de Humedad del Sustrato en cada línea de riego medida con el tensiómetro para suelos (0 – 100 cB) durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002.

### 3.2.3. Diferencias entre horas de Evaluación

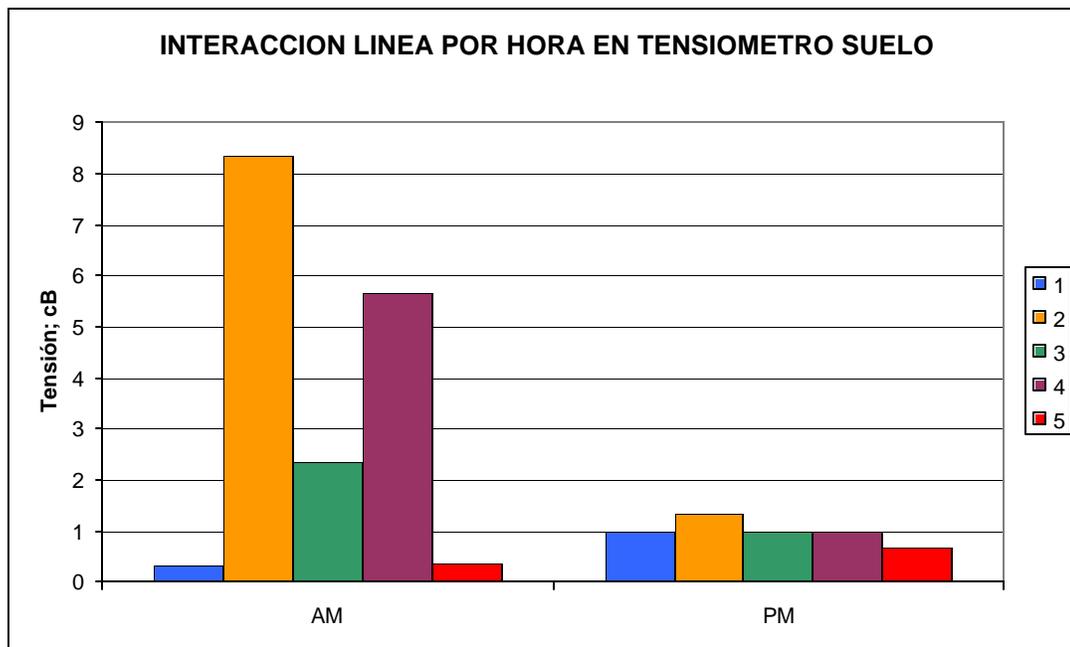
Al igual que con el tensiómetro para Hidroponía, se presentaron diferencias entre las dos horas, siendo más húmedo en las horas de la tarde que en las horas de la mañana. Las fechas en donde se presentaron diferencias estadísticas fueron: 14, 16, 17, 18, 22 y 28 de Junio, 2, 8, 24 y 29 de julio, 5 y 15 agosto, sien un número inferior de fechas al observado con el tensiómetro Hidropónico (Figura No. 17, 18 y 19). De igual manera al análisis general, la humedad de las camas aumenta lentamente hasta aproximadamente el 15 de Julio, fecha a partir de la cual tiende a permanecer constante. La sensibilidad del tensiómetro para suelos (tabulado entre 0 100 centibares) no genera en el mes de Agosto la sensibilidad necesaria para detectar diferencias entre horas en el mes de Agosto, época en la cual la humedad del sustrato es más constante en ambas horas de evaluación (Figura No.19).



**Figura No. 17.** Tensión de Humedad de sustrato medida con el tensiómetro para suelos 0 – 100 cB según Hora de lectura durante los meses de Junio, Julio y Agosto.

### 3.2.4. Interacción Línea por Hora

Únicamente se observa efecto de la interacción el 28 de Junio La tendencia de los resultados se observa en la Figura No. 20. La más altas humedades en las mañana se observan con las líneas 1 y 5, mientras que en la tarde todas las líneas presentan similares valores. La línea 4 fue la que presentó menor humedad en ambas horas, siendo la línea de riego que aporta menor humedad al sustrato. Es de destacar como la línea hidropónica 1 tiene un comportamiento similar a la línea 5 que tiene diferente sustrato. Las líneas 2 y 4 presentan una mayor caída de la humedad en horas de la mañana.



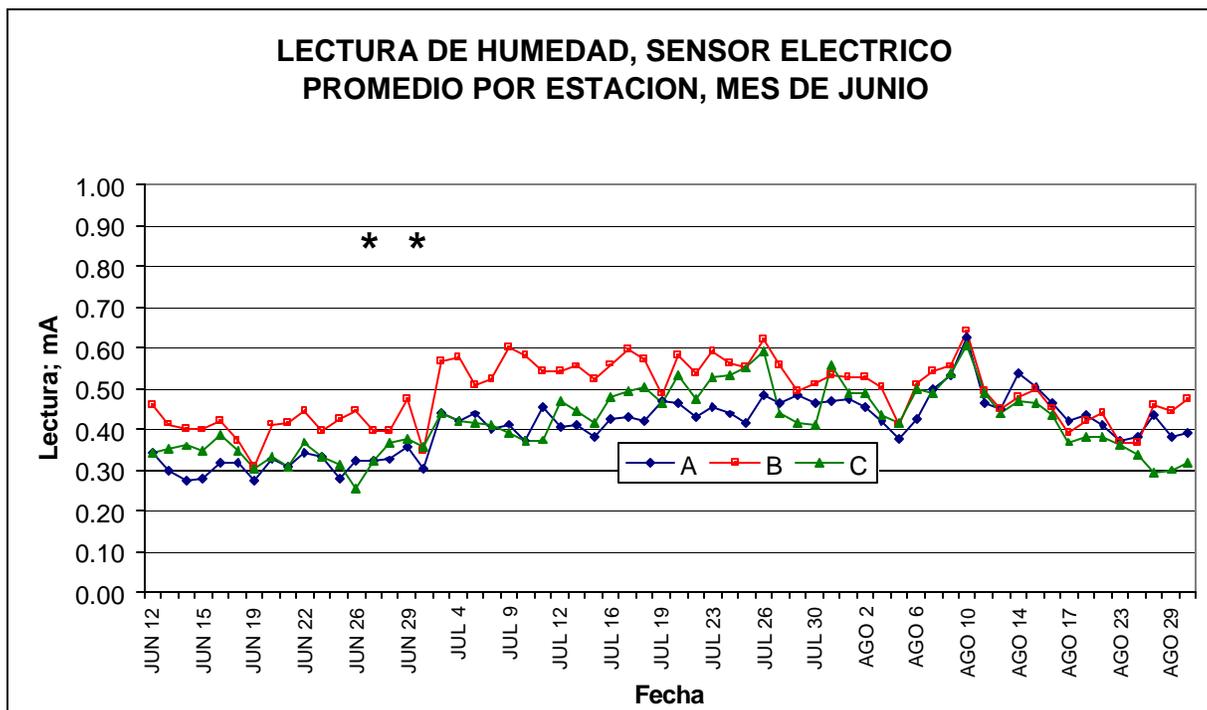
**Figura No. 20.** Interacción Línea por Hora de Humedad en Tensiómetro para suelos.

### 3.3. ANÁLISIS CON SENSORES ELECTRICOS

En la medición por medio de sensores eléctricos se encontraron diferencias estadísticas básicamente entre estaciones, líneas y horas de riego, tan frecuentes como las observadas con el tensiómetro hidropónico. Estos resultados sugieren que esta técnica de medición de la humedad es lo suficientemente sensible para determinar cambios ligeros en la humedad del sustrato. En el análisis es de tener en cuenta que la conducción eléctrica depende de la humedad del sustrato además de la presencia de sales (Anexo 3)

