

## Diseño de un cultivo vertical semi-automatizado para implementación en espacios cerrados y/o pequeños

### [ Design of a semi-automated vertical crop for implementation in enclosed spaces and/or small ]

*González Morales Sergio, Z. Reyes Martínez Sury, D. Rodríguez Torres Axel, E. Rodríguez Contla Manuel, and Castillo Quiroz Gregorio*

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior, Huauchinango, Puebla, Mexico

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The cultivation systems have evolved since the implementation of greenhouses, giving way to vertical cultivation, this represents a solution for the production of both horticultural and ornamental plants in limited spaces, which means a better use of resources, we speak of economic as materials. The design of a system for semi-automated vertical cultivation is proposed using a control with the Arduino® development board, also implementing a rainwater harvesting system and taking advantage of solar energy. For the CAD design of the prototype, the SolidWorks® software commonly used for the design and analysis of 3D drawings is used, for the electronic part the control PCBs were developed in the Proteus® software, to ensure that the materials implemented in the system design are effective and adequate, the simulation of static charges on some materials of the system structure is presented, thus achieving an increase in the number of green areas for growing plants for self-consumption in areas where the climatic conditions are not entirely favorable or the space and time limit the optimal development of crops, obtaining low-cost plant food products that are also free of chemicals that are harmful to health.

**KEYWORDS:** Wall, vegetables, production, system, optimization.

**RESUMEN:** Los sistemas de cultivo han evolucionado desde la implementación de los invernaderos, dando paso al cultivo vertical, este representa una solución para la producción de plantas tanto hortícolas como ornamentales en espacios limitados, lo que significa un mejor aprovechamiento de recursos, hablamos de económicos como materiales. Se propone el diseño de un sistema para cultivo vertical semi-automatizado utilizando un control con la tarjeta de desarrollo Arduino®, implementando además un sistema de captación de agua pluvial y aprovechando la energía solar. Para el diseño CAD del prototipo se usa el software SolidWorks® comúnmente utilizado para el diseño y análisis de dibujos 3D, para la parte electrónica se desarrollaron las PCB de control en el software Proteus®, para asegurar que los materiales implementados en el diseño del sistema son efectivos y adecuados se presenta la simulación de cargas estáticas sobre algunos materiales de la estructura del sistema, logrando así el incremento en el número de áreas verdes para cultivo de plantas de autoconsumo en zonas donde las condiciones climáticas no son del todo favorables o el espacio y tiempo limitan el óptimo desarrollo de los cultivos, obteniendo productos alimenticios vegetales de bajo costo y además libres de químicos nocivos para la salud.

**PALABRAS-CLAVE:** pared, vegetales, producción, sistema, optimización.

## 1 INTRODUCCIÓN

Con respecto al estado actual del campo mexicano se han desarrollado proyectos tecnológicos para el uso adecuado de los recursos naturales. Algunas aportaciones tecnológicas como la implementación de invernaderos, permiten obtener alimentos naturales de forma óptima.

Tiempo después se implementaron los invernaderos automatizados, logrando una mayor producción por metro cuadrado. Por otro lado, estos presentan algunos inconvenientes, por ejemplo, el costo de los repuestos es relativamente alto, al igual que el costo de la energía eléctrica, además de un exceso de agua en los sistemas de riego [4].

El cultivo vertical, mejor conocido como hidroponía, permite cultivar plantas del tipo herbáceo en un medio libre de suelo con estructuras simples, aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos o invernaderos climatizados [6]. De esta forma surgen los Módulos para Huertas Urbanas Verticales (MHUV), donde se pueden cultivar alimentos libres de químicos, regados con agua potable y 100% orgánicos [3].

Según la secretaria del medio ambiente, las áreas verdes en las grandes ciudades de México son escasas, producto de la urbanización [7]. En Puebla, la dotación de áreas verdes es limitada, debido a la incapacidad del municipio para incidir en la planeación y ordenamiento de su propio territorio [11]. Y debido al estilo de vida un tanto limitado, la falta de tiempo y superficie, imposibilita a las personas de las grandes ciudades tener un área para cultivo de plantas.

Se propone el diseño de una estructura vertical destinada al cultivo de plantas; donde no será necesario tener una gran superficie. Consiste en diferentes niveles donde en cada uno habrá diferentes tipos de plantas. Un requisito para el cultivo apropiado de estas plantas es la medición y el control de las variables ambientales en los sitios de producción [2].

Se implementará un sistema de control con la tarjeta de desarrollo Arduino®, para controlar un sistema de riego mecanizado que asegura un control preciso en el uso del agua [5].

Tendrá un sistema de captación de agua pluvial, destinada al sistema de riego controlado electrónicamente, optimizando así los recursos naturales a base de los fenómenos climáticos [9].

