

Medidor de conductividad eléctrica y PH para control de soluciones nutritivas en riego de cultivos protegidos.

Fidel Díaz M.¹, Antonio Morales M.² Marco A. Vejar,³ Saul Molina.³

¹ Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Tecnológico S/N col. Elías Calles, Mexicali BC

² INIFAP, carretera a San Felipe, Km. 7.5 Col Colorado II, Mexicali, BC, 21700

³ Estudiantes, Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Tecnológico S/N col. Elías Calles, Mexicali BC

Resumen. En los sistemas de producción agrícola en cultivos protegidos (invernaderos), es muy importante mantener la solución nutritiva (SN), en condiciones apropiadas para lograr la mayor absorción de nutrientes por la planta (Lara Herrera, A. 1999). No es conveniente mezclar los nutrientes y guardarlos en recipientes por mucho tiempo en espera de ser utilizados pues la solución se degrada o se cristaliza. Para evitar el deterioro de la misma, la solución debe prepararse preferentemente al momento del riego mediante mezcladores mecánicos que permitan la dosificación de los nutrientes en cantidades apropiadas de acuerdo al tipo de planta que se cultive, tal como sugieren algunos autores (Ariana P. T. et al, 2000 y Antonio M.M. 2009).

En este trabajo, se describe la etapa inicial de un sistema de adquisición de datos para la medición de PH y conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva. Además, se podrá realizar la medición de otros parámetros importantes como la temperatura ambiente, humedad del suelo y radiación solar. Estos parámetros varían a lo largo del tiempo y es necesario ajustarlos para lograr mayor rendimiento en la cosecha (F. Rodríguez, et al, 2008). Para controlar el sistema de adquisición de datos se utilizó una minicomputadora marca VIA, modelo VE-900 conectada con una interface de adquisición de datos de 8 canales de entrada con conversión A/D. La información obtenida será guardada en archivos de Excel y además, podrá desplegarse en forma gráfica.

Palabras clave: Unidad de control (ECU), Control supervisorio, Adquisición de datos, Sistema de sensores, Almacenamiento de datos, Control automático de procesos,.

I. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción agrícola en medios controlados (invernaderos), es muy importante mantener la solución nutritiva (SN) utilizada para el riego en condiciones apropiadas para lograr la mayor absorción de nutrientes por la planta (Lara Herrera, A. 1999). No es conveniente mezclar los nutrientes y guardarlos en recipientes por mucho tiempo en espera de ser utilizados porque la solución se degrada o termina cristalizándose. Para evitar el deterioro de la

misma, la incorporación de las diferentes sales debe hacerse preferentemente al momento del riego utilizando mezcladores mecánicos que inyecten los nutrientes en cantidades apropiadas. Es muy importante asegurarse que la mezcla sea correcta. Para lograrlo, es necesario verificar constantemente los valores del PH, temperatura y conductividad eléctrica de la SN. Cuando ocurra una desviación de los valores especificados, debe realizarse la corrección para restablecer la condición de la mezcla nutritiva especificada.

Nuestro objetivo consiste en diseñar y construir un instrumento electrónico del tipo de control supervisorio (SCADA) para realizar la medición de parámetros químicos y ambientales en invernaderos. Pretendemos auxiliar al productor a obtener mayor rendimiento en la producción agrícola dándole un sistema con la capacidad de adquirir y desplegar la información necesaria para ajustar el proceso de producción. Además, los datos obtenidos, se podrán almacenar en archivos de Excel para utilizarlos en investigación, correlacionando la información obtenida de los diferentes parámetros medidos con el rendimiento de la cosecha.

II. JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA

La escasez de agua se hace sentir en el valle de Mexicali y el futuro de la agricultura tradicional no es promisorio, pues el agua se destinará primero a la población civil antes que a la producción de alimentos. La producción en medios controlados es una alternativa viable para la optimización de agua. Hay individuos emprendedores que iniciaron el manejo de invernaderos para mejorar el rendimiento de la cosecha, produciendo o cultivando bajo condiciones controladas que, entre varias ventajas, reducen el consumo de agua. Este tipo de cultivos, requieren de la implementación de sistemas altamente tecnificados que controlen automáticamente los parámetros y condiciones ambientales del invernadero. Veamos el efecto de los más importantes para mejorar la producción agrícola.