#### 3.3.1. Diferencias entre Estaciones

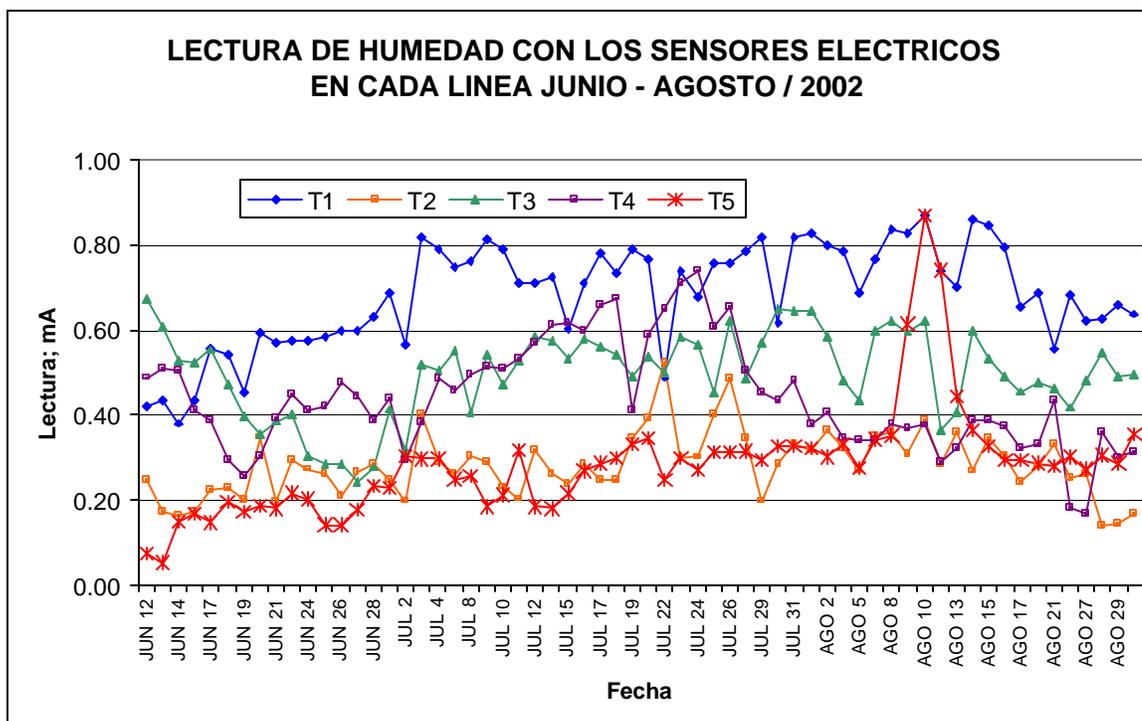
Se presentaron diferencias entre estaciones o sectores de la cama los días 15, 17 de Junio, 3, 10 y 25 de Julio y Agosto 28. Las diferencias estadísticas fueron más frecuentes que las halladas con el tensiómetro hidropónico. Tanto en las fechas con diferencias como en la que no se presentaron la estación central fue la más húmeda comparada con las otras dos estaciones durante todo el periodo (Figura No. 21, 22 y 23).



**Figura No. 21.** Lectura de la Humedad del sustrato en cada estación con los sensores eléctricos durante los meses de Junio, Julio y Agosto.

### 3.3.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

La conducción eléctrica detectó diferencias estadísticas entre líneas en todas las fechas de evaluación, en contraste con los tensiómetros suelo e hidropónico donde la diferencia entre sistemas de riego no fueron tan frecuentes. La conducción eléctrica puede considerarse un buen evaluador para determinar las diferencias entre líneas de riego, pero de tenerse en cuenta la relación entre humedad del sustrato y la presencia de sales. Las diferencias muestran mayor conducción eléctrica con las líneas 1 y 3 (especialmente la línea 1), en contraste con las líneas 2 y 5 con menor conducción. La línea 4 tuvo un comportamiento intermedio. Esto indica que las líneas 1 y 3 presentan mayor humedad, o más presencia de sales, en contraste con la 2 y 5 que tienen menos humedad o presencia de sales. La línea 4 parece ser la más equilibrada en cuanto a sales y humedad (Figura No. 24, 25 y 26).

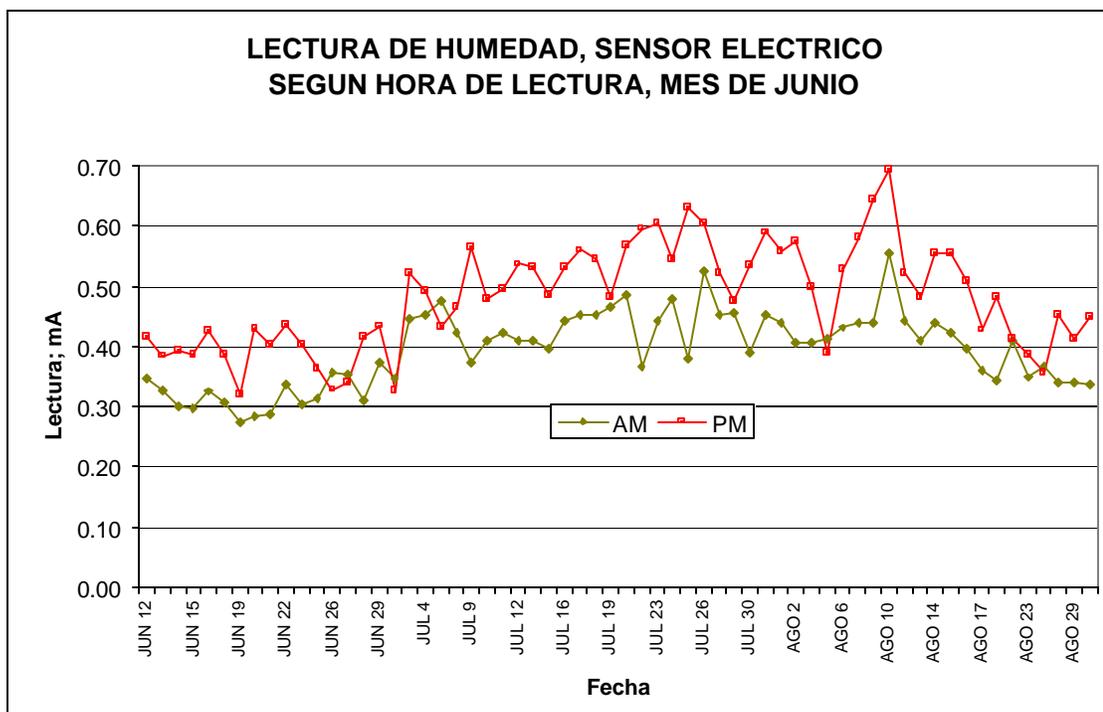


**Figura No. 24.** Medición de Humedad del sustrato en cada línea de riego por medio de sensores eléctricos durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002.

### 3.3.3. Diferencias entre horas de Evaluación

Se encontraron diferencias entre las horas de evaluación en los días 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24 de Junio, 9, 12, 13, 22, 23, 25, 30, 31 de Julio, 2, 3, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 28 de Agosto.

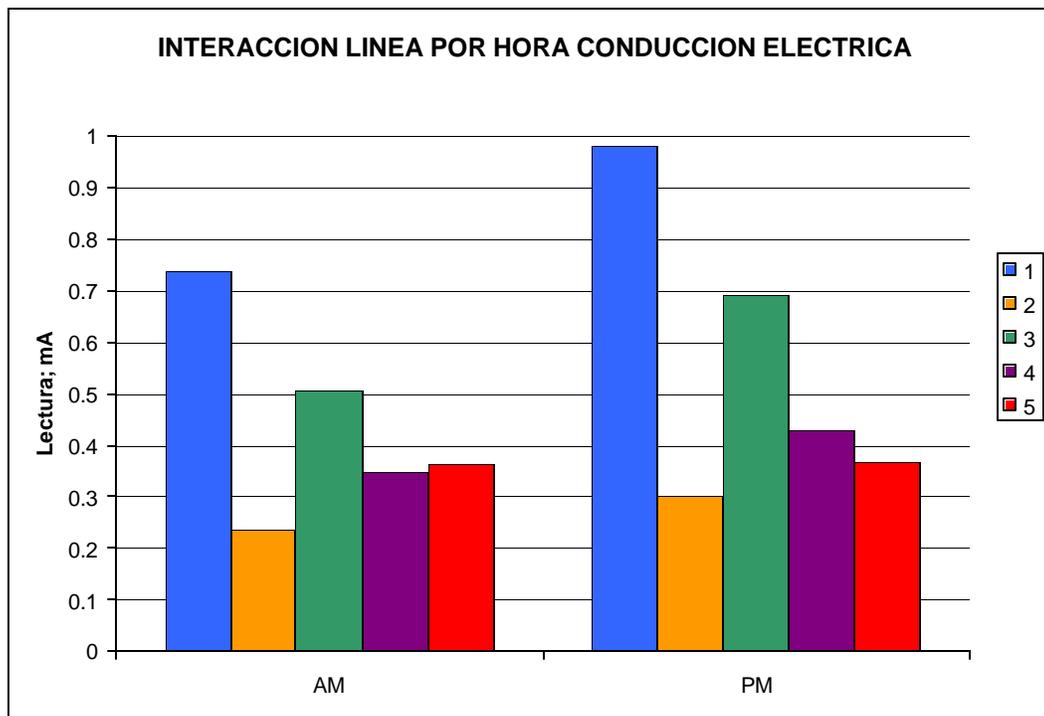
La frecuencia con que aparecen las diferencias, las fechas y los resultados corroboran los hallazgos obtenidos con la humedad medida a través de tensiómetro hidropónico y de suelo: en la mañana el sustrato permanece más seco que en la tarde. Existe también un aumento de la humedad a medida que transcurre el tiempo, aunque se presenta una leve disminución de la conducción a finales de agosto (Mes seco). Las Figuras 27, 28 y 29, indican estos resultados e ilustran las diferencias entre las horas.