Para alimentar los circuitos electrónicos se usa la tecnología fotovoltaica, ya que con ella se puede transformar directamente la luz solar en electricidad limpia y renovable [10].

De esta forma se pueden producir alimentos naturales en zonas urbanas y comunidades donde el cultivo resulte una tarea difícil, debido a las condiciones en las que se encuentren. Además de optimizar los recursos del sistema y la contribución con el medio ambiente.

## 2 MATERIAL Y MÉTODOS

Para el diseño del prototipo se desarrolló la metodología indicada en la Fig. 1, basada en el desarrollo de productos descrito por Ulrich, quien describe el procedimiento para la adecuada definición de los conceptos y la posterior selección de la solución óptima entre todas las opciones [1]. Se debe analizar cada una de las etapas del proyecto para realmente responder a las necesidades planteadas [8].

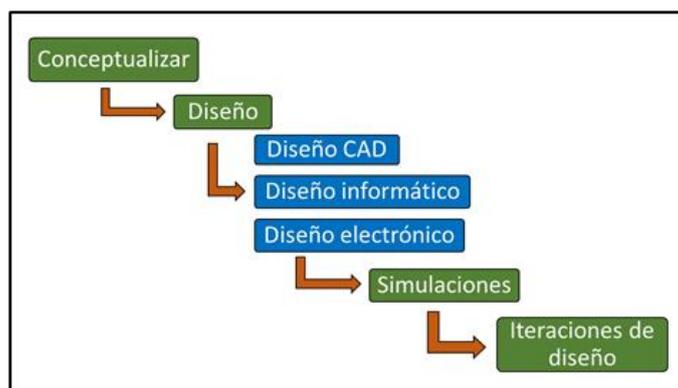
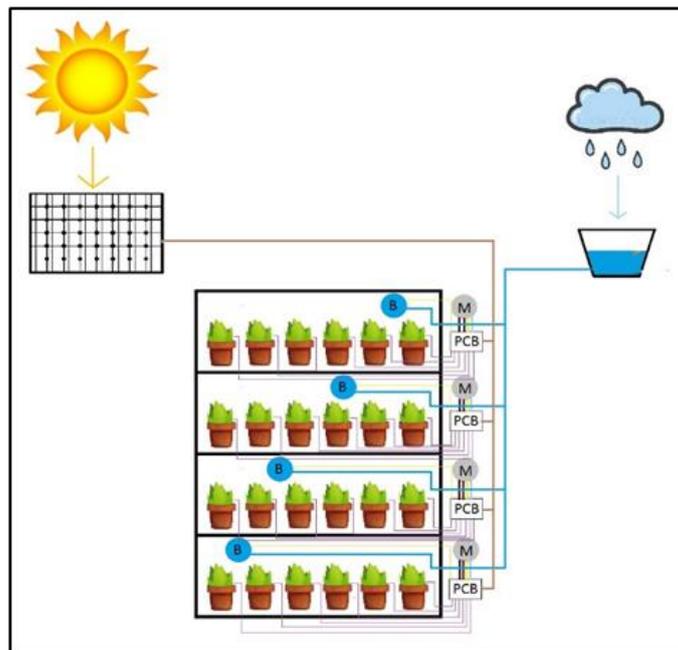


Fig. 1. Metodología propuesta

El diseño está dividido en tres partes: CAD consiste en el diseño de los elementos que componen al prototipo y sus sistemas mecánicos. Electrónico consiste el diseño de las PCB de control. El diseño informático consiste en la programación del funcionamiento general. Para comprobar que los sistemas cumplen con los objetivos propuestos se simuló el funcionamiento, y para detectar algún error relevante y realizar los ajustes necesarios al diseño.

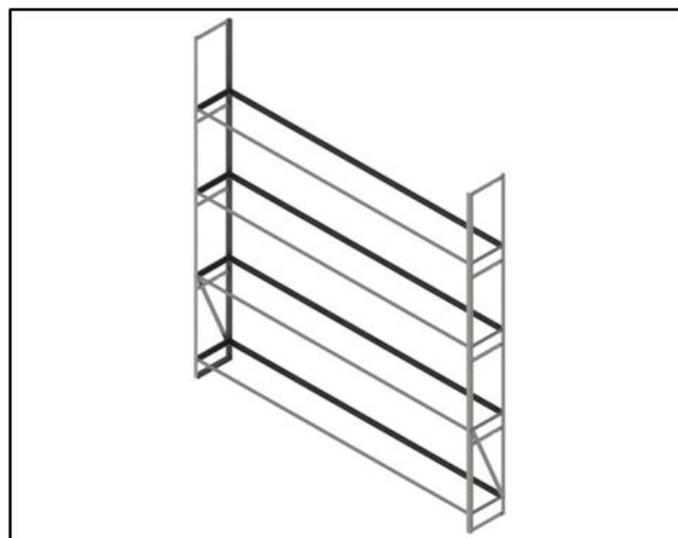


**Fig. 2. Funcionamiento propuesto**

El prototipo en la Fig. 2 consiste en una estructura vertical con 4 niveles donde se colocan macetas y plantas, que por medio de mecanismos desplaza una bomba de agua para Arduino® por todo el nivel, el control es por las PCB y un botón interruptor, el consumo eléctrico y el sistema de riego es abastecido por el captador de agua y el panel fotovoltaico colocados en una posición estratégica.