Efecto del PH en la solución nutritiva

El PH, afecta la habilidad de los nutrientes para disolverse en el agua (solubilidad). La capacidad de absorción de las raíces se afecta con el PH. Este efecto está ampliamente documentado (Bodie V. P. y Paul A. Thomas, 2012). De ahí la importancia de lograr la optimización de la absorción manteniendo valores de PH del recipiente entre 4 y 8 (ácido-alcalino).

Conductividad Eléctrica en la solución nutritiva

El factor CE, nos indicará la concentración relativa de los nutrientes disueltos en el agua (TDS). La totalidad de sólidos disueltos corresponde a la cantidad de aniones y cationes y las partes insolubles en el agua. Conocer la CE permite decidir oportunamente cuando modificar el porcentaje de nutrientes en la solución.

Temperatura ambiente

En una planta, la temperatura afecta directamente las funciones de fotosíntesis, intercambio de gases, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración y actividades enzimáticas.

Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura del invernadero está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas.

Radiación solar

La producción de la materia orgánica que da vida a la planta, no sería posible sin la energía proporcionada por la radiación solar. En un invernadero, es posible controlar la luz incidente y optimizar la producción de fruto en la planta (Carlos Campillo, et al, 2012). Para lograr esto, se requiere de un instrumento capaz de medir la intensidad solar y tener el dato disponible para controlar la apertura o cierre de rejillas de acuerdo a las necesidades de luz en la planta a lo largo del proceso vegetativo.

Para armar el sistema propuesto, se utilizó una tarjeta madre ITX V-900 de bajo consumo de energía y se le agregó teclado con ratón integrado, disco duro y monitor de LEDs. A esta computadora se le adaptó una interface de adquisición de datos de ocho canales analógicos de entrada con convertidor A/D de 10 bits y ocho canales digitales de entrada/salida para recibir o enviar señales de control como el disparo de inicio de adquisición de información. Se construyó una tarjeta de circuito impreso con todos los amplificadores necesarios para acondicionar la señal de ocho diferentes sensores e introducirlas a los canales de la interface de adquisición. La salida de cada acondicionador de señal proporciona un nivel

de voltaje analógico en un rango de 0 a 5V. Todo este equipo para su protección, se montó en una caja de plástico resistente al impacto y a la intemperie con el fin de colocarlo a la orilla de los invernaderos.

Otro motivo para utilizar una microcomputadora para este proyecto fue aprovechar el software existente como Excel para generar tablas de datos y gráficas. También se aprovecha la capacidad del CPU para realizar transferencia de información vía Internet donde sea posible. La información se presenta en el monitor en forma de gráfica, seleccionando con software el despliegado de uno hasta ocho canales.

Quedan disponibles cuatro salidas digitales para aplicación futura en control de la apertura de dispositivos mezcladores de solución nutritiva como Venturis o bombas peristálticas permitiendo la experimentación con diferentes mesclas en el proceso productivo. El diagrama del sistema propuesto se muestra en la siguiente figura 1.

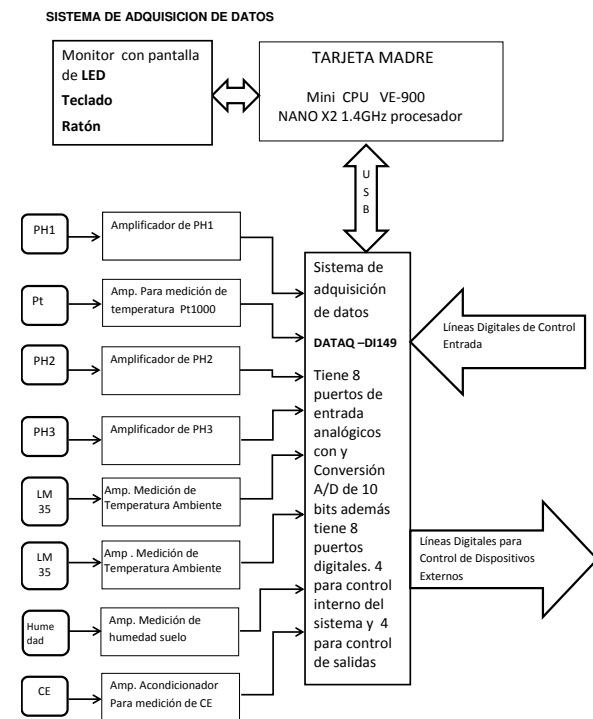


Figura 1. Diagrama del sistema de medición de CE, PH, temperatura, humedad y radiación solar.