**Figura No. 27.** Humedad de Sustrato medida con sensores Eléctricos según Hora de lectura, durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002.

### 3.3.4. Interacción Línea por Hora

La interacción fue significativas en Julio 22 y 25 y en Agosto 9, 12, 13 y 28. La interacción muestra una tendencia interesante del comportamiento de las líneas. Mientras las líneas más húmedas según el tensiómetro hidropónico fueron 1 y 5 comparadas con las demás. Estos resultados fueron consistentes con la conducción, pero la línea 5, presento una mayor humedad con el tensiómetro, pero una baja conducción, posiblemente asociada a menos sales acumuladas. Se percibe igualmente el aumento de la humedad en las horas de la tarde.



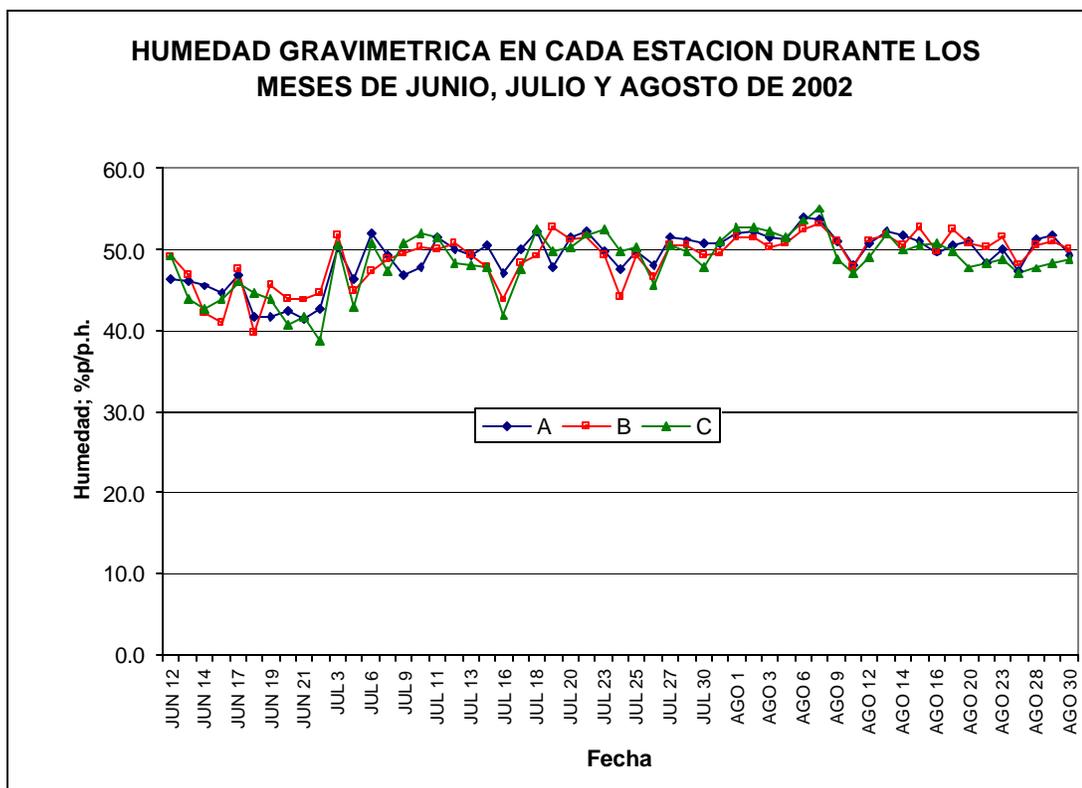
**Figura No. 30.** Interacción Línea por Hora de Humedad con conducción eléctrica.

### 3.4. ANÁLISIS DE HUMEDAD GRAVIMETRICA

El resumen de los análisis estadísticos para la humedad gravimétrica se observan en el Anexo 4.

#### 3.4.1. Diferencias entre Estaciones

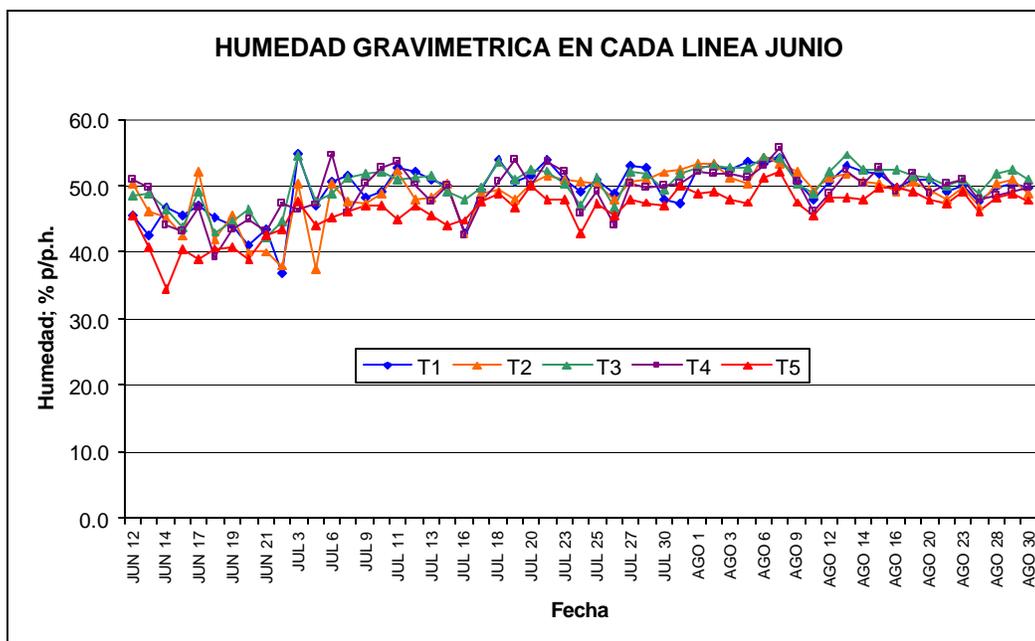
La humedad gravimétrica presento diferencias entre sectores los días 17, 18, 23 de Julio y 17, 20,23,28,29 de Agosto. Con el tensiómetro hidropónico el 20 de Julio y 27 de Agosto hubo diferencias estadísticas entre sectores o estaciones en todas las fechas de evaluación consideradas y con la conducción eléctrica sólo se encontraron diferencias entre sectores de la cama en junio 27, 28 y 29 de Junio y el 20 de agosto. Es decir, fueron muy puntuales las fechas donde hubo diferencias entre sectores, por tanto parece no existen diferencias entre sectores. Las diferencias entre estaciones en todas las fechas son inferiores al 2 %. La Figura No. 31 ilustra estos resultados.



**Figura No. 31.** Humedad Gravimétrica del sustrato referida a peso de sustrato Húmedo en cada estación de Medición de riego durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002.