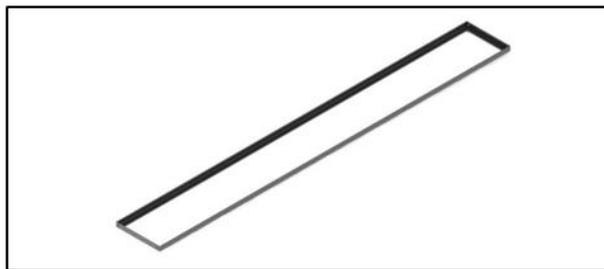
### 2.1 DISEÑO CAD

Para el diseño se empleó el software SolidWorks®. La Fig. 3 muestra el diseño de la estructura vertical que contempla los cuatro niveles requeridos.



**Fig. 3. Estructura general del prototipo**

Está diseñada con ángulo en acero de 3/4 de pulgada calibre 11, se usó un total de 4 piezas de 6 metros y 1 pieza de solera de acero de 3/4, al final la estructura se fijó en todas sus uniones con tornillos de 3/4 de pulgada.



**Fig. 4. Estantes para macetas**

En los estantes de la fig. 4 se pueden colocar 8 macetas del número 8 en línea, se requiere un estante por nivel. Las barras verticales soportan toda la estructura, el tirante en la en los costados evita que la estructura tenga un movimiento angular. Los soportes en solera debajo de los estantes permiten colocar los rieles y las poleas donde se desplazará las bombas.

El diseño del sistema de riego se compone de 2 elementos para hidratar todas las plantas.

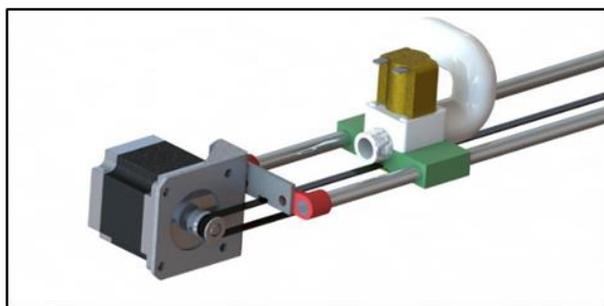
#### **2.1.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN**



**Fig. 5. Sistema de captación**

El sistema de la Fig. 5 contempla un contenedor de 100 litros. Para evitar el ingreso y bloqueo en el flujo del agua se colocaron 2 filtros, el primero es un cono de malla en acero inoxidable que evita el ingreso de hojas o rocas haciendo que estos caigan a los costados y para asegurar una mejor calidad de agua se coloca un filtro de agua.

#### **2.1.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE BOMBAS**



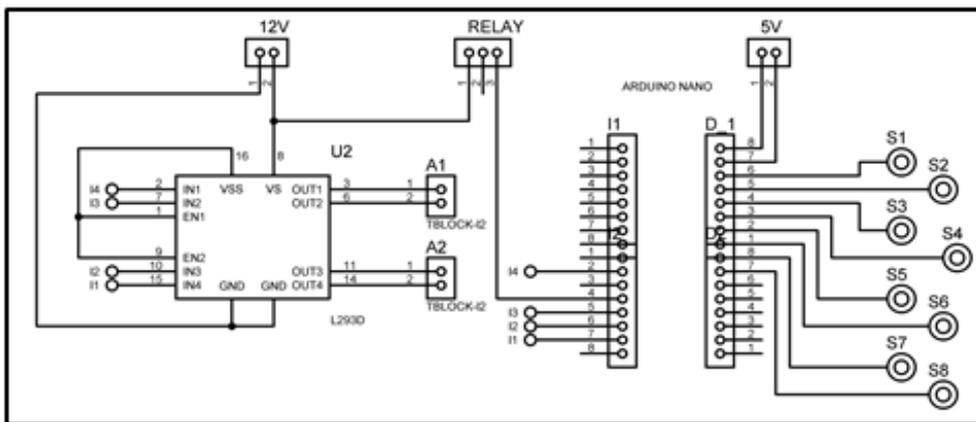
**Fig. 6. Sistema de posicionamiento**

Para desplazar la bomba se usa un riel de dos tubos en aluminio de 3/8, adheridos con un soporte diseñado en material de impresión PLA.