Para medir el PH en la solución nutritiva, se utiliza un sensor cuyo voltaje de salida varía proporcionalmente a la actividad iónica del hidrógeno en la solución nutritiva. Esta señal es sensible a los cambios de temperatura en la mezcla, por tanto en el electrodo se incluye una resistencia de platino como sensor de temperatura cuya variación en valor óhmico servirá para corregir posteriormente el

valor del PH medido. Utilizamos un electrodo Cole-Palmer EW-27003-04 de auto limpieza. La fuerza electromotriz medida, está dada por la ecuación de Nernst:

$$E(T) = E_0 + \frac{RT}{MF} \log a_{H^+}$$

Dónde: E(T) = potencial observado en mV. a una temperatura T °K

E₀ (25°C) = potencial de referencia

R = Constante molar de gases (8.3144 mol⁻¹K⁻¹)

M= Factor de conversión de Ln a log base10 (2.303)

F = Constante de Faraday (96485 Cmol⁻¹)

T = Temperatura en °K

Para corregir la medición de PH con temperatura desarrollamos la siguiente ecuación.

$$E(T) = E_0 + \frac{RT}{MF} \text{ PH} = 0 \text{ mv} + 0.1985 \cdot T \cdot \text{PH}$$

$$\Delta m = 0.1985/^\circ\text{C} = \text{Cambio de la pendiente por } ^\circ\text{C}.$$

Para 25°C, la pendiente m= -59.18 mV/PH y para cualquier temperatura diferente 25°C, evaluaremos la pendiente m con la siguiente ecuación:

$$m = [-59.18 + (25 - T_a) \cdot 0.1985]$$

Finalmente la lectura de PH compensando en temperatura estará dada por:

$$\text{PH} = \left\{ \frac{\text{salida de voltaje del amplificador de PH}}{[-59.18 + (25 - T_a) \cdot 0.1985]} \right\} + 7 \text{ en mV}$$



Figura 2-Electrodo de PH Cole-Palmer EW-27003-04

El circuito del acondicionador del sensor de PH se muestra en la figura 8.

Medición de la Conductividad Eléctrica (CE) en la solución nutritiva

El factor CE, nos indica la concentración relativa de los nutrientes disueltos (TDS) en la mezcla nutritiva cuyas unidades se expresan en ppm.

Como la conductividad eléctrica se expresa en μS/cm, requerimos convertirla a ppm. Una buena aproximación está dada por la siguiente regla:

1.4 μS/cm = 1ppm). Donde 1 ppm = 1 mg/l.

Con los instrumentos convencionales, la medida de la conductividad se obtiene aplicando un voltaje entre dos electrodos y midiendo la resistencia de la solución. En estos electrodos, se debe evitar la polarización de los mismos. Por esa razón, se utilizan circuitos con voltajes de excitación alternos.

Para este proyecto se seleccionó el electrodo de COLE-Palmer EW-19500-46. Tiene una celda de conductividad; K=10.0, sensor de temperatura de platino en línea de 100 Ohm. Es de auto limpieza y está insertado en empaque de CPVC con rosca para montaje de 1 pulgada. Ver la figura 3.



Figura 3. Electrodo de Conductividad Eléctrica (CE), COLE-Palmer EW-19500-46

El circuito de medición de CE, requiere de la generación de una señal alterna para excitar al sensor. La siguiente etapa hará circular corriente por el sensor (constante K= 10) y la señal se amplificará en función de la resistencia de la SN. Se utiliza un amplificador diferencial para eliminar señal en modo común amplificando únicamente el voltaje generado en la celda. Un rectificador de onda completa de precisión convertirá la señal alterna en corriente directa. El circuito del acondicionador de señal diseñado para medir la conductividad eléctrica, se muestra en la figura 10.

