

DISEÑO DE INVERNADERO COMO LABORATORIO VIVO (LIVING LAB) A TRAVÉS DE UN PROYECTO INTEGRADOR MULTIDISCIPLINARIO

C. I. Nevarez Burgueño¹

C. L. Guzmán González¹

W. J. Guzmán González¹

RESUMEN

Los constantes cambios del entorno actual exigen el desarrollo de conocimiento, habilidades y actitudes en los estudiantes de nivel superior, es por ello que se requiere el uso de estrategias que apoyen a la formación de los futuros profesionistas en donde se enfrenten a situaciones reales y en las que puedan actuar de manera directa en la toma de decisiones y solución de problemas. En el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos y en especial en el Instituto Tecnológico de Chihuahua se genera la inquietud de desarrollar un proyecto en el que se integren equipos multidisciplinarios de las carreras ofertadas en la institución, surgiendo así el proyecto integrador de un invernadero en el Tecnológico como laboratorio vivo en el que se desarrollen prácticas e investigaciones que impacten a las actividades del entorno. En este documento se explica la etapa del diseño del invernadero sustentado en las competencias adquiridas por los estudiantes de ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Los cambios sociales han provocado alteraciones en el sentido de lealtad, honradez y deseo de desarrollo de los trabajadores de una empresa, pese a esto la empresa demanda cada vez perfiles profesionales de mayor nivel (Vega, 2012). En el desarrollo de dichos perfiles es indudable la intervención de las instituciones educativas de nivel superior, en un estudio desarrollado por la Alianza para la Formación e Investigación en Infraestructura para el Desarrollo de México, AC (Alianza FiiDEM) en el 2013, se encuestan a empresarios y docentes de nivel superior y en parte se concluye que en la formación de ingenieros se carece de estrategias que refuercen aspectos de: cultura general, idiomas, ciencias básicas, expresión oral y escrita, uso de la tecnología, trabajo en equipo, práctica profesional, liderazgo, imagen personal y administración de proyectos. En todos estos aspectos se considera que la formación de ingenieros es un asunto básicamente de la enseñanza y que la práctica es propia de la industria, sin embargo coinciden en la importancia de las prácticas a lo largo de su formación profesional, por lo que se busca desarrollar programas o estrategias en las que el estudiante experimente de manera real la solución de problemas que lo lleven al desarrollo de competencias, capacidades y conocimientos de disciplinas afines, al mismo tiempo que se promueve la responsabilidad hacia las necesidades sociales, ecológicas y ambientales.

Por lo antes mencionado, se tiene la plena conciencia de que la educación debe ser más abierta, flexible y, sobre todo permanente, estando al mismo tiempo más vinculada a los sectores productivos.

La formación de ingenieros en el SNIT.

En el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos (SNIT) se ha asumido la tarea de actualizar los procesos, planes y programas acordes con el acontecer del mundo, lo que ha

¹ Docente del Instituto Tecnológico de Chihuahua. inevarez@itch.edu.mx, clguzman@itch.edu.mx, wjguzman@itch.edu.mx

desembocado en el actual Modelo Educativo para el siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales en el que se orienta el proceso educativo central a la formación de profesionales que impulsen la actividad productiva en cada región del país, la investigación científica, innovación tecnológica, transferencia de tecnologías, creatividad y el emprendedurismo para alcanzar un mayor desarrollo social, económico, cultural y humano.

En el modelo académico de competencias profesionales se consideran 3 pilares para el desarrollo de las mismas: el saber, que constituye los contenidos conceptuales que son el fundamento de los contenidos procedimentales, el saber hacer, donde se expresan de manera real u operativa los contenidos conceptuales y se manifiestan en acción los contenidos actitudinales y el saber ser, que son pautas habituales de actuación que se presentan en la aplicación de los contenidos conceptuales y procedimentales.

La problemática que vive el Instituto Tecnológico de Chihuahua (I.T. de Chihuahua) en cuanto a la falta de desarrollo de investigación dentro de las carreras de ingeniería, da la pauta para buscar un proyecto integrador el cual se define como una estrategia didáctica que consiste en realizar un conjunto de actividades articuladas entre sí, con un inicio, un desarrollo y un final (Rodríguez, 2012) y que a su vez es promotor de otros. Se encuentra que un invernadero cubre algunas de las carencias en este sentido y ayuda en la motivación para realizar investigación. Dentro de los factores considerados en esta decisión se encuentran el aprovechamiento de las podas y desechos vegetales de la institución para crear una composta (se tiran a la basura las hojas secas de los árboles y podas de jardines), la concientización en la clasificación de la basura, así como dar certeza a los estudiantes para que apliquen sus conocimientos en proyectos viables y de beneficio común, creando además una actitud emprendedora en ellos.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el objetivo que se persigue con éste proyecto es promover la investigación en todas las carreras de ingeniería promovidas por el seno de la academia, por medio de la creación de un laboratorio de desarrollo sustentable que involucre a los estudiantes en equipos multidisciplinarios.

