UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

COMPARATIVO DE TRES SISTEMAS HIDROPÓNICOS (SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO, SEMI AUTOMATIZADO Y NO AUTOMATIZADO) EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN PUCALLPA.

AUTORES: **Dr. Fernando Pérez Leal**
Ing. Electrónico José Alipio Díaz Picón

Colaboradores: **Ing. Sistemas Carlos H. Villacorta Izquierdo**
Ing. Mg. Erick Guitton Lozano
Ing. Forestal María Angélica Flores Romayna
Lic. Enf. Francisco Javier Ramírez Calle
Ing. Sistemas Ulises Fernando Pérez Reátegui
Ing. Sistemas Fiorella Isabel Pérez Reátegui

PUCALLPA - PERU
MAYO - 2016

COMPARATIVO DE TRES SISTEMAS HIDROPÓNICOS (SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO, SEMI AUTOMATIZADO Y NO AUTOMATIZADO) EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN PUCALLPA.

Fernando Pérez Leal[1]; José Alipio Díaz Picón[2].
UNU - Facultad de Ciencias Agropecuarias; Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil - Km 6.200, Carretera Federico Basadre, Pucallpa – Perú; Telf. 061- 579962 anexo 228;
[1]fernandoperez57@yahoo.com; [2]jadiazp@hotmail.com.

COMPARATIVE THREE HYDROPONIC SYSTEMS (AUTOMATED CONTROL SYSTEM, SEMIAUTOMATED CONTROL END WITHOUT AUTOMATED CONTROL) ON THE YIELD OF LETTUCE (*Lactuca sativa*) FROM PUCALLPA

SUMMARY

The aim of this research was to study the influence of different hydroponic systems (automated control system, semiautomated control end without automated control) on the yield of lettuce (*lactuca sativa*) from pucallpa, sown by 04 of July del 2013 and 23 de december of 2014 making 6 crops. The result shows that using Programmable Logic Controller (PLC) and apply LabView, is effective for the automated control of culturals work in growing lettuce as the application and control of fertilizers, control of pH and electrical conductivity and give more comfort the producer; however there was no difference as to productivity between the three systems hydroponics but there was a higher cost for the automated system.

Keywords: Automated control, hydroponic, lettuce (*Lactuca sativa*).

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, trata sobre el "comparativo de tres sistemas hidropónicos (sistema de control automatizado, semiautomatizado y no automatizado) en el rendimiento de lechuga (*lactuca sativa*) en Pucallpa". Se llevó a cabo del 4 de Julio del 2013 al 23 de Diciembre del 2014 haciendo 6 cosechas. Los resultados demuestran que utilizar Controlador Lógico Programable (PLC) y aplicar LabView, es efectiva para el control automatizado de las labores culturares en el cultivo de lechuga como: la aplicación y control de fertilizantes, el control del pH y Conductividad Eléctrica y dar mayor comodidad al productor; sin embargo no hubo diferencias en cuanto a productividad entre los tres sistemas de cultivo hidropónico pero hubo un mayor costo para el sistema automatizado.

***Palabras claves*:** Control automático, hidroponía, lechuga (*Lactuca sativa*)

I.- INTRODUCCIÓN

La palabra hidroponía deriva del griego *Hydro* que significa agua y la palabra *Ponos* que significa labor o trabajo. Con esta tecnología de agricultura urbana se aprovecha productivamente parte del tiempo libre del que siempre disponen algunos miembros de la familia. Las productividades potenciales de los cultivos hidropónicos, cuando son realizados en condiciones tecnológicas óptimas, son superiores a las obtenidas mediante el sistema tradicional de cultivo (Resh, 1992).

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual, hasta los más sofisticados y completamente automatizados. Entre los sistemas más conocidos se encuentran: NFT (Nutrien Film Technique) que consiste en recircular continuamente la solución nutritiva por una serie de canales perforados, donde se colocan las plantas sostenidas por pequeños vasos plásticos; Raíz flotante, en este sistema las raíces de las plantas están sumergidas en forma permanente en la solución nutritiva.

Según Malca (2001), la principal ventaja del sistema hidropónico recirculante es la significativa reducción del consumo de agua y nutrientes para el número de plantas que se quiere producir, además requiere menos mano de obra, se anticipa la cosecha debido a un acortamiento del período de desarrollo del cultivo, se observa una mejor calidad del producto. La tecnología informática se incorpora al sistema como parte integral de la producción hidropónica. Así, el presente trabajo tuvo por objetivo: "Determinar el rendimiento productivo y económico de lechuga (*L. sativa*) en tres sistemas hidropónicos (sistema de control automatizado, semi automatizado y no automatizado) en Pucallpa".

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del problema

En la región Ucayali la mayor parte de la población y cultivos se encuentran en áreas de suelo caracterizado por su acidez, baja fertilidad y no permite obtener una elevada calidad y productividad de los cultivos hortícolas. Ante esto la hidroponía, método de cultivo prescindiendo de suelos se abre paso – como alternativa de solución – a los problemas.

En el transcurso del siglo XX la hidroponía empezó a ser una actividad productiva y recreativa, hoy en día países entre ellos Estados Unidos, Japón, Canadá, Israel, países europeos, China, Colombia, Argentina, tienen grandes instalaciones hidropónicas para el cultivo de flores y hortalizas. Hay modernos invernaderos hidropónicos en funcionamiento en Tucson, Phoenix (Arizona, Estados Unidos), y en Abu Dhabi instalaciones que usan aguas desalinizada del Golfo Pérsico. Así mismo en Brasil y Colombia, donde se considera como una actividad industrial y de investigación (Alpizar, 2004).