Electrodo de humedad de suelo

Adicionalmente a la medición de la solución nutritiva, se pretende medir la humedad del suelo y estimar el potencial de agua del mismo en unidades de KPa. Para este propósito, se adquirió un electrodo watermark 200-SS con rango de medición de 0 a 239 KPa (ver figura 4). El voltaje de salida de este sensor está entre 0 y 3 Vdc en escala lineal. El circuito amplificador se muestra en la figura 9.



Figura 4. Sensor de Humedad del suelo watermark 200-SS.

Medición Temperatura ambiente

Para construir el circuito de medición de temperatura ambiente, se utilizó un sensor LM 35 que presenta características importantes para nuestro propósito. Rango temperatura de -55 hasta 120°C y precisión de ± 0.5 °C.

El diagrama del sistema propuesto se muestra en la figura.9

Medición de radiación solar

La influencia de la radiación solar en la producción agrícola se ha documentado ampliamente (Carlos Campillo, et al, 2012), la energía electromagnética recibida por la planta en la proporción correcta se traduce en mayor rendimiento del fruto y follaje. En este trabajo, se propone instalar un sensor de radiación solar EKO MS-802. La sensibilidad del sensor es $7 \frac{\mu V}{W/m^2}$.



Figura 5. Sensor de radiación solar MS 802.

III. ADQUISICION DE DATOS

Para el ensamble de la mini computadora con los periféricos y la carga del sistema operativo, seguimos las instrucciones del fabricante. Conectamos los dispositivos de adquisición de datos (el diagrama de conexiones se mostró en la figura.1). Se acomodó El resto de las componentes y colocamos todo dentro de una caja de plástico rígido con puerta hermética que a su

vez se instalará en el campo junto a la bomba que mueve la solución nutritiva que irriga las plantas de los cultivos protegidos. Una imagen del sistema ensamblado se muestra en la figura 6.



Figura 6. Ensamble del sistema de adquisición de datos

La tarjeta de acondicionamiento de la señal diseñada para este trabajo, tiene ocho circuitos independientes, tres se utilizan para medición de PH, otro para la medición de temperatura del sensor de platino inmerso en el electrodo Cole-Palmer EW-27003-04, Tres acondicionadores más son para la medición de temperatura ambiente y radiación solar. El último se utiliza para la medición de la conductividad eléctrica. La tarjeta con el circuito impreso se muestra en la figura 7.

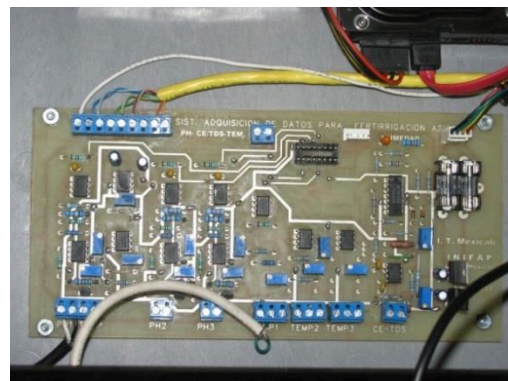


Figura 7. Tarjeta de acondicionadores de señal.

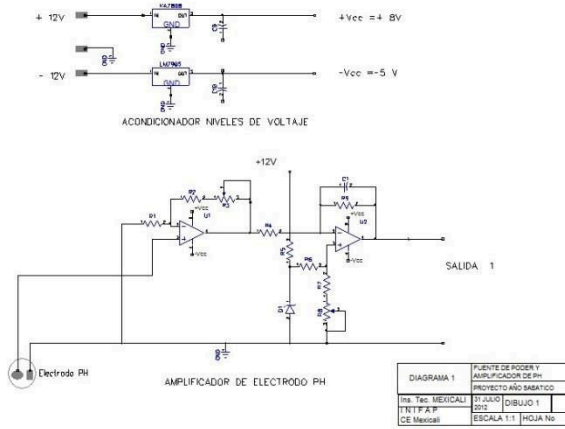


Figura 8. Acondicionador del sensor de PH.