Laboratorio Vivo “Living Lab”.

El concepto de Living Lab “Laboratorio Viviente” o “Laboratorio Vivo” inicia en el Massachusetts Institute Technology (MIT) por el profesor William Mitchel como una metodología de investigación para probar, validar, realizar prototipos y refinar soluciones complejas en entornos reales de vida real, donde los usuarios co-crean, experimentan y prueban nuevas ideas, productos y servicios, a través de soluciones centradas en ellos, generando procesos continuos de innovación social.

Conforme a los perfiles requeridos en cada una de las carreras en el I.T. de Chihuahua (Licenciatura en Administración, Ingeniería: Electromecánica, Eléctrica, Química, Electrónica, Industrial, Mecánica y Materiales), se considera que un invernadero puede funcionar como un Laboratorio Vivo en el que los estudiantes tienen la oportunidad de experimentar y ser los actores activos de problemáticas reales, además de presentar la oportunidad del desarrollo de investigaciones en las que se pretende entre otras cosas la

transferencia de tecnología dadas las características de la región en la que se encuentra el I.T. de Chihuahua.

Dentro de la planificación de la construcción y operación del invernadero como Laboratorio Vivo, se establece que el proyecto requiere de 5 etapas jerárquicas: diseño, gestión de recursos, construcción, operación y evaluación. En el presente escrito se aborda la etapa de diseño, la cual involucra la planeación de la estructura, selección del cultivo, sistema de riego, técnicas de cultivo y red de sensado y monitoreo. En cada una de las etapas se busca la participación activa de grupos de estudiantes en la que se consoliden los conocimientos de diversas materias.

Con la elaboración de un proyecto de ésta naturaleza surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Se logrará realizar un diseño de invernadero fundamentado en conocimientos de las ingenierías del I.T. de Chihuahua?, ¿Se logrará despertar el interés de docentes y estudiantes para trabajar de manera colaborativa?, ¿Se logrará un trabajo multidisciplinario entre los participantes?, ¿Se mantendrá la continuidad del proyecto a pesar del cambio de integrantes en los equipos?

METODOLOGÍA

Integración del equipo de docentes para la definición del proyecto.

La inquietud inicia en la asignatura de desarrollo sustentable que se imparte en las carreras del plan del enfoque basado en competencias cuando los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica buscaban un proyecto de aplicación de sus conocimientos adquiridos y orientados hacia la sustentabilidad.

Los docentes interesados integran un grupo para generar ideas que apoyen el desarrollo de un proyecto con las necesidades presentadas en las carreras. De ésta manera se concluye que el invernadero es una de las opciones viables para la integración multidisciplinaria de estudiantes.

Integración de equipos de trabajo.

Dentro de las limitaciones se identifica la falta de participación de expertos en el área de agronomía, por lo que se promueve la integración de un equipo de trabajo con el Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan (I.T. Superior de Cosamaloapan) debido a que cuenta con la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, por lo que su aportación complementa el conocimiento requerido para el desarrollo del proyecto.

Se integran 7 docentes y 30 estudiantes de diferentes áreas, quienes conforman los equipos requeridos para trabajar en cada una de las temáticas de: diseño estructural, determinación de los métodos de hidroponía a utilizar, selección del cultivo, diseño del sistema de riego, proceso de elaboración de composta y red de ensado y monitoreo.

Diseño de la estructura del invernadero.

Este equipo de trabajo pretende elegir el diseño óptimo para la construcción del invernadero logrando los mejores resultados en cuanto al ahorro de material y el funcionamiento del mismo. Se diseña la geometría de la estructura y se seleccionan los elementos que la componen considerando todos los factores descartando posibles fallas.

Los conocimientos que se aplican en este paso del desarrollo del invernadero son los adquiridos por los estudiantes en asignaturas como estática y mecánica de materiales, ya que el plan de estudios de ingeniería mecánica contempla el diseño y construcción de estructuras.