Cuadro 1. Análisis comparativo de diferentes especies de hortalizas cultivadas en hidroponía y cultivo tradicional (geoponía).

Cultivo	Hidropónico			Tradicional
	Producción Cosecha T/ha	Nº Cosechas por año	Rendimiento Total Año T/Ha	Rendimiento Total Año T/Ha
Frijol	11,5	4	46	6
Pepino	250,5	3	750	30
Berenjena	28,0	2	56	20
Lechuga	31,3	10	313	52
Pimentón	32,0	3	96	16
Tomate	187,5	2	375	100

Fuente: www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA%201.ppt

Hoy la hidroponía es una rama de la ciencia agronómica, que contribuye con la alimentación de millones de personas (Barbado, 2005). Es una alternativa viable para cultivar bajo condiciones de invernaderos o invernáculos en todos los climas (Marulanda & Izquierdo, 1997).

2.2 De los Sistemas de Cultivo

A.- Sistema hidropónico de raíz flotante

Según Rodríguez *et al.* (2004), el sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó y se sigue utilizando a nivel experimental, como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo. En este tipo de sistema hidropónico, las plantas

están soportadas en una plancha de Isopor, duroport o tecnopor, perforada para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva). Entre las hortalizas más cultivadas aprovechadas por sus hojas son: Lechuga, albahaca, apio, debido a que estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces al medio líquido, absorbiendo eficientemente los nutrientes, siendo un factor limitante la necesidad de oxigenación del medio de cultivo. La principal técnica comercial es la técnica de flujo profundo (DFT, Deep flow Tecnique), donde planchas de tecnopor flotan sobre una solución nutritiva. La solución nutritiva debe renovarse cada 2 o 3 semanas. Los macronutrientes son consumidos más rápido por las plantas de mayor edad.

B.- Semi automatizada (sistema NFT)

El pionero de esta técnica NFT fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Research Institute, en Littlehampotn (Inglaterra), en 1965. El término NFT (Nutrient Film Technique) fue utilizado en dicho instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudiera disponer oxígeno necesario. Otros trabajos llamaron a esta técnica "técnica de flujo de nutrientes", puesto que la solución de nutrientes circula de forma continua, también llamado sistema recirculante. Este sistema es mayormente utilizado para cultivos comerciales de lechuga y hierbas (Schippers, 1979; Carrasco e Izquierdo, 1996).

Simplifica el sistema de riego, elimina la esterilización del suelo y el abastecimiento de los nutrientes a las plantas es más huniforme. En esta técnica tanto el agua como los nutrientes se regulan para que la planta se desarrolle adecuadamente. Se realiza el balance de la solución nutritiva, así como pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad.

Elementos constituyentes de la NFT. Según Cooper, 1996, distingue los siguientes elementos principales: tanque colector, bomba de impulsión, tuberías de distribución, canales de cultivo, tubería colectora.

C.- Automatizada (Sistema NFT)

La tecnología informática se incorpora al sistema como parte integral de la producción hidropónica. Se utilizan sensores para monitorear los parámetros

ambientales, como temperatura, humedad y concentración del dióxido de carbono en el aire, la intensidad de la luz, se monitorea la composición de los nutrientes, el pH, los niveles de Oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica entre otros.

2.3 El cultivo de lechuga

Lactuca sativa, la lechuga, es una planta anual propia de las regiones semi-templadas, que se cultiva con fines alimentarios. Existen muchas variedades y su cultivo cada vez mayor en invernaderos. Se puede consumir durante todo el año; normalmente se toma cruda, como ingrediente de ensaladas y otros platos, hay variedades, sobre todo las de origen chino que poseen una textura más robusta y por ello se emplean cocidas. La variedad Great Lakes es de gran adaptabilidad, recomendable para siembras en Primavera, Verano y muy temprano en otoño.

La lechuga soporta temperatura máxima de 30 °C y como mínimo hasta –6 °C. No es bueno que la temperatura del medio de cultivo baje de 6 a 8 °C; sin embargo exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Cuando soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia.

La humedad relativa conveniente es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos soporta menos del 60%.

Esta planta es muy exigente en potasio y al consumir más potasio va a absorber más magnesio, por lo que es necesario equilibrar su posible carencia al abonar el cultivo. También es muy exigente en molibdeno durante la primera etapa del desarrollo.

Lechugas mensuales cultivadas en 50m^2: 2.100 según Malca (2001), cuando se establece de 25 a 30 lechugas por metro cuadrado o 250.000 – 300.000 por hectárea, o 20.833 – 25.000; docenas por hectárea con un peso promedio de 150 gamos por lechuga.

2.4 Control Automatizado

LabVIEW es un software de diseño de sistemas que proporciona a ingenieros y científicos las herramientas que necesitan para crear y desplegar sistemas de medidas y control. Es un extenso entorno de desarrollo que brinda a científicos

integración con hardware sin precedentes y amplia compatibilidad. Se puede programar de la manera que el usuario piensa. Almacena y reporta datos usando múltiples tipos de Archivos. Se puede tener la confianza de innovar continuamente. Crea interfaces de usuario personalizadas para recolección y presentación de datos, despliegue a múltiples objetivos, procesamiento en paralelo y multinúcleo. LabVIEW 2011 es una actualización exclusiva para clientes del Programa de Servicio Estándar (SSP).