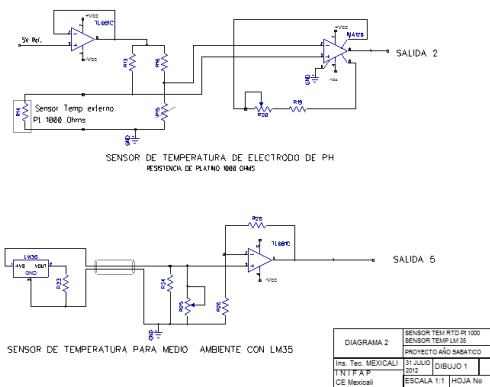


Figura 9. Acondicionador para temperatura del electrodo de PH y amplificador para medición de la temperatura ambiente, radiación solar y humedad del suelo.

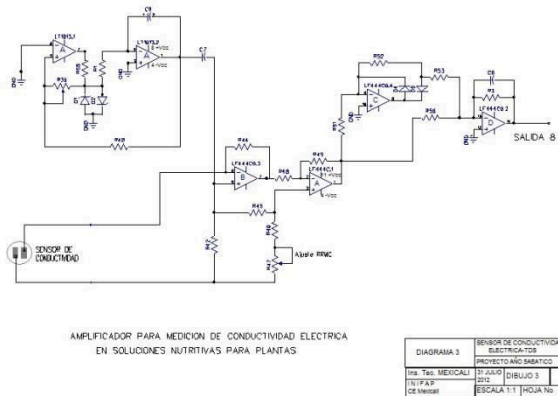


Figura 10. Circuito del acondicionador para la medición de la conductividad eléctrica

Pantallas obtenidas en la PC

Una vez instalado el software de operación para el control de los sistemas de adquisición de datos, se hicieron pruebas con la tarjeta de acondicionamiento y amplificación de la señal tomando lecturas de los parámetros a medir en el invernadero. La presentación gráfica de los datos obtenidos, se puede desplegar en la pantalla de la computadora. Una copia de una gráfica típica se muestra con más detalle en la imagen de la Figura 11.

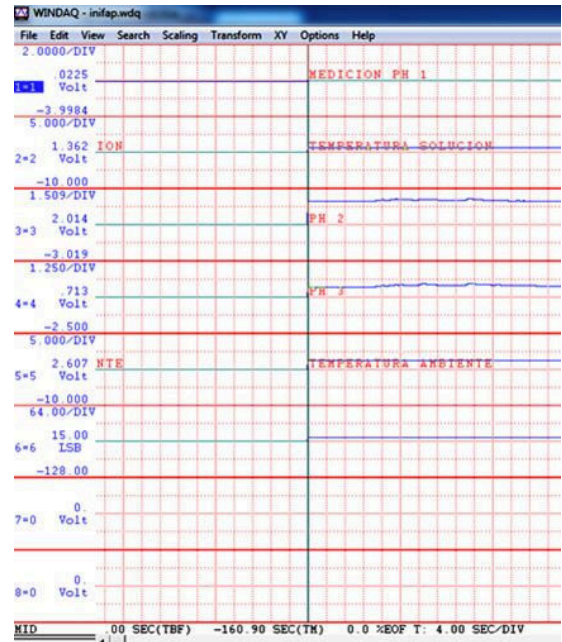


Figura 11. Muestra de la gráfica desplegada en el sistema mostrando la salida de ocho canales.

La medición de PH y Conductividad eléctrica son sensibles a la variación de temperatura y deben corregirse. Hacerla con los circuitos analógicos es difícil, pero como los datos se vacían a una hoja de Excel, resulta muy fácil hacer el siguiente algoritmo de corrección para el PH.

$$PH_c = \left\{ \frac{\text{voltaje del amplificador de PH1 en mV}}{[-59.18 + (25 - T_a) * 0.1985]} \right\} + 7$$

PH_c = valor del PH corregido en temperatura
 T_a = Temperatura de la mezcla en °C

Similarmente, para corregir por temperatura la medición de la CE, proponemos el siguiente algoritmo.

$$CE(25^\circ C) = \frac{CE_m}{1 + 0.02(T_a - 25)}$$

CE_m = Conductividad medida a la temperatura de la solución
 T_a = Temperatura de la solución en °C

Con la herramienta de cálculo de la hoja de Excel se implementa el algoritmo y se genera una columna con el valor de la medición corregido. Una muestra de los datos obtenidos y mostrados en la tabla de Excel se puede apreciar en la figura 12.