Las dimensiones del invernadero se acuerdan con base a los cálculos desarrollados con los que se obtiene minimizar el material utilizado, así como la máxima área a ocupar en el espacio disponible.

La geometría a utilizar para la parte superior del invernadero es de dos aguas, cada una conformada por dos áreas con inclinación diferente y con una ventana en la parte superior de un lado. Se llega a esta decisión porque así se facilita la construcción ya que sólo se requiere que el material sea cortado. La ventana superior permite tener ahorros en cuanto a energía ya que disminuye el uso de ventilación artificial. El soporte es por medio de triángulos para proporcionar una estructura más estable.

Se realizan visitas a invernaderos de la región, los cuales han funcionado durante más de 7 años, para obtener una idea de cómo están construidos y comparar la similitud de los resultados de los cálculos con la realidad. También se recaba información acerca de las problemáticas presentadas en la operación y mantenimiento de éstos invernaderos.

Finalmente se recurre a distintas fuentes bibliográficas (Hibbeler, 2006) (Hibbeler R. , 2004) y a conocimientos previamente adquiridos para concluir en el diseño estructural mostrado en la Figura 1.

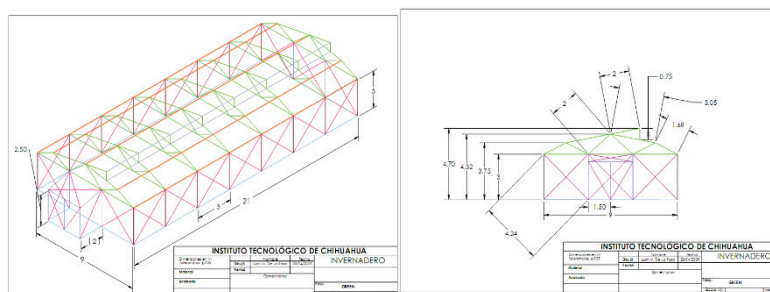


Figura 1. Diseño de la estructura del invernadero

Respecto a la aplicación de los materiales de cubierta para invernadero se encuentra que la selección y la aplicación de éstos depende de muchos factores entre ellos: la cantidad de luz para la planta, humedad del lugar, plagas potenciales, entre otros.

El método para hacer la selección de material resulta en un proyecto casi en su totalidad empírico aunque se cuenta con asesoría de expertos en invernaderos para una adecuada selección del material. Lo interesante en esta parte del proyecto es que existe cabida a la interpretación personal de los problemas a enfrentar así como a la selección de los componentes, debido a que hay una extensa rama de polímeros con aplicaciones diversas, por lo tanto puede variar de una persona a otra con justificaciones válidas en cada caso.

Se hace una investigación de los factores de la región que pudieran afectar el manejo y mantenimiento de la cubierta como lo son los niveles de radiación ultravioleta en la ciudad, la temperatura máxima, el tipo de estructura a utilizar, velocidad de los vientos y los posibles productos fitosanitarios que se utilizarán en la producción.

También se consideran otros aspectos para seleccionar la cubierta de plástico como: peso, densidad, espesor, resistencia a la rotura, envejecimiento, transmitancia y recomendaciones empíricas dadas por las personas que administran los invernaderos visitados (R. Koningsvels, 2001) (Edwards, 2001).

Métodos de hidroponía a utilizar.

De acuerdo al enfoque de laboratorio vivo para el desarrollo de investigación se busca contar con diferentes técnicas de cultivo que sean acordes al espacio disponible, además de experimentar condiciones que presentan diferentes variables en un mismo proceso.

Las técnicas que se adecuan al espacio con el que se cuenta son sistemas hidropónicos en agua y sistemas hidropónicos en sustrato (Ruiz, 1997).

Sistemas Hidropónicos en Agua.

Son sistemas hidropónicos por excelencia; las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Entre los sistemas más importantes y conocidos están sistema de raíz flotante y sistema NTF (Ceballos, 1999) (Eduardo, 2011).

Sistemas Hidropónicos en Sustratos.

En estos sistemas las raíces crecen y se desarrollan en sustratos; los sustratos pueden ser inerte o de composta. En el sustrato inerte la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato humedeciendo las raíces. Los más conocidos son: Sustrato de arena de río y sustrato de composta inorgánica (Ruíz, 1997) (Eduardo, 2001).

Selección del cultivo.

Las posibilidades que genera el cultivo hidropónico permiten establecer la diferencia del cultivo en invernadero convencional, el procedimiento utilizado permitirá comparar los resultados obtenidos usando diferentes métodos de cultivo bajo condiciones de laboratorio similares.