PLC Según Steidle (2007), es esencial para el monitoreo continuo y ajustes frecuentes de la concentración de fertilizantes, nivel de pH y conductividad eléctrica para optimizar el crecimiento de las plantas en un cultivo hidropónico, donde los circuitos electrónicos propuestos deben ser calibrados y validados para realizar las mediciones en tiempo real, por ejemplo el ajuste de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva por medio de la adición de agua o en caso contrario se adiciona la solución stock concentrada en el reservorio; brinda soporte a la toma de decisiones sobre la concentración apropiada y otras.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento y duración del estudio

Este experimento se instaló en el Módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en el km 6,200 de la Carretera Federico Basadre, Distrito de Callaría, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, Selva baja de la amazonia, geográficamente ubicada a 8º 23’ 39” de latitud sur y 74º 34’ 39” de longitud oeste y 154msnm. Se llevó a cabo a partir del 04 de Julio del 2013; efectuándose 6 cosechas hasta el 23 de diciembre del 2014 fecha en que concluyó el trabajo de campo.

3.2. Ecología y Clima

Según el Sistema Holdrige, Ucayali se clasifica como “Bosque Húmedo Tropical” y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema “Bosque tropical semi – siempre verde estacional”. (Cochrane, 1982).

3.3. Variables

A. Variables independientes

Sistemas hidropónicos:

T1: Sin automatización (a raíz flotante)

T2: Semi automatizado

T3: Automatizado con aplicación software

B. Variables dependientes

- Peso Fresco por planta
- Peso seco por planta
- Rendimiento económico (Costos, Utilidad e índice de rentabilidad)

3.4 Sistemas Hidropónicos

T1. Sistema no automatizado (raíz flotante con lechuga).-



Foto 1. Esponja y plántula



Foto 2. Contenedor, esponja colocada en tecnopor

T2. Sistema Semiautomatizado (NFT).- del inglés: Nutrient Film Technique, también llamado sistema re-circulante. La semiautomatización consistió en el riego controlado por reloj temporizador programado para su funcionamiento en forma continua, y la aplicación de fertilizantes, controles de pH y CE en forma manual.

Ilustraciones del Sistema NFT semi automatizado:



Foto 3. Aplicando solución stock



Foto 4. Llave térmica, reloj y contactores

T3. Sistema automatizado NFT. Diferenciándose del anterior por La automatización que consistió en el control computarizado del balance de la solución nutritiva, mediante un controlador lógico programable (PLC), que activa la bomba eléctrica para el fluido de la solución nutritiva, previa dosificación de los nutrientes necesarios para las plantas, toma de lectura del contenido de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura e intensidad de luz, lo que le permite realizar las dosificaciones para el mantenimiento de un nivel adecuado de la solución nutritiva. Además, esta labor fue monitoreada desde un computador, a través de un software de programación TIA Portal V11 y el programa LABVIEW. Mediante éstos, se tomó la lectura permanente durante todo el proceso de estudio del comportamiento que va ocurriendo en el proceso de cultivo de lechuga. Así mismo mediante Oracle VM Virtual Vox y Team Viewer se monitoreó en forma remota el funcionamiento del sistema a través de un PC con la ayuda de la internet.

El Controlador Inteligente Programable (PLC) fue equipado con tablero eléctrico hermetizado de 40cm x 60cm x 20cm con interruptor termo magnético de 16A – 220 VAC. Contactores monofásicos 12A – 220 VAC. Tarjeta PLC con llave selector de 3 posiciones, con pulsador de mando y luces piloto de 220 VAC.





Foto 5 y 6. Dispositivos de procesamiento y software de instalación del PLC



Foto 7. Módulo de PLC utilizado y fuente de energía

Tarjeta PLC con 14 entradas discretas 24V, 10 salidas discretas, relay; 2 entradas análogas 0 – 10 VAC. 01 puerto Ethernet y fuente de alimentación SITOP SMART. Módulo de 16 salidas de 4 A O en U/I. Módulo de 16 entradas de ampliación SM /23/ OR BAI en U.