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1.87E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.10E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:51		7.00342773
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.10E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:51		7.0033156
1.83E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.08E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:51		7.00336056
1.83E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.08E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:51		7.00336059
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.06E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:51		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.10E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:52		7.00331563
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.10E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:52		7.0033156
1.83E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.06E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:52		7.00336059
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	7.03E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:52		7.00331563
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.01E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:52		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	7.06E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:53		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.01E+00	7.08E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:53		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	7.08E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:53		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	7.01E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:53		7.0033156
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	7.03E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:53		7.00331563
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	6.98E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:54		7.00331566
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	6.98E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:54		7.00331563
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	6.96E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:54		7.00331563
1.78E-02	1.36E+00	2.00E+00	6.93E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:54		7.003327088
1.81E-02	1.36E+00	2.00E+00	6.96E-01	2.55E+00	1.50E+01	08-16-12	11:28:54		7.00331563

Figura 12 Presentación de datos guardados y corregidos en hoja de Excel

IV. CONCLUSIÓN Y OSERVACIONES

Para el desarrollo de este trabajo, formamos grupo con el personal del INIFAP del Campo Experimental de Mexicali B. C. En particular con el Dr. Antonio Morales Maza y dos estudiantes de la carrera de Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Mexicali. El Dr. Morales aportó información valiosa para integrar este diseño. Debo decir que la interacción con personal de otra especialidad es gratificante en cuanto promueve nuevas aplicaciones de la instrumentación y control electrónico.

Un problema que se presentó, fue la calibración de los circuitos del sistema de adquisición de datos. Para la medición de PH y CE lo resolvimos, comprando soluciones de referencia con valores de PH calibradas a 10, 7 y 4. Para el caso del circuito medición de la CE, utilizamos mezclas con valores calibrados a 1500 y 4500 μ S. Para calibrar los sensores de temperatura ambiente y de radiación solar, requerimos de un patrón referencia de emisión de luz y de un termómetro de precisión. Por el momento, están pendientes de calibración.

Este sistema apenas se desarrolló en los meses pasados. Será puesto en operación continua a partir del próximo otoño, en una unidad experimental de cultivo controlado en el campo experimental de INIFAP de la ciudad de Mexicali. Dado que el sistema propuesto es del tipo supervisorio, pensamos que pronto podremos lograr un sistema de lazo cerrado para automatizar el proceso de cultivo en un

invernadero y además en breve, habrá que desarrollar programas de computadora para ajustar la proporción de las mezclas nutritivas de acuerdo a la edad de la planta procurando obtener con esto un mayor rendimiento en la cosecha de diferentes hortalizas.

V. BIBLIOGRAFÍA

Ariana P. T., D. Camberato, R. G. López, y M. Mickelbart, (2000) "Medición de pH y Conductividad Eléctrica en Sustratos", Horticulture Information Leaflet 590, 2000.

Bodie V. Pennisi and Paul A. Thomas "Essential pH Management in Greenhouse Crops" Bulletin 1256, February 2012.

http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk_id=7351

Campillo C, Rafael Fortes and María del Henar Prieto, (2012) "Solar Radiation Effect on Crop Production" Centro de Investigación finca la Orden-Valdesequera, España.

Douglas Bailey" Alkalinity control for irrigation water used in greenhouses by, North Carolina State University .
<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floricultura/plugs/alkalinity.pdf>

Lara Herrera, A. (1999), "Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía" TERRA VOLUMEN 17 NUMERO 3, 1999.

Morales, M.A. (2009). "Producción de Hortalizas Bajo Ambiente Controlado en el Estado, Calabaza (Cucurbita pepo) y Pepino (Cucumis sativus)". Informe Final. INIFAP, FUNDACION PRODUCE BAJA CALIFORNIA, A.C.

F. RODRÍGUEZ, J.L. GUZMÁN, M. BERENGUEL, M.R. ARAHAL, (2008) "Adaptive hierarchical control of greenhouse crop prod production; International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 2(2), PP. 180-197.