

Mediciones Nutritivas En Un Sistema Hidropónico NFT Mediante El Uso De Sensores De Iones Selectivos Y LabVIEW

V. E. Manqueros-Aviles¹

Resumen— En el presente se redactan los resultados obtenidos de la medición de diferentes nutrientes dentro del cultivo de lechuga, misma que fue cultivada usando la técnica película nutritiva NFT por sus siglas en inglés (Nutrient Film Technique), se exponen los resultados de medición usando sensores de iones selectivos, para lo cual fueron acondicionados con el fin de otorgar señales electrónicas que puedan ser leídas por una tarjeta adquisitora USB-6008, mediante el uso de LabVIEW se desarrolla una interfaz con el objetivo de visualizar el comportamiento de las variables con un retraso de datos muy pequeño. La interfaz otorga la posibilidad de guardar los datos históricos en un archivo de EXCEL. Se exponen los resultados de suministrar ciertos nutrientes mediante una decisión de control tomando en cuenta los niveles de nutrientes presentes, usando bombas dosificadoras y el efecto que tiene la recirculación de la sustancia nutritiva en las mediciones.

Temas claves— NFT, Interfaz, Sensor, Hidroponía, Calcio, Oxígeno Disuelto.

Abstract— At present the results of the measurement of different nutrients in the lettuce crop was drafted, it was cultivated using the technique nutritious film NFT for its acronym in English (Nutrient Film Technique), the measurement results are presented using sensors selective ions, to which were conditioned to provide electronic signals that can be read by a USB-6008 adquisitora card, using LabVIEW interface is developed in order to visualize the behavior of the variables with a delay of very little data. The interface provides the ability to save historical data to a file in EXCEL. Results provide certain nutrients through a decision by taking into account the levels of nutrients, using metering pumps and the effect of the nutrient recirculation measurements are presented.

Keywords— NFT, Interface, Sensor, Hydroponics, Calcium, Dissolved Oxygen.

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años el campo mexicano cada vez más se va quedando abandonado pues el trabajo que realiza el campesino es físicamente muy demandante aún y cuando existe maquinaria que ayude a labrar la tierra no está disponible para todos los campesinos pues el precio es elevado, aunado a esto la ubicación de sus productos en el

mercado es muy complicado pues existen terceros que especulan con los precios de los productos y siendo ellos quien realmente obtienen una ganancia de los productos del campo, propiciando que en el campo la producción de granos, vegetales y hortalizas entre otros, sea deficiente y se tenga que importar productos de otras partes del mundo. El presente trabajo no pretende solucionar este gran problema que afecta al campo mexicano, si no contribuir en la generación conocimientos sobre el comportamiento de diferentes factores que intervienen en un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique), para futuras investigaciones y asesorar a productores de hortalizas y sobre todo de lechugas para hacer más eficaz sus medios de producción.

Con el uso de la hidroponía se reducen muchos problemas que actualmente afectan a las hortalizas que son cultivadas a cielo abierto sobre el suelo, problemas como la escasez de agua, la contaminación del producto por el uso de aguas negras, la producción solo en ciertos meses del año, la calidad del producto y los problemas de plagas entre otros. Ya que los cultivos hidropónicos normalmente están bajo un ambiente controlado (en invernadero) con lo cual se puede obtener varias cosechas al año y la calidad del producto se ve mejorada. Los cultivos hidropónicos no requieren de un gran esfuerzo físico con lo cual se hace más fácil el control de plagas, el cuidado y la supervisión del crecimiento de la planta, se pueden ahorrar fertilizantes y agua con lo cual los costos de producción se reducen a largo plazo de manera considerable.

Dentro de la hidroponía existen varios sistemas de cultivo, los cuales se diferencian entre sí por el medio de cultivo, es decir el lugar en donde son colocadas las plántulas para su crecimiento y cosecha, el presente trabajo se desarrolla utilizando el sistema hidropónico NFT someter a revisión.