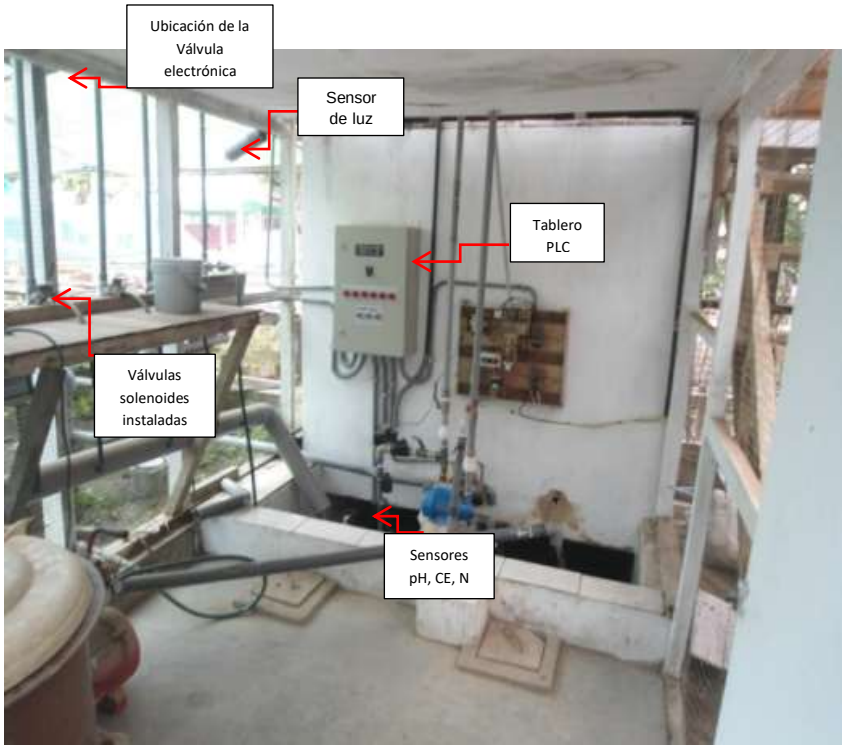


Foto 8. Vista del tablero con el PLC, las electrobombas y los tanques subterráneos para colectar la solución nutritiva

3.4 Rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos en el sistema automatizado vía Lógica del Programa del PLC TIA Portal versión 11.

Figura 1. Rutina dedicada a las lecturas luz, nitrógeno, pH, CE, y Temperatura.

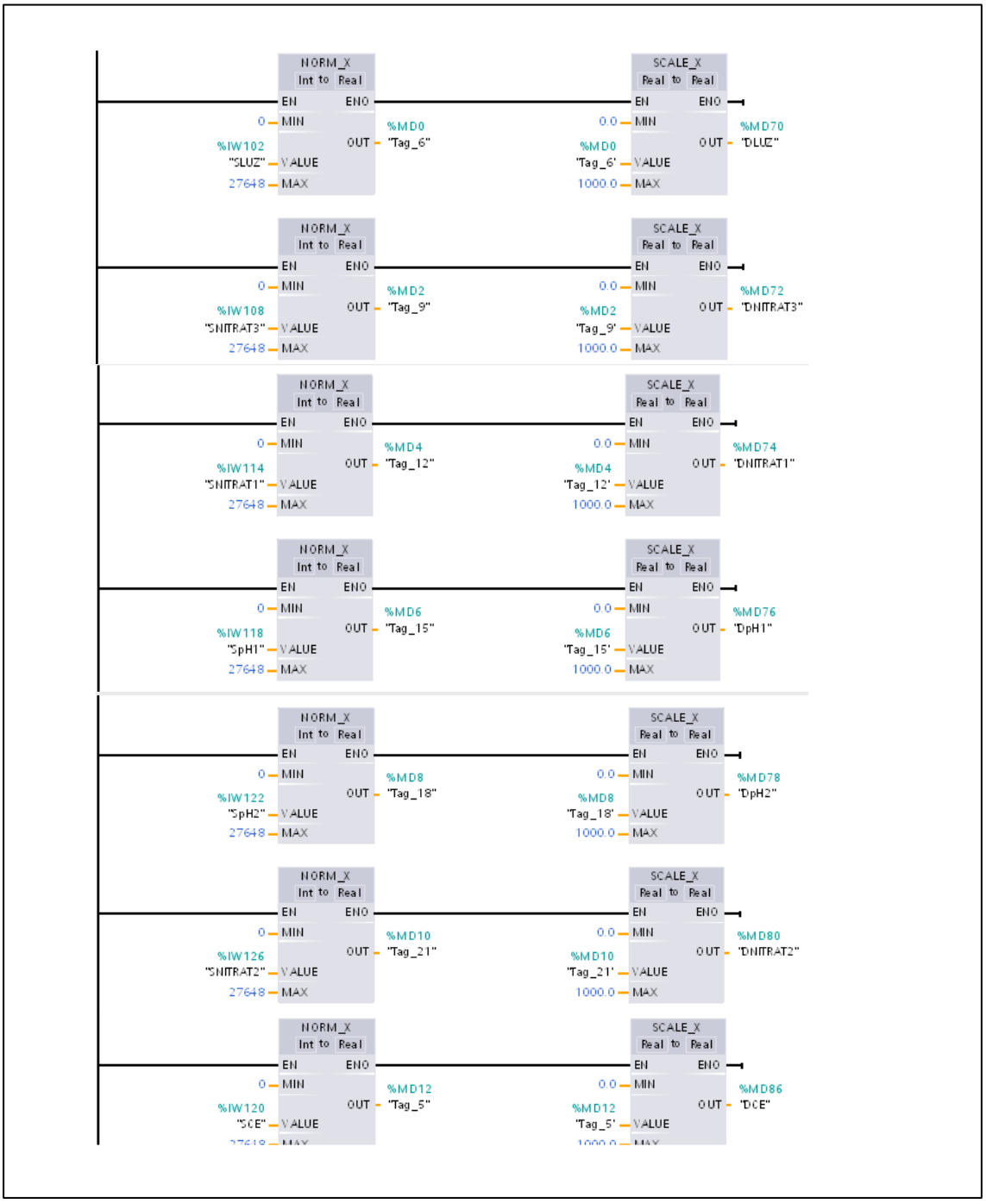


Figura 2. Todos los tanques conteniendo solución stock para regular el contenido de nitrógeno, pH y Conductividad eléctrica.