### 3.4.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

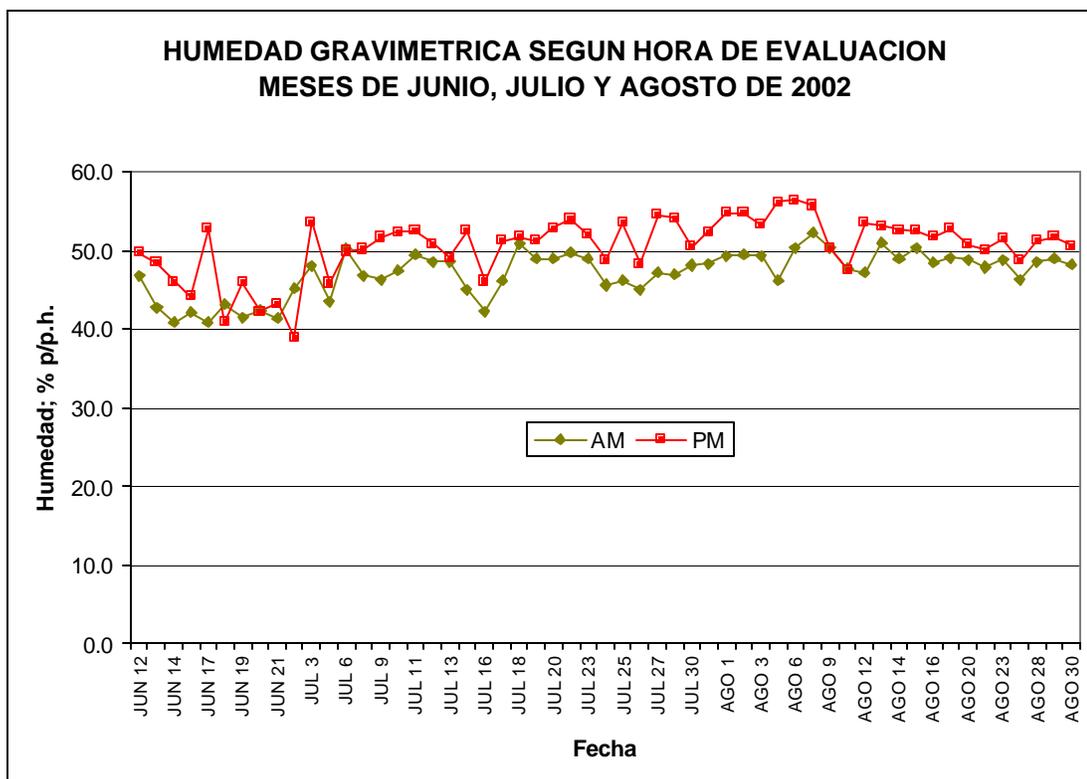
La Humedad Gravimétrica detectó diferencias estadísticas entre líneas en la mayoría de fechas de evaluación. Las Figuras No. 34, 35 y 36 muestran menor humedad en las líneas 5, comparada con el resto de líneas. También la más baja humedad se presentó con la línea 2, en tanto que los demás sistemas presentaron valores muy similares durante el periodo de evaluación. Las líneas 1 y 3 fueron las que presentaron en general la mayor humedad, mostrando tendencias muy parecidas en toda la evaluación. En general la humedad gravimétrica en cada línea parece estar más asociada con los datos de conducción eléctrica que con las lecturas de los tensiómetros, debido a una graduación más precisa de estos sistemas que con los tensiómetros.



**Figura No. 34.** Humedad Gravimétrica en el sustrato en cada línea de riego durante el mes de Junio.

### 3.4.3. Diferencias entre horas de Evaluación

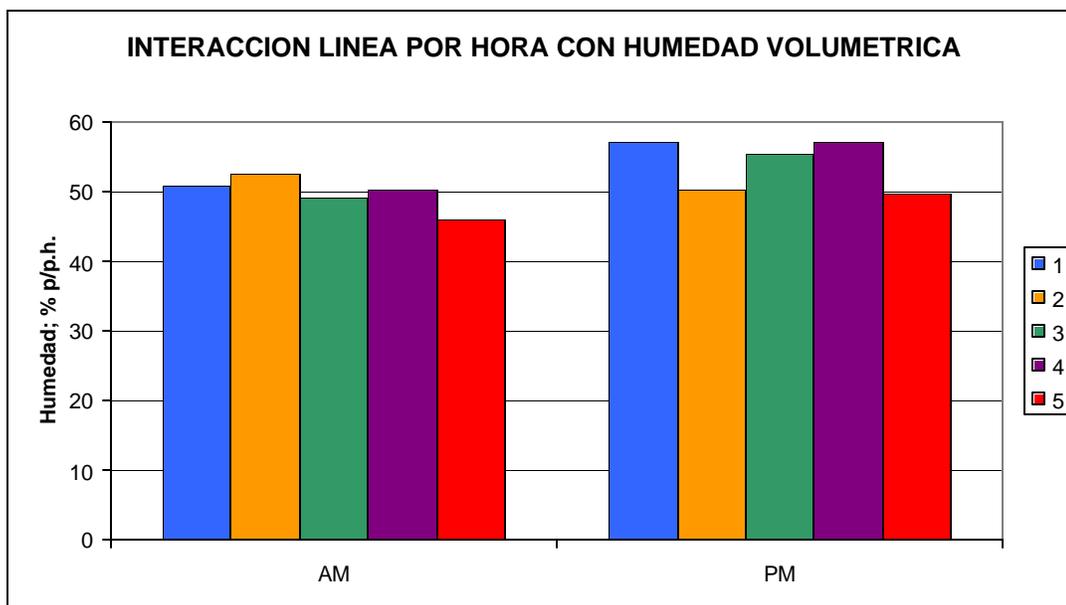
Se encontraron diferencias entre las horas de evaluación en la gran mayoría de fechas de evaluación con muy pocas excepciones. La frecuencia con que aparecen las diferencias, las fechas y los resultados corroboran los hallazgos obtenidos con la humedad medida a través de los diferentes métodos: en la mañana el sustrato permanece más seco que en la tarde. Existe también un aumento de la humedad a medida que transcurre el tiempo hasta finales de Julio y una leve disminución de la conducción a finales de agosto. Las Figuras 46, 47 y 48, indican estos resultados e ilustran las diferencias entre las horas.



**Figura No. 37.** Humedad Gravimétrica del sustrato en cada Hora de evaluación durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 2002.

#### 3.4.4. Interacción Línea por Hora

La interacción fue significativas en Junio 14, Julio 3, 11, 19, 20, 22,23 y 31 y en Agosto 2. Las líneas más secas en la mañana fueron la 4 y la 5 comparadas con las tres primeras. En las horas de la tarde, la línea 2 no presentó un aumento tan consistente de la humedad como si ocurrió con el resto de las líneas. Estos hallazgos fueron muy similares a los encontrados con el tensiómetro hidropónico, que a los obtenidos con la conducción eléctrica.



**Figura No. 40.** Interacción Línea por Hora de Humedad Gravimétrica.

### 3.5. RELACION ENTRE LAS MEDICIONES Y LA HUMEDAD GRAVIMÉTRICA

Para establecer la relación entre la humedad gravimétrica y las diferentes mediciones de la humedad en los sustratos se realizaron por dos métodos: con el coeficiente de correlación y mediante una regresión lineal entre las mediciones de humedad como variable independiente y la humedad del sustrato como variable dependiente. Con este último método es posible determinar el aumento en una unidad de la medición a cuanto porcentaje de humedad gravimétrica corresponde.

La Matriz de correlación se presenta en la Tabla siguiente. La mayor asociación se presentó entre la tensión de humedad entre los tensiómetros suelo e hidropónico. Sin embargo, también fueron estadísticamente representativas las correlaciones entre los tres aparatos con la humedad del sustrato, siendo la conducción eléctrica la de mayor asociación.

**Tabla No. 1.** Matriz de Correlaciones

	HIDROPONICO	SUELO	ELECTRICO	HUMEDAD
HIDROPONICO	*****	0,76415133	0,567799257	-0,53652006
SUELO		*****	-0,524775745	-0,51212798
ELECTRICO			*****	-0,71045868

HUMEDAD				*****
---------	--	--	--	-------

La prueba de regresión se observa en la Tabla No. 2. Todas las mediciones dependieron del grado de humedad del sustrato. Los aparatos que estuvieron más relacionados con la humedad gravimétrica fueron: Hidropónico, Eléctrico y suelo, con coeficiente de correlación ( $R^2$ ) altos, que indican su asociación con la humedad.