(Nutrient Film Technique) o técnica de película nutritiva, básicamente consiste en cultivar plantas sobre todo hortalizas sobre un canal el cual en su interior contiene la solución nutritiva con la que la plántula se alimentara de los nutrientes necesarios hasta ser cosechada. Estos sistemas normalmente están dentro de invernaderos con el fin de proporcionar a las plantas las condiciones climáticas necesarias para su correcto desarrollo, mediante el uso del sistema NFT se hace necesario tener el control de pH, la conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, para lograr mejor calidad y cantidad de

¹ Victor Edi Manqueros Aviles (emanqueros@itslerdo.edu.mx). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo.

producto. Por lo que el uso de sensores es de vital importancia para cuantificar las variables que influyen sobre el clima y la solución nutritiva.

El uso de sensores selectivos de iones dentro del presente trabajo es de gran importancia para evaluar el comportamiento de nutrientes como el Nitrógeno, Calcio y Amonio dentro de la solución nutritiva y determinar qué tan fiables son estos sensores para un posterior control de nutrientes.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar mediante mediciones diarias el comportamiento de los sensores de iones selectivos en especial el de nitratos y de calcio mediante el uso de una interfaz diseñada bajo LabVIEW™. Además de Obtener resultados del comportamiento de variables dentro de la solución nutritiva para diseñar nuevos experimentos, los cuales sirvan para obtener mayor calidad y cantidad de productos. Adquirir los conocimientos suficientes para comprender el desarrollo físico y nutricional del sistema NFT. El presente trabajo contiene una breve pero eficaz descripción del nacimiento de la hidroponía, de los diferentes tipos de cultivos hidropónicos que existen. También están contenidos los materiales usados y los métodos necesarios para montar el experimento, el cual fue elaborado en los invernaderos de la preparatoria agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

II. SISTEMA HIDROPÓNICO, CONSTRUCCIÓN, MEDICIONES Y RESULTADOS.

A. Construcción de la estructura, siembra y trasplante de lechugas.

Con la finalidad de conocer la operación de un sistema hidropónico NFT, se construyó el primer prototipo, contemplando la construcción de prototipo, la elaboración de la solución nutritiva, el sensado del pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto. La figura 1 muestra un sistema a bloques del diseño del primer prototipo a construir.

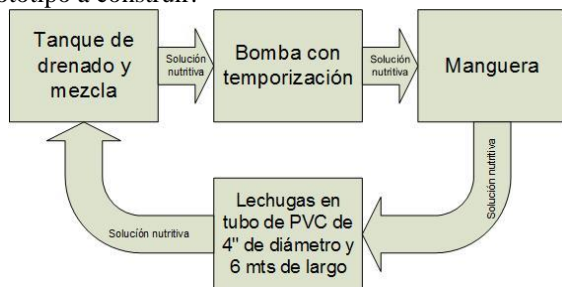


Figura 1. Primer prototipo.

En base al diagrama de bloques que se muestra en la figura 1, se construyó el primer prototipo, usando un tubo de

PVC de 4 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo, al tubo se le hicieron 24 orificios de 2 pulgadas cada uno, distanciados de centro a centro 25 centímetros.

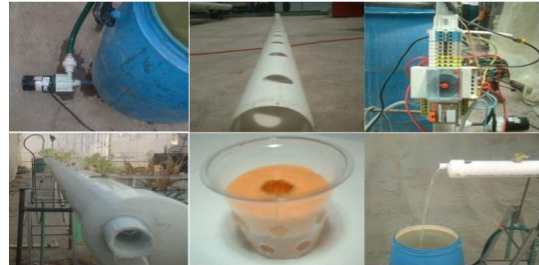


Imagen 1. Primer experimento.

B. Sensores de Iones Selectivos.

Diseñados para un uso químico, en hidroponía se pueden utilizar para determinar cuantitativamente la cantidad de sales inorgánicas de la solución nutritiva. Hay diferentes tipos de sensores selectivos de iones, los cuales se diferencian por el material del que está hecha la membrana. En esta parte del sensor es donde se efectúa la selección de los iones, clasificándose en [16] [17]:

1. Electrodo con membrana de vidrio.
2. Electrodo de estado sólido.
3. Electrodo basado en líquidos.
4. Electrodo compuestos.