Puesto que el propósito del proyecto es pedagógico, se prevé un comienzo accidentado durante las primeras prácticas, bajo estas circunstancias un ciclo de producción corto permitiría reiniciar la siembra y cosecha sin mediar grandes intervalos de tiempo que entorpezcan el aprendizaje y la producción del invernadero como tal.

El proyecto pretende involucrar a todas las diversas especialidades del I.T. de Chihuahua en cada aspecto del mismo, desde el diseño y construcción del invernadero con todo lo que esto conlleva, como diseño de la nave en sí misma, tuberías, tanques, bombas, control, etc. Hasta el manejo de la producción y calidad del producto, así como el comercio del producto final.

Con el objetivo de alcanzar todas las metas propuestas por el proyecto para los estudiantes, se ha elegido la plantación de lechugas debido a que es una hortaliza de ciclo corto que

comercialmente permite cosechas bianuales (Friederichsen, 1998). Esto es importante debido a la necesidad de hacer coincidir las fechas de siembra y cosecha con los ciclos escolares, para mantener el cultivo vigilado adecuadamente, tanto por alumnos como por maestros.

Teniendo en mente todo lo anterior, la lechuga es un óptimo objeto de estudio, debido a la relativa facilidad de su cultivo y a las ventajas que ofrece su ciclo de producción para un ambiente académico (Monge, Chaves, & Arias, 2011) (Carreño, 2011).

Sistema de riego.

El sistema de riego además de ser parte determinante para obtener cultivos en buenas condiciones se puede utilizar como lugar de experimentación en el laboratorio vivo, ya que el riego se controla con distintas soluciones para la hidroponía; para esto, se experimenta con distintas cantidades de sales y minerales, con las que se sabe que asimila mejor la planta para su crecimiento óptimo; claro está, observando otras variables como el clima actual, temperatura, ambiente, etc. (Monge, Chaves, & Arias, 2011).

El sistema de riego tiene como objetivo mandar el flujo controlado para cada uno de los tipos de alimentación, así como el sistema de distribución del mismo; esto se refiere a tuberías, codos, mangueras, emisores, bombas, tanques de almacenamiento y válvulas de paso. Además de mencionar que el tipo de riego que se usa es por goteo; este sistema de riego en invernaderos se utiliza para localizar el agua al pie de cada planta. Tiene como ventaja el ahorro de grandes cantidades de agua y además mantiene un nivel de humedad constante en el suelo sin provocar charcos y estancamientos de agua.

En esta parte del proyecto se involucran los conocimientos de la mecánica de fluidos para llevar desde el estudio del fluido hasta la selección del equipo y accesorios de un sistema hidráulico (Victor, 2011).

La distribución del plantío de lechuga se basa en la maximización de la producción con respecto al espacio disponible, así como la utilización de la menor cantidad de elementos posibles para el sistema de riego. Se concluye en el diseño la distribución por medio de filas estimando una producción de 1000 lechugas en todo el invernadero.

El cuarto de almacenamiento y el cuarto de bombas se encuentran en el mismo lugar. El cuarto tiene una medida de 9 m^2 , el cual contendrá 2 tinacos de 1,100 litros y 3 recipientes de 100 litros cada uno.

El sistema de riego por goteo involucra elementos claves como son los “emisores” y los “espaguetis”. Estos elementos riegan gota por gota, actuando como reguladores de flujo, precisos, para que humidifiquen la planta solo lo necesario. Además de que el sistema se clava en el pie de la planta, mojando la tierra cercana a la raíz. La cantidad de agua necesaria para regar cada lechuga son 250 ml cada 10 o 15 min. La red de tuberías y mangueras se diseña con tubos de PVC de color oscuro de diferentes medidas con el fin de prevenir la formación de lama.

Red de sensado y monitoreo.

Un invernadero conlleva un cuidado más exhaustivo y minucioso por la naturaleza propia de acelerar el proceso de crecimiento de las plantas en su interior, las distintas variables a controlar como la humedad y la luminosidad, sin embargo, para el presente caso de estudio solo se va a tratar con las variables temperatura y humedad. Lo anterior es con el propósito de monitorear la temperatura ambiental del invernadero del I.T. de Chihuahua haciendo uso de una red de sensores digitales, para lograr tal objetivo es necesario el uso de dispositivos digitales y electrónicos, tales como microcontroladores PIC, sensores digitales programables.