**Tabla No..2.** Análisis de Regresión entre humedad gravimétrica y Mediciones.

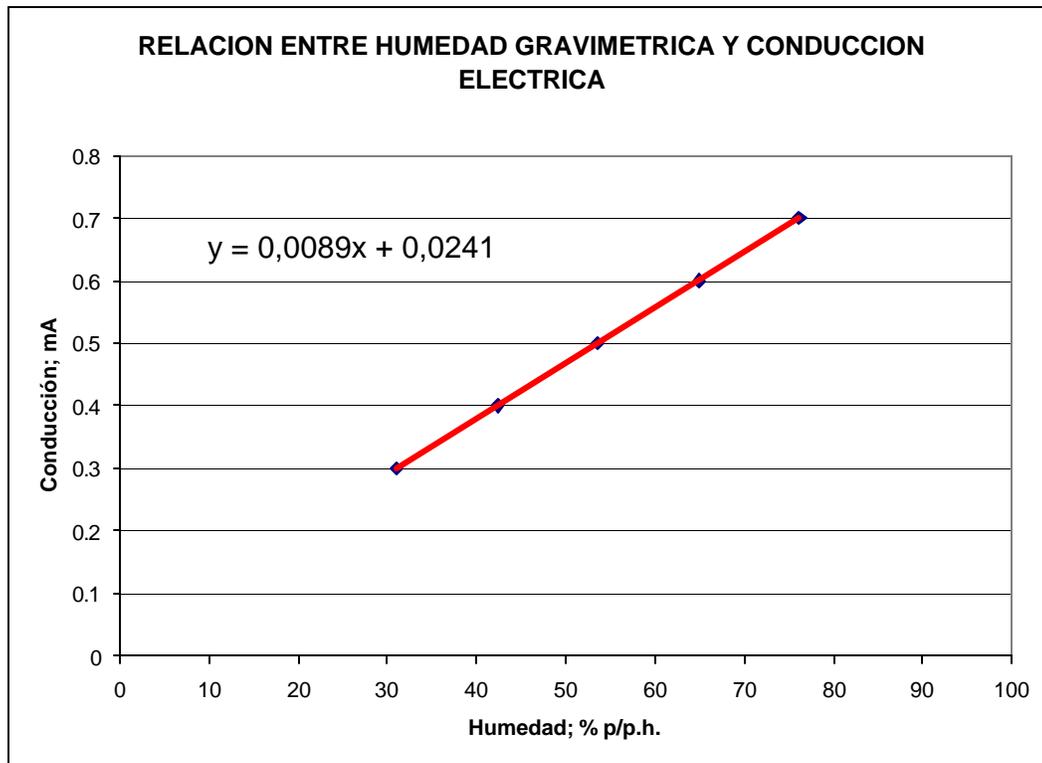
<b>ANALISIS DE REGRESIÓN</b>					
<b>EXPERIMENTO DE RIEGO EN FINCA GUACARI</b>					
<b>VARIABLE</b>	<b>ELECTRICO</b>		<b>TOTAL</b>		
<b>F DE V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F CAL</b>	<b>P &gt; F</b>
REGRESION	1	2,5936	2,5936	9,5608403	0,00202761
ERROR	1378	373,8080	0,2713		
TOTAL	1379	376,4016			
Covarianza	292,1731965		$R^2$	0.7541568	
Pendiente	0,00887677				
Intersección	0,024090667				

<b>ANALISIS DE REGRESION</b>					
<b>EXPERIMENTO DE RIEGO EN FINCA GUACARI</b>					
<b>VARIABLE</b>	<b>HIDROPÓNICO</b>		<b>TOTAL</b>		
<b>F DE V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F CAL</b>	<b>P &gt; F</b>
REGRESION	1	14,7257	14,7257	16,6431195	0,00004770
ERROR	1378	1219,2443	0,8848		
TOTAL	1379	1233,9700			
Covarianza	-696,1947580		$R^2$	0.81454788	
Pendiente	-0,02115171				
Intersección	1,51879617				

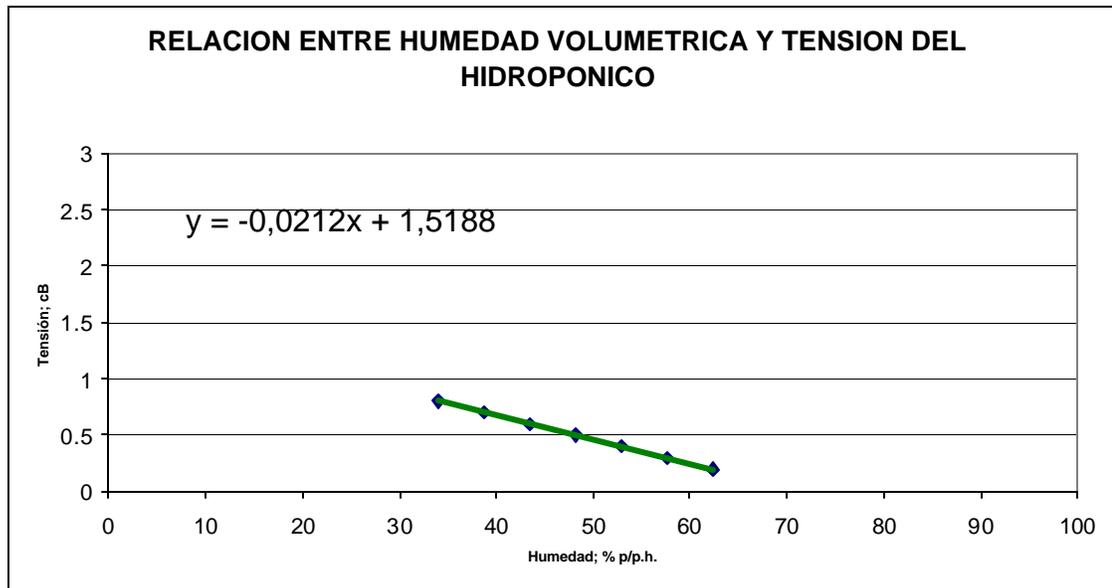
<b>ANALISIS DE REGRESION</b>					
<b>EXPERIMENTO DE RIEGO EN FINCA GUACARI</b>					
<b>VARIABLE</b>	<b>SUELO</b>		<b>TOTAL</b>		
<b>F DE V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F CAL</b>	<b>P &gt; F</b>
REGRESION	1	30,7570	30,7570	7,5572848	0,00605485
ERROR	1378	5608,2430	4,0698		
TOTAL	1379	5639,0000			
Covarianza	-1006,154		$R^2$	0.70424587	
Pendiente	-0,03056885				
Intersección	2,816025307				

Las ecuaciones de la línea recta para cada aparato que pronostican la humedad gravimétrica según la lectura fueron:  $Y$  (Conducción Eléctrica) =  $0.0089X$ (humedad Gravimétrica) +  $0.0241$ ;  $Y$  (Tensión en centibares) =  $0.0212X$ (humedad Gravimétrica) +  $1.5188$ ; y  $Y$  (Tensión en centibares) =  $0.0306X$ (humedad

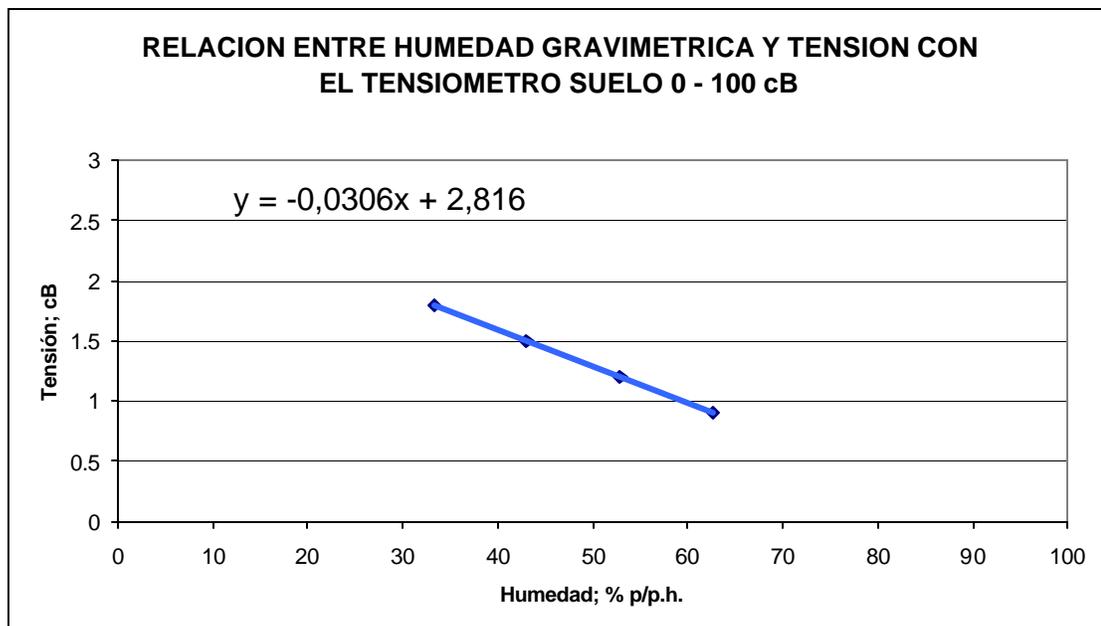
Gravimétrica) + 2.816, para conducción eléctrica, Hidropónico y suelo, respectivamente.