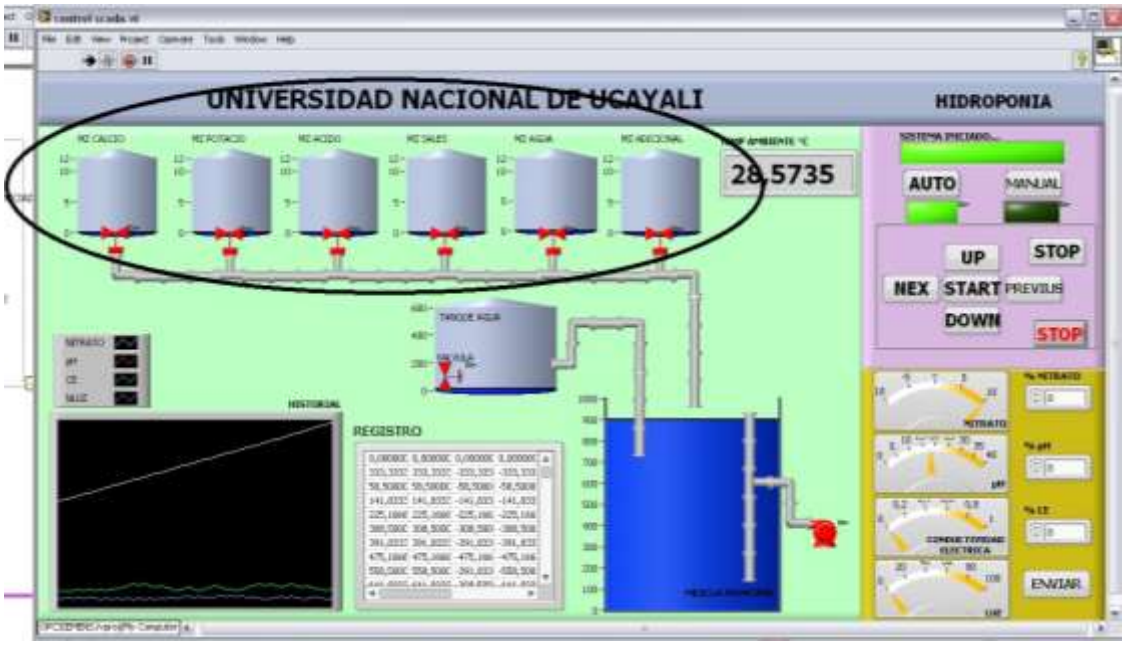




Foto 9. Computadoras del módulo de hidroponía de la UNU con programa LABVIEW.




Foto 10 y 11. Instalación de lechuga sobre planchas de fibra de vidrio

Cuadro 2. Calendario de principales actividades realizadas.

Actividad	**Campaña de cultivo de lechuga**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inicio Exp.	16/06/13					
Almacigado	26/06/13	25/09/13	19/01/14	26/04/14	27/07/14	31/10/14
germinación	27/06/13	26/09/13	20/01/14	27/04/14	28/07/14	01/11/14
trasplante	10/07/13	09/10/13	02/02/14	10/05/14	10/08/14	14/11/14
cosecha	23/08/13	22/11/13	18/03/14	23/06/14	23/09/14	28/12/14
Final Exp.						28/12/14

3.5. Población:

La población comprendió a todas las plantas de lechuga.

3.6. Muestra para el sistema automatizado:

Se adecuaron los niveles de voltaje captados por los sensores y llevados al PLC quienes lo trasmitían a una computadora que almacenaba los datos en forma digital, tales datos fueron transformados a nivel de N, PH, CE y para una correcta interpretación, de acuerdo a lo siguiente:

Los valores máximos y mínimos registrados se equipararon con los valores máximos y mínimos de la lectura patrón leído con los respectivos instrumentos como medidor de nitrógeno en ppm, pHchímetro, conductivímetro en mS/cm y Donde **a (V_{MI})** era el valor máximo leído por el PLC dividido entre, **b (V_{mI})** el

valor mínimo leído por el PLC, igual al valor máximo del parámetro según instrumentos, dividido entre el valor mínimo leído por los instrumentos en la solución nutritiva, cuya fórmula aplicada fue:

$$x = V_{MI} - \frac{(V_{MI} - V_{mI})(V_{MPLC} - V_{iPLC})}{V_{MPLC} - V_{mPLC}}$$

Dónde:

x : Valor Ajustado equivalente

V_{MI} : Valor máximo medido con instrumento

V_{mI} : Valor mínimo medido con instrumento

V_{MPLC} : Valor máximo leído por PLC

V_{iPLC} :Valor intermedio leído por PLC

V_{mPLC} : Valor mínimo leído por PLC

Para los análisis Nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, temperatura e intensidad de luz se utilizaron técnicas de muestreo y correlación lineal.