La figura 2 muestra el funcionamiento básico de un sensor selectivo de iones. La membrana está dopada de una sustancia que reacciona con la sustancia a medir y los iones de este elemento entran en contacto con la membrana creándose una diferencia de potencial entre los electrodos proporcional a los iones presentes [16] [17].

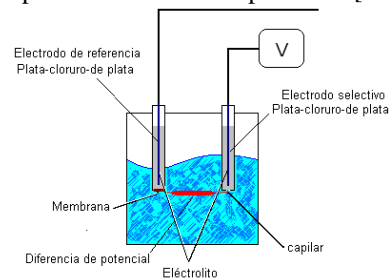


Figura 2. Sensor de Iones Selectivos.

C. ISFET (Transistor de efecto de campo sensible a iones).

El funcionamiento de estos sensores introducidos en 1970, es similar a un MOSFET. En lugar de tener una compuerta metálica tiene un electrodo de referencia y una solución comúnmente llamada analito o electrolito, quedando el canal o dieléctrico expuesto a la solución. Al

aplicarse un voltaje positivo en la compuerta con respecto al canal de silicio tipo p este conduce un voltaje de la fuente al drenaje. Al aplicar un voltaje entre la fuente y la compuerta, se puede modular el canal mediante un voltaje aplicado en la compuerta. El electrodo de referencia funciona como la compuerta, exponiéndose al electrodo de referencia, siendo algunos electrones atraídos hacia el electrolito y generando por lo tanto una diferencia de potencial y conductividad en el canal. Este es el proceso de modulación del canal que permite pasar cierto voltaje de la fuente al drenaje, siendo dependiente de la sustancia a medir. El electrolito esta echo de varios materiales o sustancias los cuales dependen de lo que se quiere cuantificar. En la figura 2.11 se muestra un ISFET [18] [19] [20] [21].

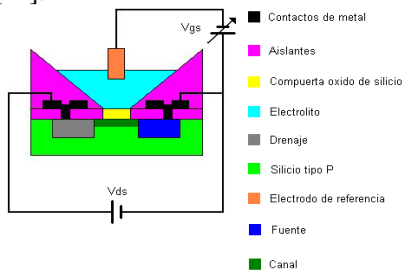


Figura 3. Isfet

D. CHEMFET (Transistor de efecto de campo químico).

El funcionamiento de los CHEMFET es muy parecido al ISFET, solo que en vez de un electrodo de referencia, los CHEMFET usan una membrana cargada con ciertos iones. Estos iones crean un movimiento de huecos en el hidrogel los cuales provocan una diferencia de potencial en la compuerta de óxido de silicio y por consiguiente el canal conduce un voltaje de la fuente al drenaje. En la figura 3 se muestra el esquema básico de un CHEMFET [18], donde la modulación del canal dependerá de la cantidad de partículas o iones a medir.

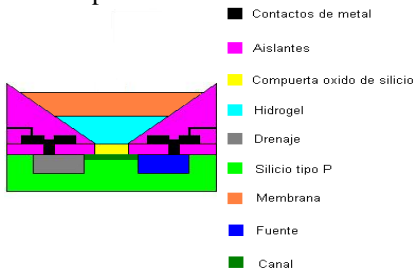


Figura 4. Chemfet.

E. Sensores útiles para sistemas NFT.

El sensor de pH, es usado para medir el potencial

iónico de hidrogeno en sistemas hidropónicos y en otros procesos. La figura 2.13 muestra la construcción típica del sensor de pH en el cual se usan dos tipos de electrodos. El pH es medido usando dos electrodos uno como indicador y otro como referencia, encontrándose físicamente en un solo sensor. Cuando los dos electrodos son sumergidos en una solución, se establece una célula galvánica y el potencial desarrollado es dependiente de ambos electrodos. La condición de medición ideal existe solo cuando el potencial del electrodo indicador cambia en respuesta a la variación del pH, permaneciendo el potencial del electrodo de referencia constante.