**Figura No. 41.** Curva de pronostico entre humedad gravimétrica y conducción eléctrica.



**Figura No. 42.** Curva de pronostico entre humedad gravimétrica y Tensión en el tensiómetro Hidropónico.



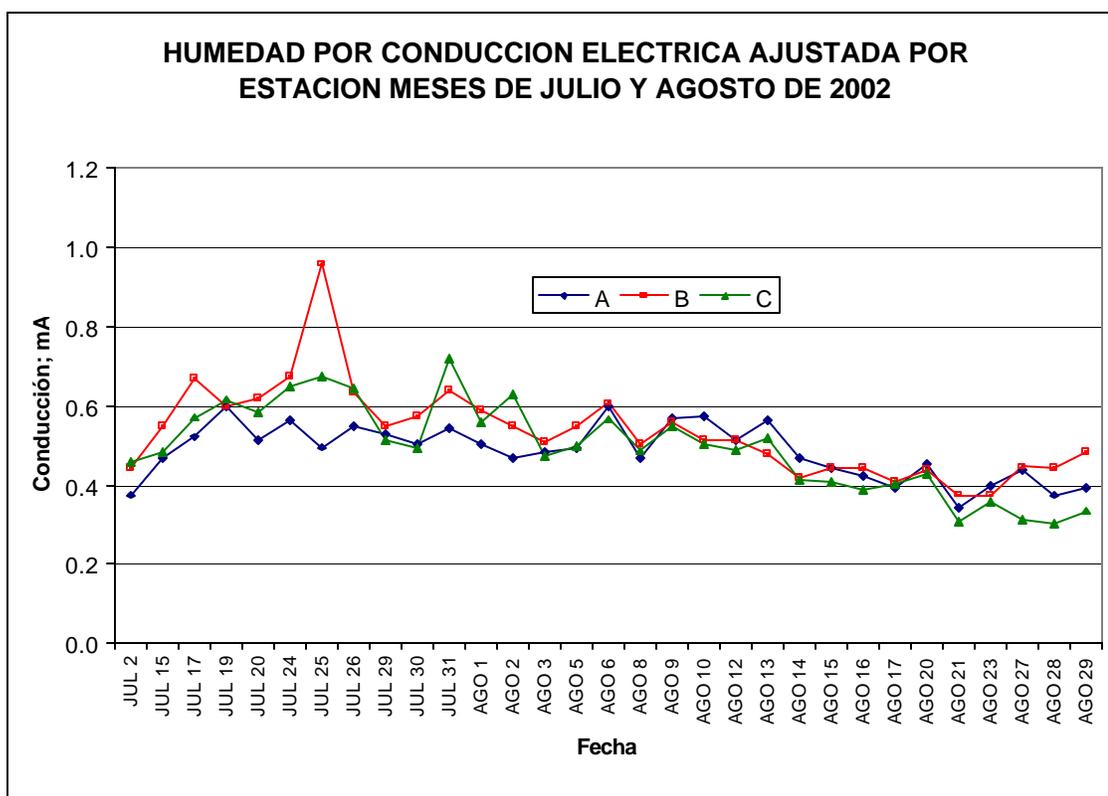
**Figura No. 43.** Curva de pronostico entre humedad gravimétrica y Tensión en el tensiómetro para suelo.

### 3.6. ANÁLISIS CON CONDUCCIÓN ELECTRICA AJUSTADA

En la conducción eléctrica se ajusto para calcular la humedad del sustrato, teniendo en cuenta la conductividad eléctrica, ya que la presencia de sales influye en la lectura de conducción eléctrica, por tanto puede enmascarar la verdadera humedad del sustrato. A continuación se comparan los resultados entre conducción eléctrica ajustada con la leída y la humedad gravimétrica.

### 3.6.1. Diferencias entre Estaciones

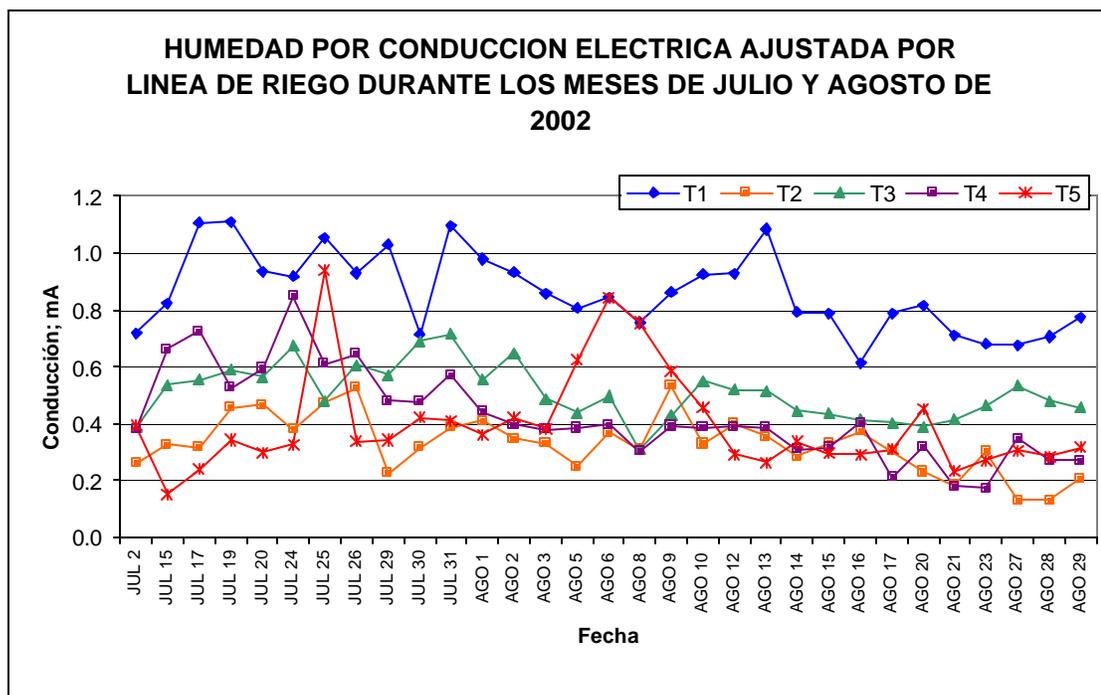
La humedad ajustada por medio de la conducción y conductividad eléctrica en los meses de Julio y Agosto se observa en la Figura No. 52 y 53. De manera muy similar a los observado con la humedad Gravimétrica no se encontraron diferencias entre estaciones en los meses de Julio y Agosto y el comportamiento de todas las estaciones fue similar en estos meses. Al parecer existe una mejor relación con la humedad gravimétrica, aunque el efecto de la conducción no ajustada puede estar afectada con la presencia de sales.



**Figura No. 44.** Humedad del sustrato en cada estación medida con sensores eléctricos y ajustada según C.E. durante los meses de Julio y Agosto.

### 3.6.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

En la conducción eléctrica ajustada se detectó diferencias estadísticas entre líneas en casi todas las fechas de evaluación, así como en la conducción no ajustada, pero en contraste con la humedad gravimétrica que no presentó diferencias en la mayoría de fechas. La conducción eléctrica ajustada también evaluó las diferencias entre líneas de riego. Las diferencias muestran mayor conducción eléctrica con las líneas 1 y 3, mientras que las líneas 2 y 5 mostraron menor conducción (Figura No. 54 y 55). Es de resaltar que el ajuste no diferencia mucho las respuestas de la conducción ajustada y no ajustada.