En la Figura 2 se ilustra la arquitectura usada para el diseño de la red de sensores, en la cual un conjunto de sensores de temperatura y humedad son ubicados dentro del área de monitoreo perteneciente a cada nodo maestro en el interior del invernadero. Dichos sensores se comunican a través del protocolo Red 1-Wire el cual permite una comunicación serial asincrónica entre un maestro y uno o varios dispositivos esclavos, por medio de un único terminal de E/S de datos. Posteriormente los nodos sensores realizan una comunicación inalámbrica con el centro de gestión de la red a través del protocolo XBee, finalmente este elemento es conectado a una interfaz de usuario a través del protocolo USB la cual presenta los resultados del monitoreo de los sensores en un lenguaje comprensible por el usuario.

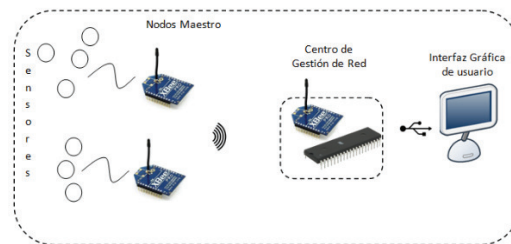


Figura 2. Arquitectura de la red de sensores

Impacto de actividades en la formación de ingenieros.

Buscando medir el impacto que se tiene en el desarrollo de las actividades del diseño del invernadero en la formación de 24 de los 30 estudiantes que participan en el proyecto se aplica la encuesta mostrada en la Figura 3.



ENCUESTA DE SALIDA DISEÑO DE INVERNADERO

Favor de marcar o completar la respuesta que considere acorde a su participación en el diseño del invernadero del I.T. Chihuahua

- ¿Durante cuánto tiempo participó en el diseño del invernadero?
Más de 1 año Entre 6 meses y 1 año Menos de 6 meses
- ¿Qué actividades desarrolló en el proyecto?
- ¿Tuvo libertad de tomar decisiones en las propuestas realizadas en el proyecto?
Siempre Nunca En ocasiones
- En las actividades que desarrolló, ¿qué porcentaje de los conocimientos adquiridos en clase considera que fueron aplicados en el proyecto?
100 – 90% 90 – 80% 80 – 70% 70 – 60% Menos del 60%
- ¿Fue necesario investigar aspectos adicionales para concluir las actividades?
Sí No
- Al interactuar con estudiantes de diferentes carreras, ¿qué habilidades considera que desarrolló?
Integración Responsabilidad Pertenencia Tolerancia Liderazgo
- ¿En la organización del equipo de trabajo tuvo la oportunidad de dirigir alguna de las actividades?
Siempre Nunca En ocasiones
- ¿Considera importante la instalación de un invernadero en el ITCH aunque no se cuente con una carrera en el área de agronomía?, ¿Por qué?
Sí No Por qué
- ¿Considera que la dinámica de presentación del reporte de actividades propició el intercambio de ideas y el reforzamiento de sus habilidades?
Totalmente Suficiente Poco Nada

Figura 3. Encuesta aplicada

En los resultados de las respuestas se puede comentar que el 86% participó de manera activa por más de un año, el 10% entre 6 meses y 1 año y el 4% menos de 6 meses, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Tiempo de participación en el proyecto

El 93% de los participantes considera que tuvo la suficiente libertad para tomar decisiones en las actividades y propuestas planteadas y solo el 7% considera que fue ocasional, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Toma de decisiones

De acuerdo a la cantidad de conocimientos aplicados, el 67% de la muestra considera que aplicó entre el 90 y 80% de lo aprendido en clase, el 23% entre el 80 y 70%, el 7% entre el 70 y 60%, el 3% menos del 60% y ninguno considero aplicar entre el 100 y 90%, como se muestra en la Figura 6.

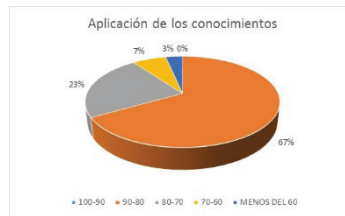


Figura 6. Aplicación de conocimientos

34% de los encuestados consideran haber desarrollado la habilidad de liderazgo, 21% tolerancia, 18% integración, 15% responsabilidad y 12% pertenencia, como se puede observar en la Figura 7.



Figura 7. Habilidades desarrolladas

Conforme a la Figura 8, el 77% considera que siempre tuvo la oportunidad de dirigir alguna actividad referente al proyecto y 23% que fue de manera ocasional, como se puede observar en la Figura 8.