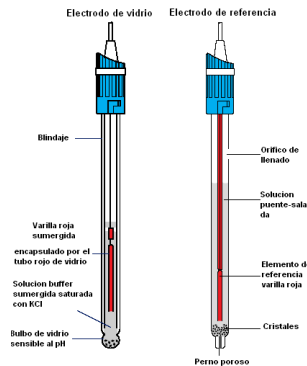


Figura 5. Construcción de electrodo típico de pH.

Existen varios tipos de sensores para medir la conductividad eléctrica siendo la efectividad y el rango de sus mediciones dependientes de la cantidad de polos y el material de que están hechas las celdas. La figura 6 muestra los rangos abarcado por los sensores.

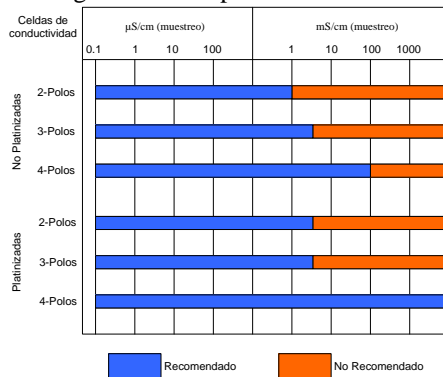


Figura 6. Diferentes tipos de sensores para medir CE.

La cantidad de oxígeno disuelto que contiene la solución nutritiva se mide mediante un sensor el cual utiliza un electrodo de platino como cátodo y un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata como ánodo inmerso en un electrolito de KC, separado de la muestra a medir por una membrana plástica permeable de gas, figura 7. De acuerdo a esto fluiría una corriente que es proporcional al radio de difusión del oxígeno y en turno al

oxígeno disuelto que hay en la muestra. Esta corriente es convertida a un voltaje proporcional el cual se amplifica para poder cuantificarlo.

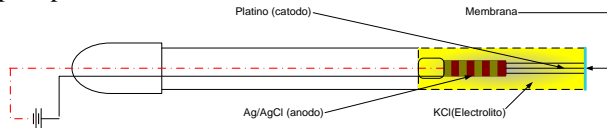


Figura 7. Partes de un sensor de oxígeno disuelto.

En sistemas hidropónicos la medición de nutrientes específicos como el Ca, NO₃, B, K entre otros se efectúa mediante sensores selectivos de iones los cuales están basados en membranas que miden un ion específico en soluciones nutritivas. Cuando la membrana del sensor está en contacto con la solución, un voltaje dependiente del nivel de iones en la solución, se desarrolla en la membrana respecto a un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata. La membrana es de un polímero sólido de PVC (figura 8) y el voltaje que mide el sensor se puede representar por la ecuación lineal de Nernst [25].

$$E = E_0 + m(\ln a) \tag{1}$$

Donde:

E = Voltaje medido (volts).

E_0 = Potencial estandar para la combinación de dos mitades de celda (volts).

m = Pendiente.

a = Actividad medida de la especie de iones.

Asumiendo que la fuerza iónica es lejanamente constante la ecuación se puede reescribir donde C representa la concentración iónica.

$$E = E_0 + m(\ln C) \tag{2}$$

(2.10)

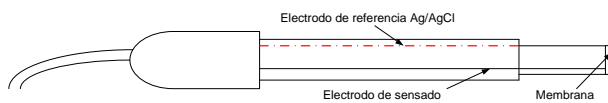


Figura 8. Sensor de iones selectivos.