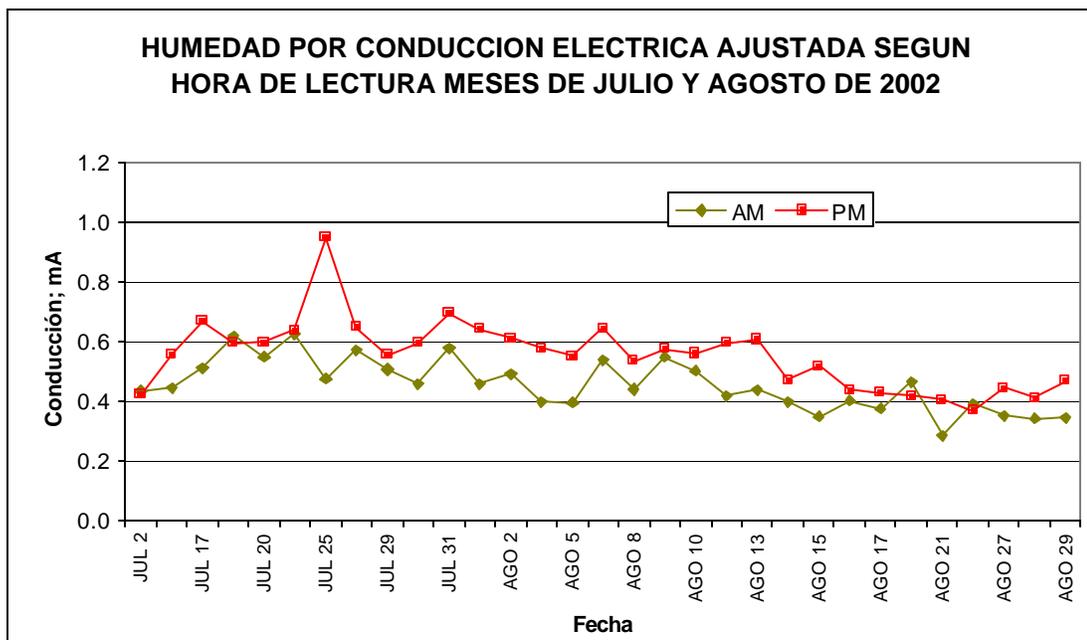


**Figura No. 46.** Humedad de sustrato en cada línea de riego con conducción eléctrica ajustada durante los meses de Julio y Agosto.

### 3.6.3. Diferencias entre horas de Evaluación

Se encontraron diferencias entre las horas de evaluación en la mayoría de los días considerados y al igual que en todas las determinaciones anteriores se presentó una

mayor humedad en horas de la tarde que en horas de la mañana (Figura No. 56 y 57).



**Figura No. 48.** Humedad del sustrato según Hora de lectura, medida con sensores eléctricos, según conductividad eléctrica ajustada durante los meses de Julio y Agosto de 2002.

#### 3.6.4. Interacción Línea por Hora

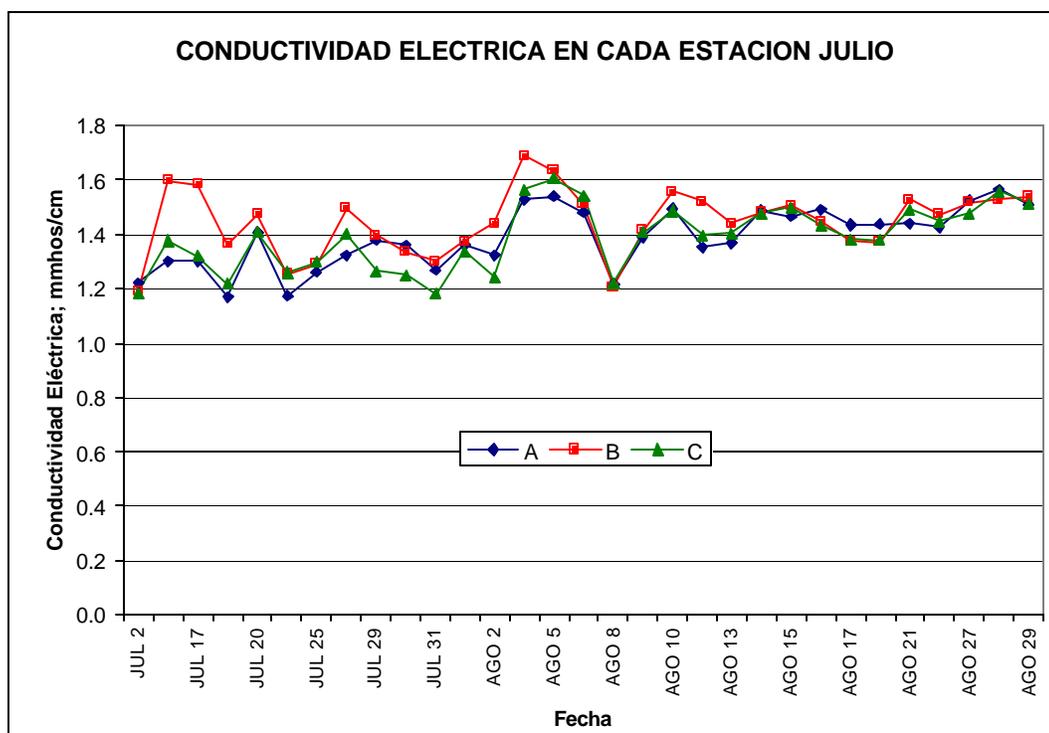
Al igual que la humedad gravimétrica y la conducción no ajustada, fueron pocas las fechas en donde se presentó la interacción, mostrando resultados muy similares a los observados con estas dos variables de respuesta.

### 3.7. ANÁLISIS CON CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

La conductividad eléctrica medida en el laboratorio busca establecer el contenido de sales del sustrato. Este análisis busca relacionar la conductividad sobre la conducción eléctrica ajustada y no ajustada, además de demostrar las diferencias por efecto de acumulación de sales.

#### 3.7.1. Diferencias entre Estaciones

La conductividad eléctrica en laboratorio no mostró en los dos meses evaluados diferencias entre los sectores o estaciones evaluadas. En los dos meses el contenido de sales permanece constante y no se observa un aumento o disminución de los valores en ninguno de los sectores (Figura No. 58 y Figura No. 59). El ligero aumento de la humedad al final del periodo de evaluación y la constante conductividad eléctrica indican que el sustrato aumenta su capacidad para retener agua, pero el contenido de sales es constante. Las diferencias en conductividad eléctrica entre sectores son en promedio de 0.2 unidades.

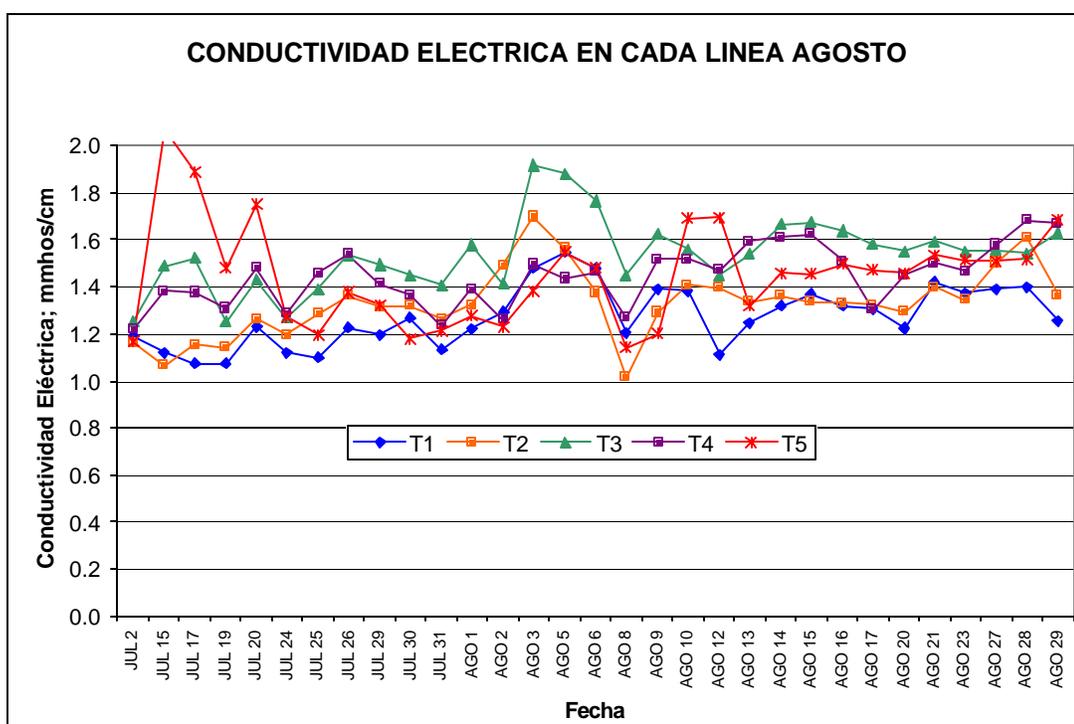


**Figura No. 50.** Conductividad en cada estación durante los meses de Julio y Agosto.

### 3.7.2. Diferencias entre Líneas o Sistemas de riego

La conductividad eléctrica en el laboratorio presentó entre líneas de riego. Estas diferencias se explican por el tipo de línea, el caudal de cada gotero y su distancia de separación. En la mayoría de fechas de evaluación las líneas con menor acumulación de sales se presenta con las líneas 1, 2 y 5, a diferencia de las líneas 3

y 4 que presentan valores de conductividad más alto, sin embargo no presentan valores dentro de un rango crítico para la producción de clavel (Figura No. 60 y 61). Cuando se compara la conductividad eléctrica con la conducción eléctrica (humedad) medida en cada estación, se encuentra que la humedad la línea 1 presenta la más baja conductividad pero la más alta humedad, por lo tanto es una línea que preserva bien la humedad no permitiendo el evaporación del agua, con baja concentración de sales. Por el Contrario, las líneas 2 y 5 no acumulan muchas sales, pero presentan más baja humedad del sustrato. Las otras líneas son estables en ambas características.