Cuadro 3: Observaciones del pH nitrógeno y conductividad eléctrica

Día	pH	N	CE	Observaciones durante el experimento
1	5,87	0,00	0,03	Antes de la aplicación de nutrientes, pH del agua
2	6,15	100,00	1,22	Después de aplicado los nutrientes al agua
19	5,85	50,00	0,60	Aquí se aplicó más nutrientes en forma automática y luego + agua
29	5,49	92,00	0,97	Aquí se aplica NaOH, luego ácido nítrico a la solución hasta balancear el pH de la solución nutritiva
35	6,40	150,00	1,80	Aquí se aplica más nutriente en forma automática y luego + agua
45	6,02	52,00	0,63	Cosecha de lechuga

3.7 Diseño Estadístico

Para el rendimiento productivo de lechuga (*L. sativa*) se utilizó el Diseño Completamente Randomizado (DCR), con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento teniendo 12 unidades experimentales. Luego de 6 cosechas de lechuga cultivadas en épocas diferentes con 4 repeticiones respectivamente, totalizando 24 unidades experimentales.





Foto 12 y 13. Verificación del flujo de abastecimiento de solución nutritiva de los contenedores y verificación del flujo de abastecimiento de solución nutritiva de los tubos

3.8. Nutrición de las plantas

Para preparar la solución nutritiva se utilizó la metodología de Hoagland y Arnon 1970 prescrita por Pérez 1998.

Los nutrientes para las plantas de lechuga, fueron suministrados en forma de soluciones nutritivas. Para preparar la solución nutritiva primero se preparó soluciones stock a partir de sales de laboratorio y fertilizantes comerciales.

Cuadro 4. Rangos de variación para control de la solución nutritiva en el sistema automatizado.

Variable controlado de la solución nutritiva	Rango de control
Nitrógeno	50 a150ppm
pH	5,5 a 6,5
Conductividad Eléctrica	0,6 a 1,8mS/cm

Así mismo se registraron en forma simultánea los datos de las variables de temperatura en grados centígrados, intensidad de luz del ambiente en footcandels (fc).

3.9. Cosecha de lechugas

Cuadro 5. Etapas del proceso productivo de lechuga Great lake

Duración en días	Almacigado a	Trasplante b	Cultivo hidropónico c		Cosecha b y c
	14	1	14	30	45

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Peso fresco por planta

Los resultados de peso fresco de lechuga por planta, por fechas, bajo tres sistemas hidropónicos se muestran en el siguiente cuadro

Cuadro 6. Peso fresco de lechuga Great lake en g por planta en tres sistemas hidropónicos en diferentes fechas de cosecha.

Sistema hidropónico	Cosecha por fechas						
	cama	23/08/13	22/11/13	18/03/14	23/06/14	23/09/14	28/12/14
Automatizado	1	85,60	99,35	120,04	128,57	88,42	99,38
	2	82,20	97,80	120,89	129,44	89,77	101,36
	3	87,90	99,04	121,05	127,25	90,80	100,08
	4	88,10	98,83	120,38	127,26	88,27	100,97
Promedio		85,95	98,76	120,59	128,13	89,32	100,45
Semi Automatizado	1	81,20	101,19	121,22	126,16	89,12	102,13
	2	90,20	94,01	119,76	124,62	89,05	101,17
	3	85,30	99,78	121,09	125,46	88,20	101,29
	4	85,10	98,28	121,17	125,19	89,39	101,27
Promedio		85,45	98,31	120,81	125,36	88,94	101,47
No automatizado (raíz flotante)	1	93,86	109,88	129,90	139,63	94,81	108,57
	2	92,62	110,70	130,63	138,77	95,44	109,85
	3	93,37	112,42	130,40	139,51	94,84	112,48
	4	92,16	112,31	130,17	139,78	95,63	111,62
Promedio		93,00	111,33	130,27	139,42	95,19	110,63

El análisis de variancia indica que no hubo diferencias significativas entre los sistemas hidropónicos. Sin embargo en el sistema hidropónico no automatizado (raíz flotante) hubo 113.31g en promedio en 6 cosechas; siendo una ligera ventaja en cuanto a mayor peso, sobre los sistemas automatizado y no automatizado, con promedios de peso fresco en g de 103,87 y 103,39 respectivamente.

Peso fresco por planta por fecha de cosecha

En el análisis individual de cada sistema de cultivo, se observó que el peso fresco de lechuga estuvo influenciado por la época de cultivo, en los tres sistemas hidropónicos donde se encontró diferencias significativas. Los resultados sobre fecha de cosecha lechuga Great Lake muestran que hubo mayor peso fresco por planta en la cosecha del 23 de junio del 2014, seguido

de 18 de marzo del 2014 en los sistema a raíz flotante, automatizado y semi automatizado, resultando como las mejores épocas para cosechar lechuga Great Lake en Pucallpa y que las variaciones de las condiciones climáticas influyeron en los resultados.

4.2 Peso seco por planta

El análisis de variancia indica que no hubo diferencias significativas entre los sistemas hidropónicos. Guardando un estrecha relación con los resultados del peso fresco.

De acuerdo al análisis individual de cada sistema de cultivo, se observó que el peso seco de lechuga estuvo influenciado por la época de cultivo, en los tres sistemas hidropónicos donde se encontró diferencias significativas.