F. Solución nutritiva.

En la tabla 1, se muestran las sustancias que se usan para preparar la solución nutritiva aplicada al primer prototipo. La mezcla sugerida por la tabla es para preparar

1000 litros de solución, por lo que se ajusta para preparar los 100 litros necesarios requeridos por este prototipo. El orden en que se mezclan los fertilizantes con el agua es el mostrado en la tabla 1 [2], siendo los pasos necesarios para preparar la solución nutritiva los siguientes:

1. Pesar las sales y separarlas una de otra con un error máximo del 5 %.
2. Poner agua en el tanque de mezcla hasta el 10 por ciento de su volumen final.
3. Mezclar las sales en un recipiente con suficiente agua para que se disuelvan con facilidad; Las sales difíciles de disolver, deben agregarse en agua caliente.
4. Disolver en el tanque los micronutrientes y después los macronutrientes, aunque puede realizarse también en forma inversa.
5. Llenar el tanque a su volumen final.
6. Medir el pH y ajustarlo de ser necesario con ácido fosfórico, ácido sulfúrico o con hidróxido de potasio.
7. Recircular la solución nutritiva por el canal de cultivo y ajustar nuevamente el pH.

Los fertilizantes pueden mezclarse directamente en el tanque, siguiendo el orden de solubilidad partiendo del menos soluble.

Tabla 1. Fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

Fuente	Fórmula	Peso molecular	Cantidad	Solubilidad
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	98.0	175 ml	Solución ácida
Nitrato de Potasio	KNO ₃	101	650 g	1:4
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246.5	950 g	1:3
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	164	1230 g	1:1
Solución madre	Varios		100 ml	

Tabla 2. Fertilizantes para 1 litro de solución madre.

Fuente	Formula	Cantidad
Sulfato ferroso	FeSO ₄ ·7H ₂ O	249 g
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ ·4H ₂ O	41 g
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	29 ml
Sulfato de cobre	CuSO ₄ ·5H ₂ O	20 g
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	22 g

G. Almacigo.

Se germinaron semillas de lechuga Boston las cuales tienen una densidad de 850 a 1110 semillas por gramo, en una charola con 200 cavidades imagen 2, cada una de las cavidades se llena con sustrato tipo vermiculita, se deposita una o dos semillas en las cavidades con una profundidad de ½ centímetros aproximadamente, la charola es humedecida por las mañanas con agua, cubierta de una fuerte exposición solar hasta que las semillas germinen.



Imagen 2. Siembra y trasplante de plántula.

H. Muestreo y control de variables.

Para tomar las muestras de los valores del pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de Vernier Software and Technology y un datalogger marca Vernier Labpro®. Una calculadora TI-83 Plus Silver de Texas Instruments© se monta sobre el datalogger. Se toman las muestras de la solución nutritiva en el tanque, para ajustar el pH, la conductividad eléctrica y observar el comportamiento del oxígeno disuelto, imagen 3. El diagrama de instrumentación se muestra la figura 9.



Imagen 3. Sensores y datalogger.

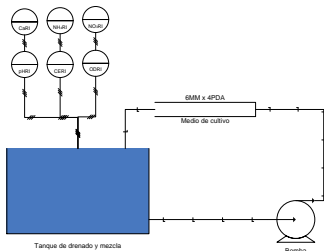


Figura 9. Diagrama de instrumentación.

Dos veces al día se muestreo el pH, la conductividad

eléctrica y el oxígeno disuelto en la solución nutritiva realizándose por las mañanas entre las 7 y 10 a.m. y en las tardes de 6 a 8 p.m. durante los 30 días de cultivo. El pH se ajustó entre 5.8 y 6.2, utilizando ácido fosfórico cuando la solución era más alcalina que el rango mencionado y agua cuando la solución era acida. La conductividad eléctrica se ajustó a 1.8 mS/cm, usando agua para bajar a dicho valor. El oxígeno disuelto no se ajustó durante el experimento manteniéndose entre 5.2 y 5.3 mg/l en el tanque. La solución en reposo mostró una oxigenación de 5.6 mg/l y al recircularse la solución se incrementó a 5.8 mg/l.

I. Prototipo final

El prototipo final cuenta con dos tubos para el cultivo de la lechuga por los cuales circula la solución con mayor flujo mejorando la oxigenación. Cada uno de los dos tanques maneja una solución nutritiva diferente. Uno de los tubos mantiene el control de nitratos para mejorar el suministro de nitrógeno en una de las soluciones nutritivas con el fin de poder diferenciar entre el crecimiento de las lechugas de un tubo y el otro.