**Figura No. 52.** Conductividad eléctrica en cada línea de riego durante los meses de Julio y Agosto de 2002.

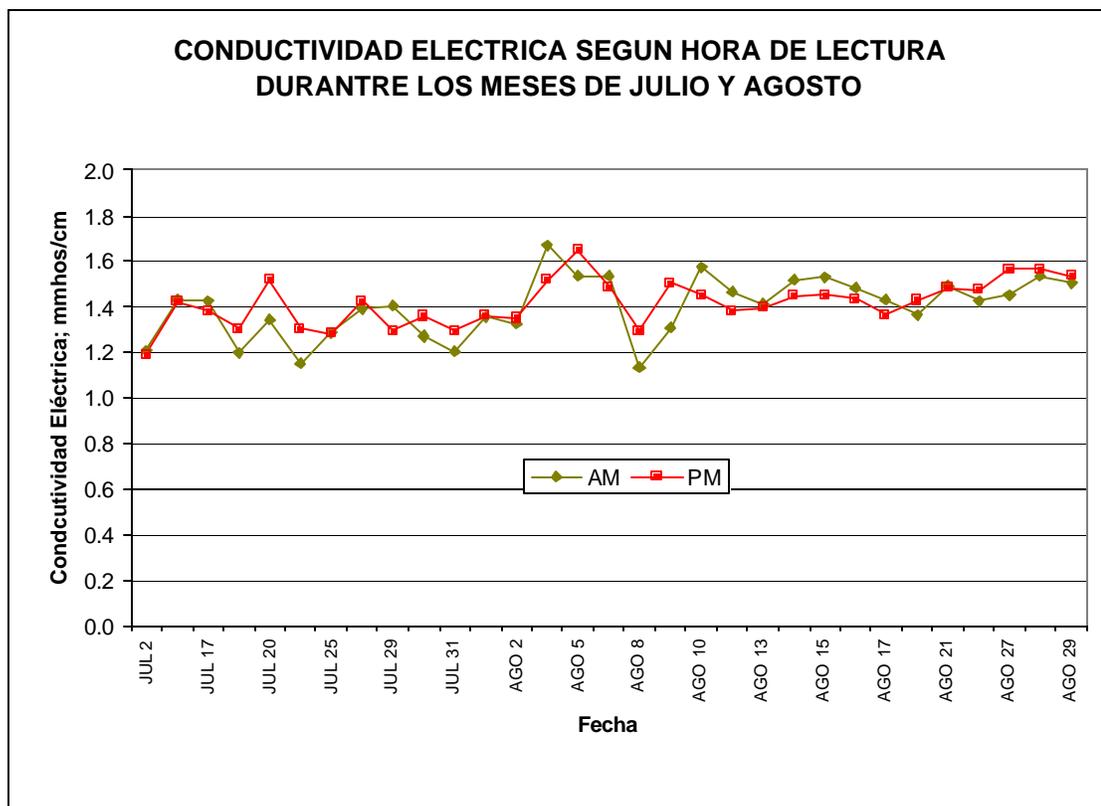
### 3.7.3. Diferencias entre horas de Evaluación

Comparativamente las diferencias observadas en cuanto a la conductividad eléctrica obedecen más a las líneas utilizadas que a la hora de medición, pues fue consistentemente menor el número de fechas en donde se presentaron diferencias en horas que entre líneas. Este resultado indica que más que existir un proceso de evaporación durante las noches, se presenta un consumo por parte de la planta,

que toma estas sales compuestas por nutrientes, además de agua, por tanto la variación de la presencia de sales en la solución nutritiva es mínima en las dos horas.

### 3.7.4. Interacción Línea por Hora

No se presentó efecto por la interacción entre líneas y horas, por tanto el efecto de estos es independiente uno del otro. También se puede interpretar como que las sales con cada línea son iguales en la mañana como en las sales.



**Figura No. 54.** Humedad de sustrato en cada Hora con conductividad eléctrica ajustada durante el mes de Julio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se encontró una mayor asociación entre la humedad gravimétrica con la conducción eléctrica ajustada y no ajustada, donde los datos en general presentaron la misma

respuesta en cuanto a las diferencias entre estaciones, líneas de riego y horas. Sin embargo, los niveles de asociación entre el tensiómetro hidropónico con la humedad gravimétrica también fueron estadísticamente significativos.

Con el tensiómetro para suelo, presenta una escala muy amplia, que excede en mucho al rango de tensión óptimo para medir la humedad, por lo tanto en un sistema hidropónico pierde mucha precisión, por tanto no permite establecer las diferencias entre las estaciones, líneas de riego y horas de evaluación con precisión.

Las ecuaciones que permiten calcular la humedad gravimétrica con respecto a los diferentes sistemas de medición son:  $Y$  (Conducción Eléctrica) =  $0.0089X(\text{humedad Gravimétrica}) + 0.0241$ ;  $Y$  (Tensión en centibares) =  $0.0212X(\text{humedad Gravimétrica}) + 1.5188$ ; y  $Y$  (Tensión en centibares) =  $0.0306X(\text{humedad Gravimétrica}) + 2.816$ , para conducción eléctrica, Hidropónico y suelo, respectivamente.

El tensiómetro Hidropónico, la conducción eléctrica, conducción eléctrica corregida por la conductividad eléctrica, fueron capaces de establecer diferencias entre la toma de los datos en horas de la mañana antes del primer pulso y en horas de la tarde después del segundo pulso. Por tanto, con estos sistemas de medición es posible medir la pérdida de agua del sustrato una vez se riegue.

Según la conducción eléctrica, la línea que mantienen una mayor humedad fue la 1, en tanto que las líneas 2 y 5 tuvieron un rango de humedad a la hora de medición más bajo, en tanto que las líneas 3 y 4 presentaron humedades intermedias.

La línea 1 presentó la menor pérdida de humedad después de cada pulso, presentando una gran diferencia entre la humedad de las horas de la mañana y tarde (donde se midió la mayor humedad). Similar respuesta la tuvo la línea 3 pero con menos retención de agua que la línea 1.

Las líneas 2 y 5 presentaron una mayor pérdida de agua en cada pulso, pero la humedad en horas de la mañana y tarde presentan un similar valor, es decir, la

pérdida es igual en el día que en la noche. También la línea 4 presentó igual comportamiento en la mañana y noche, pero la humedad detectada fue mayor que las líneas 2 y 5.

Las diferencias de la presencia de sales en el sustrato se debieron básicamente a la acción de las diferentes líneas que a la hora de toma de los datos. La conductividad eléctrica fue mayor en la línea 1, mientras que en las camas 3 y 4 fueron menores. Las líneas menos húmedas (2 y 5) presentaron la menor conductividad eléctrica.

Se recomienda utilizar tensiómetros para la determinación de humedad del sustrato graduados entre 0 y 20 milibares, ya que en los cultivos hidropónicos los rangos de humedad generalmente se encuentran entre estos valores. Mediciones por encima de 2 centibares indican que el sustrato presenta menos del 40 % de saturación gravimétrica con agua.

#### AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros: Pedro Urrego, Director de la Finca, Ing. Jairo Acevedo Agrónomo del Area, Sr. Luis Sarmiento, encargado del Riego y toma de muestras y Datos.

#### REFERENCIAS

1. Rhoades, J.D.: Raats. P.A.C.:Prather. R.S. (1976) "Effects of Liquid phase Electrical Conductivity, Water Content and Surface Conductivity on Bula Soli Electrical Conductivity". Soil Sci. Soc of America Jour. (40)pp 651-665