Figura 8. Dirección de actividades

El 80% considera que la dinámica y exigencias solicitadas para la presentación del reporte de las actividades aportó de manera suficiente para propiciar el intercambio de ideas y reforzamiento de habilidades, el 17% que contribuyó totalmente y el 3% que fue poco, como se puede observar en la Figura 9.



Figura 9. Presentación del reporte de actividades

El 100% consideran importante el instalar un invernadero en el I. T. de Chihuahua aunque no se cuente con una carrera de agronomía o a fin debido a que se considera trascendental el impacto ambiental que puede tener, así como la integración y aportación de todas las carreras del instituto. Además consideran que fue necesario investigar y adquirir nuevos conocimientos para completar las actividades encomendadas.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo del diseño del invernadero se hizo evidente la falta de integrantes expertos en el área de cultivos, debido a que en el I. T. de Chihuahua se carece de carreras con ese enfoque y aunque se estableció el trabajo colaborativo con docentes y estudiantes del I.T. Superior de Cosamaloapan, la distancia representó un obstáculo para el intercambio directo de ideas, aun cuando se contó con la interacción vía internet. Para la evaluación y discusión del proyecto se realizó una visita a dicho tecnológico donde se expusieron y retroalimentaron los proyectos de ambas instituciones.

Otro de los resultados obtenidos fue el involucramiento de 7 docentes y 30 estudiantes, siendo 1 de Ingeniería en Materiales, 1 de Licenciatura en Administración, 2 de Ingeniería Industrial, 4 de Ingeniería Eléctrica, 3 de Ingeniería Electrónica, 7 de Ingeniería Mecánica, 7 de Ingeniería Química y 5 de Ingeniería Electromecánica quienes estuvieron trabajando en el proyecto durante más de 1 año, y de los cuales 3 docentes y 15 estudiantes fueron becarios de diferentes programas de DGEST.

Con base a los resultados obtenidos en la encuesta se observa que los estudiantes tienen el interés por participar en un proyecto de aplicación de los conocimientos aún y cuando el trabajo requerido supere en tiempo o conocimiento las exigencias de las materias del plan de estudios, se fomentaron las actividades de investigación, iniciativa, liderazgo, trabajo en equipo y toma de decisiones.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

Conforme a las preguntas planteadas se puede concluir que se logró obtener un diseño para un invernadero el cual cumple con los requisitos establecidos para los mismos, además que se soporta en los cálculos realizados con base en la aplicación de conocimientos logrando así despertar el interés de docentes y estudiantes en un proyecto colaborativo y multidisciplinario.

La continuidad del proyecto se vio afectada cuando alguno de los integrantes egresó de la institución abandonado el proyecto por intereses personales, lo que representó un retraso mientras se lograba completar nuevamente el equipo.

Hasta el estado del proyecto en esta etapa se está plenamente consciente que en la construcción podrían identificarse errores del diseño, lo que obliga a continuar en constante investigación para evaluación y re direccionamiento del proyecto.

Se visualizan futuros “spin off” porque se puede asegurar que nacerán proyectos como extensión de éste en el laboratorio vivo, entre los que se pueden mencionar la logística y cadena de suministros alrededor del invernadero, mercadotecnia de productos hidropónicos, desarrollo de experimentos, análisis estadísticos de datos, automatización y rediseño de

procesos, mejora continua, monitoreo y control de variables, control de calidad, evaluación de proyectos, transferencia de tecnología, energías renovables, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Carreño, D. (2011). Lechugas al agua. *Reforma (Mexico City, Mexico : 1993)* , 1563-7697.

Ceballos, Y. (1999). Hidroponia: Cultivan sin tierra. *Reforma (Mexico City, Mexico:1993)* , 1563-7697.

Eduardo, V. (2001). Desarrollan la hidroponia. *Reforma (Mexico City, Mexico : 1993)* , 1563-7697.

Edwards, M. D. (2001). *The theory of polymer dynamics*. New York: Oxford University Press.

Friederichsen, B. (1998). El cultivo hidropónico de lechuga: una experiencia pedagógica creativa. *Reforma* .

Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales*. Pearson Educación.

Hibbeler, R. (2004). *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*. México: Prentice Hall. .
R. Koningsvels, W. H. (2001). *Polymer phase diagrams*. New York: Oxford University Press.

Ruiz, G. S. (1997). *Hidroponia básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra*. México: Editorial Diana.