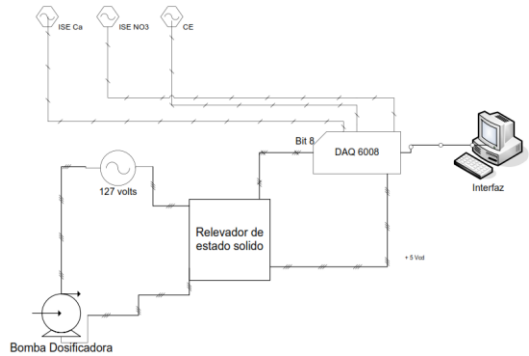


Figura 10. Diagrama de instrumentación, con inyección de nutriente.



Imagen 4. Prototipo final.

J. Resultados

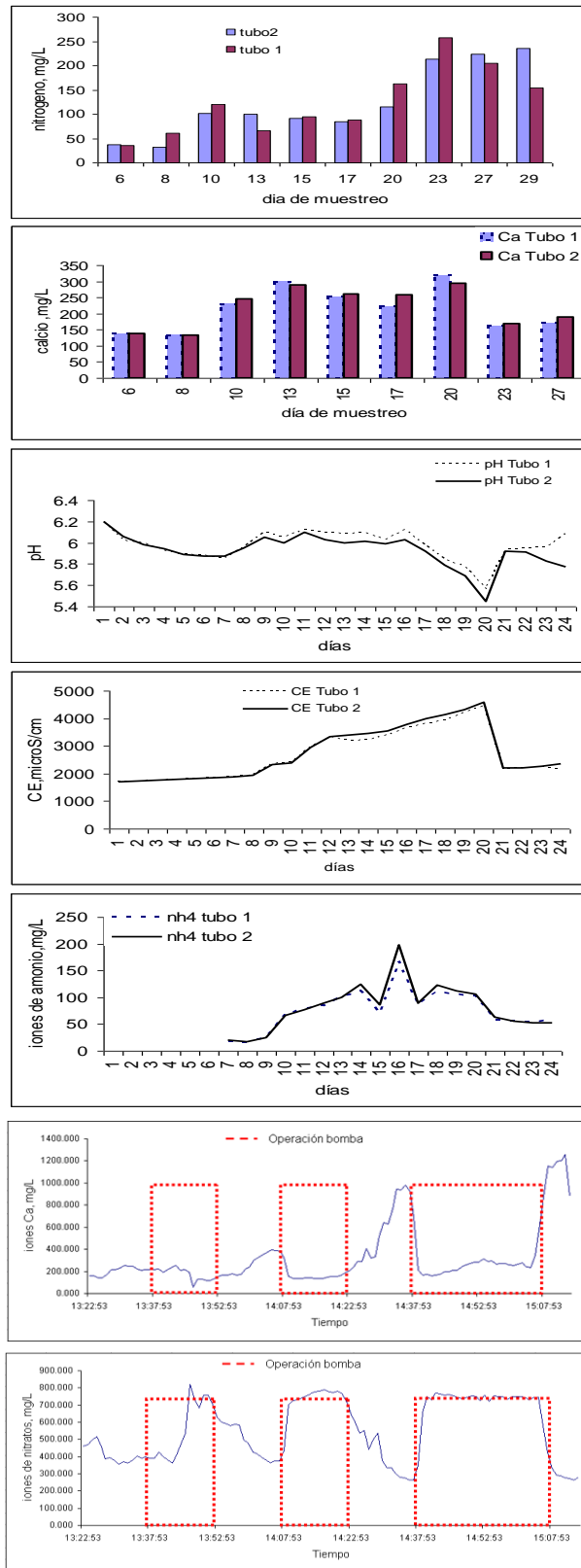


Figura 11. Comportamiento de las variables.

III. AGRADECIMIENTOS

Más que los resultados obtenidos, quiero dar gracias al doctor Federico F. Hahn Schlam, por la oportunidad de aprender en la realización de este proyecto.