Los resultados sobre fecha de cosecha lechuga Great Lake muestran que hubo mayor peso seco de lechuga en la cosecha del 23 de junio del 2014, seguido de 18 de marzo del 2014 en los sistema a raíz flotante, automatizado y semi automatizado indicando que hubo influencia de la época de cosecha en el peso por lechuga respectivamente, podría interpretarse como las mejores épocas para cosechar lechuga Great Lake en Pucallpa y que las variaciones de las condiciones climáticas influyeron en los resultados



Foto 14. Lechugas Great Lake sobre los contenedores en sistema NFT



Foto 15. Lechugas Great Lake en el sistema raíz flotante y plancha de tecnopor o isopor con lechuga Great Lake

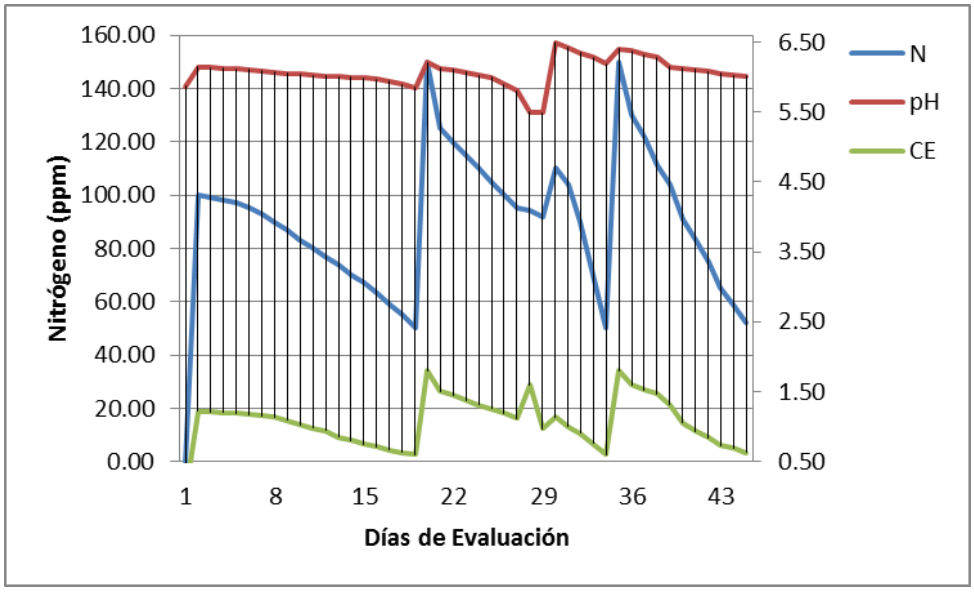
4.3 Análisis de correlación del pH, nitrógeno y conductividad eléctrica en la solución nutritiva con cultivo de lechuga.

Análisis de correlación

El pH en la solución nutritiva está altamente correlacionada con la concentración de nitrógeno r=0.42714 (P<0.01) y éste con la conductividad eléctrica r=0.96025 (P<0.01). También se observa correlación positiva media r=0.29340 no significativa (P>0.05) del pH con la conductividad eléctrica (Cuadro 46 y figuras 86, 89, 91, 94,95,96).

Estos resultados nos indican que a medida que el pH de la solución nutritiva aumenta, la conductividad eléctrica y la concentración del nitrógeno, muestran tendencia similar.

Figura 3. Relación de la concentración de Nitrógeno, Conductividad Eléctrica y pH de la solución nutritiva, en 45 días de evaluación.



Cuadro 7. Matriz de correlación del pH con la concentración de nitrógeno y conductividad eléctrica de la solución nutritiva, evaluada durante 45 días de crecimiento vegetativo y productivo de lechuga.

Variables	Día	Nitrógeno	pH	Conductividad Eléctrica
Día	1,00000	0,13067 0,3922	0,20496 0,1768	0,08380
Nitrógeno		1,00000	0,42714 0,0034**	0,96025 0,0001***
pH			1,00000	0,29340 0,0505
Conductividad Eléctrica				1,00000

Significativo P<0,05; ***Altamente Significativo P<0,0001

Entradas y salidas para sistema hidropónico.

La solución nutritiva, es quizá la parte más importante de toda la técnica hidropónica. La solución nutritiva de Hoagland y Arnonn contiene alrededor de 210 mg l^{-1} de nitrógeno, 31.9 mg l^{-1} de P, 234 mg l^{-1} de K, 200 mg l^{-1} de Ca y 64 mg l^{-1} de S. La preparación se basa en un equilibrio entre los nutrientes con los valores óptimos para el cultivo.

Según los datos registrados durante el desarrollo de las lechugas la cantidad de nutrientes disminuye, y los valores de pH y CE cambian.

Para este sistema las salidas fueron 1 bomba de agua, válvulas solenoides, se definió un tiempo máximo de encendido a que el tanque superior se llene, luego cesa el bombeo y es aperturada la electro válvula que permite la circulación de la solución nutritiva hacia los contenedores con lechugas, siguiendo su curso hasta retornar al tanque inferior colector de la solución nutritiva, este es llenado hasta un tope de nivel superior pre establecido mediante la lectura de un sensor de nivel de llenado correspondiendo ser una boya; se activa la válvula solenoide para el ingreso de agua hasta completar el nivel esperado. Del tanque inferior colector se tomaron los datos por los sensores de nitrógeno, pH, y CE. La computadora procesaba estos valores por

la lógica de programación que servían para activar las válvulas solenoides de los tanques de las soluciones stock y reguladores de pH ubicados en la parte alta, obedeciendo a los rangos pre establecidos, para mantener en el nivel adecuado a la solución nutritiva. El tiempo de espera en estos actuadores permitieron que se combinen satisfactoriamente y el sistema de control tome una decisión correcta.