IV. REFERENCIAS

- [1] Howard M. Resh, Ph. D., "Cultivos Hidropónicos", Ediciones Mundi-Prensa, 3ª. Edición, Madrid, 1992.
- [2] Juan T. Morales, Ignacio Miranda Velásquez, Isaías Gil Vázquez, Aurelio, Bastida Tapia, Juan Hernández Ortiz, David Saúl Reyes Ramírez, Georgina Flores Escobar, Erick Navarro López, "Introducción a la hidroponía", Preparatoria Agrícola Universidad Autónoma Chapingo. Serie de publicaciones, AGRIBOT, Chapingo México, 2004.
- [3] Sonia Rodríguez de la Rocha, MC G., "Diferentes Cultivos", Chihuahua, 2002.
- [4] <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/modulo1.htm>
- [5] Carlos Baixauli Soria, José M. Aguilar Olivert, "Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencias", Generalitat Valenciana, Valencia, 2000.
- [6] Gilda Carrasco Ph. D., Juan Izquierdo Ph. D., "La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Re circulante NFT", Editorial Universidad de Talca, Talca, 1996.
- [7] http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo_aeroponico.htm
- [8] NGS®, "NGS®: Un Nuevo Sistema de Cultivo", NGS®, Almería España, 2005.
- [9] <http://www.acuaponia.com/>
- [10] Oscar Malca G. "Seminario de Agro Negocios: Lechugas Hidropónicas", Universidad del Pacifico, Facultad de Contaduría y Administración, Perú, 2001.
- [11] Brian E. Whipker, Todd J. Cavins and William C. Fonteno, "1, 2, 3's PourThru", Florex.005, North Caroline State University, 2001.
- [12] Infocir, "Hidroponía: Altos rendimientos en el cultivo de hortalizas", Focir, México D.F., 2004.
- [13] J.J. Magán Cañadas, M.P. Romera Pérez, F. Cánovas Martínez y E.J. Fernández Rodríguez, "Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo con re uso del drenaje en tomate larga vida", XVIII Congreso nacional de riegos. Murcia 1999.
- [14] Th. H. Gieling, "Control Of Water Supply And Specific Nutrient Application In Closed Growing Systems", IMAG, The Netherlands, 2001.
- [15] http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15a.html
- [16] http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15b.html
- [17] http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apqui m-an-instr-8/c15c.html
- [18] <http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials/isfet/>
- [19] http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-an-instr-8/c15d.html
- [20] <http://www.sentron.nl/nieuw/index.php?id=4>
- [21] <http://www.inti.gov.ar/citei/cyted/isfet.htm>
- [22] Radiometer Analytical SAS, "pH Theory and Practice", Radiometer Analytical SAS, Francia, 2003.
- [23] Radiometer Analytical SAS, "Conductivity Theory and Practice", Radiometer Analytical SAS, Francia, 2004.
- [24] Vernier Software and Technology, "Dissolved Oxygen Probe", Vernier Software Technology, USA, 2005.
- [25] Vernier Software and Technology, "Ion Selective Electrodes", Vernier Software Technology, USA, 2006.

- [26] National Instruments Corporation, "Data Acquisition and Signal Conditioning Course Manual", National Instruments Corporate Headquarters, Texas, 2005.
- [27] Controlled Environment Agriculture, "Lettuce Handbook", Cornell, 2004.
- [28] B. Vestergaard, "The Hydroponic Lettuce factory", Journal of the International Society of Soilless Cultivation, Dinamarca, 1988.
- [29] Red Hidroponía, "Boletín Informativo Numero 12", Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 2001.

V. BIOGRAFÍA



M.C. Víctor Edi Manqueros Avilés. Nació en la ciudad de Durango, Durango en 1976. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001. Obtuvo el grado de Maestro en ciencias por parte del Instituto Tecnológico de Durango y la Universidad Autónoma de Chapingo en el año de 2006. Actualmente es Docente-Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la división de ingeniería electrónica y la subdirección de investigación y desarrollo tecnológico. Áreas de interés son: automatización, robótica, control, instrumentación, sistemas embebidos
Email: emanqueros@itslerdo.edu.mx