Una vez definidas las funciones de pertenencia, se crearon las reglas para cada uno de los actuadores, tomando matrices de reglas para facilitar su creación y tener en cuenta todas las posibilidades. Además se presentaron las superficies de control para ver cómo reaccionará el actuador:

4.4 Rendimiento económico

Lechuga Great Lake: Densidad en contenedores 25 plantas/m^2. Pérdida estimada hasta la cosecha 10%.

Utilidad Relativa = Ingreso Total – Costo Total

Sistema de Cultivo	Utilidad S//m^2	Índice de Rentabilidad
Automatizado	1,2	9,29%
Semi Automatizado	6,1	103,39%
No automatizado (raíz flotante)	6,99	139,52%

4.5 Ergonomía

Entre las desventajas del sistema automatizado para Ucayali se mencionan al costo de las instalaciones. La ventaja es que se puede controlar todos los factores de producción desde la comodidad de una PC.

El potencial productivo de la lechuga es mucho mayor que la obtenida en el presente experimento, esto se explica por la influencia de factores climatológicos. Los principios amargos, principalmente la lactucina y la lactucopicrina de la especie *Lactuca virosa* L., presentan efectos neurosedantes (Vólák y Stodola, 1990)

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al presente experimento sobre comparativo de tres sistemas hidropónicos (sistema de control automatizado, semi automatizado y no automatizado) en el rendimiento de lechuga (*lactuca sativa*) en pucallpa, se arrivó a las siguientes conclusiones:

1.- Las plantas cultivadas en los tres sistemas hidropónicos, no difieren en peso fresco y peso seco manteniéndose estos resultados en 6 cosechas, sin embargo el sistema manual a raíz flotante (no automatizado) mantuvo una tendencia ligeramente mayor con respecto al sistema automatizado y semi automatizado.

2.- El comportamiento del peso fresco y peso seco por fecha de cosecha presentaron diferencias significativas destacando con mayor peso fresco y seco a la cosecha del 23 de Junio de 2014 seguido del 18 de marzo de 2014, luego del 28 de diciembre de 2014, 22 noviembre de 2013, 23 de setiembre de 2014 y 23 de Agosto de 2013 sucesivamente, indicando que los cultivos para cosechas de junio y marzo fueron las mejores, debido a las condiciones climáticas más favorables para el cultivo.

3.- En cuanto al índice de rentabilidad teniendo 24 lechugas por metro cuadrado, con el sistema de raíz flotante fue mayor que con el Sistema semi automatizado y automatizado sucesivamente. Las observaciones realizadas revelan la expectativa de seguir investigando en el sistema automatizado como una alternativa de producir lechuga con mayor comodidad, menor intervención de mano de obra, con la expectativa de un mayor potencial productivo y beneficio si se aplica a mayor escala, con control de ambiente más adecuada para el desarrollo y producción de lechuga..

4.- En cuanto a la automatización, el Controlador lógico Programable (PLC), que fue la base del control automatizado facilitó la programación y la puesta a prueba y la ejecución de su funcionamiento; cumplió su función de controlar el pH, CE y nutrientes de la solución nutritiva.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ALPIZAR, L. 2004. Hidroponía: Cultivo sin tierra. Ed. Tecnología de Costa Rica. Cartago. 104p.

BARBADO, J. L. 2005. Hidroponía. 1ra. Edición. Ed. Albatros. Buenos aires. Argentina. 192p.

COCHRANE, T. T. & SANCHEZ, P. (1982). Caracterización agroecológica para el desarrollo de las pasturas en suelos ácidos de América Tropical. En, J. M. Toledo Ed. 1982. Manual para la Evaluación de Pastos Tropicales. RIEPT. CIAT Cali, Colombia, 23 – 24 p.

COOPER, ALLAN. 1996. Hydroponics Nutrien Film Técnique. 171p. www. Gardenandgreenhouse.net/…/353. Hydroponics.

HOAGLAND, D. R. & ARNON D. I. 1972. Preparación de Solución Nutritiva Stock. Pp 12 – 15.

MALCA G., O. 2001. Seminario de agro Negocios. Lechugas hidropónicas. Universidad del Pacífico. Facultad de Administración y Contabilidad. Lima. 96p.)

MARULANDA, C E IZQUIERDO, J. 1997. La Huerta Hidropónica Popuar. 2da Edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago. Chile. 118p.

MARULANDA, C. 2003. Hidroponía familiar. Cultivo de esperanzas con rendimiento de paz. Universidad Gran Colombia. Seccional Armenia. 173p.

PÉREZ LEAL, FERNANDO. 1998. Hidroponía. Cultivo de Plantas con soluciones nutritivas. Universidad Nacional de Ucayali. 116p.

PÉREZ LEAL, FERNANDO. 1998. Guía de prácticas de Fisiología Vegetal.

RESH, H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos 3ª. Ed. Edit. Mundi Prensa Madrid, España. Pp 251.

RODRIGUEZ, A; CHANG, M; HOYOS, M Y FALCON, F. 2004. Manual Práctico de Hidroponía. 4ta Edición. Ed. Mekanobooks EIRL. Lima. Perú. 100p.

VOLAK,JAN & STODOLA,JIN. 1990. El gran libro de las plantas medicinales. Editorial. Susaeta. ISBN 10: 8430516182 / ISBN 13: 9788430516186.

http://www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA%201.ppt