La Fig. 6 muestra el sistema que, por medio de un sistema de poleas con banda, a base de un motor Nema 17, permite desplazar la bomba por todo el nivel en el que se trabaje, es decir se requiere de un sistema de posicionamiento por cada nivel de la estructura.

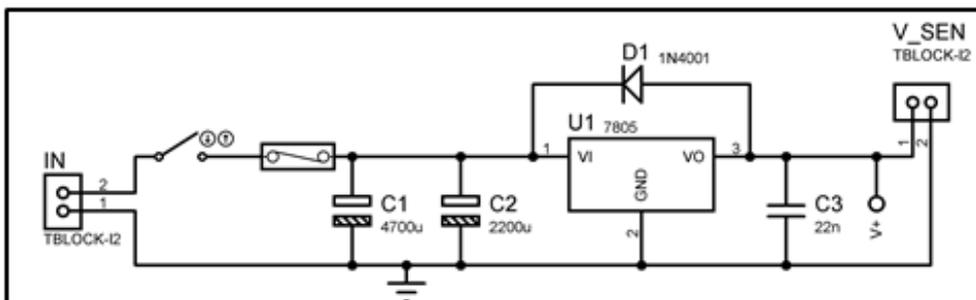
**2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO**

El control se concentra en 4 tarjetas PCB, una por nivel donde cada una puede operar en respuesta de las lecturas en los sensores, de esta manera se puede obtener un funcionamiento autónomo en el sistema de riego de las plantas a base de circuitos electrónicos. Estas tarjetas se diseñaron en el software de Proteus®.



*Fig. 7. Control de motores y sensores*

En la Fig. 7 se muestra un control de motores con un sistema de puente H con el circuito integrado L293D, manipulado con la tarjeta de desarrollo Arduino®. El control es regido por las lecturas de los sensores de humedad colocados en cada masetta, aquí también se encuentra el control de apertura en las bombas por medio de un relay.



*Fig. 8. Fuentes alimentación*

Los circuitos son alimentados con la fuente de voltaje en la Fig. 8. Esta fuente mantiene alimentados todos los sensores del sistema y cada una de las tarjetas de desarrollo. SU función es regular los 12 voltios del panel solar, ya que los sensores y la tarjeta Arduino® operan con 5 voltios.

### 2.3 DISEÑO INFORMÁTICO

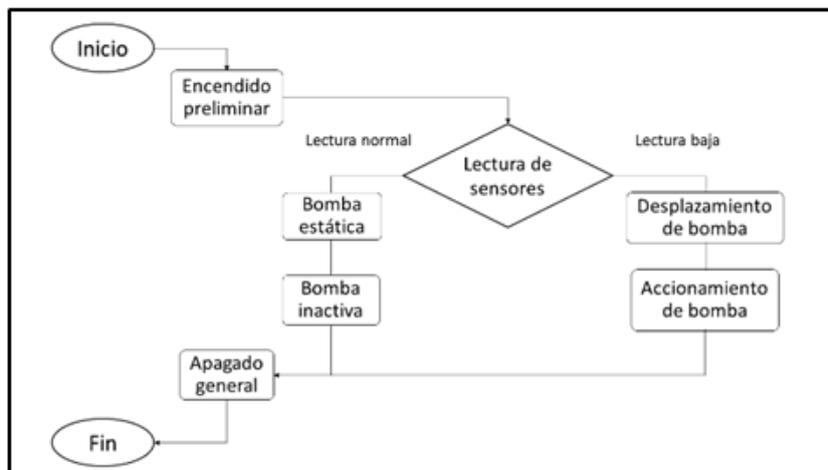


Fig. 9. Diagrama de flujo

En funcionamiento en la Fig. 9 consiste en un encendido preliminar donde los motores que desplazan la bomba se ajustan a sus posiciones iniciales, y esperan instrucciones. El proceso de riego se rige por las lecturas de los sensores, si estas son bajas, los motores desplazan la bomba hasta posicionarla sobre la planta en cuestión posterior a esto se activa el relay lo que apertura la bomba permitiendo el flujo de agua, si estas lecturas son normales el sistema permanece inactivo, pasando a un apagado general.

### 3 RESULTADOS

El prototipo en la Fig. 10 es un sistema de cultivo vertical basado en un sistema de hidroponía, donde por medio del sistema de captación que suministra agua limpia al sistema de riego y el sistema de energía fotovoltaico que alimenta los circuitos electrónicos para el sistema de posicionamiento de bombas, se pueden cultivar 32 plantas de vegetales. Esta estructura posee dimensiones de 1.5 metros de largo 0.2 de ancho y 1.3 de altura. En un determinado lapso de tiempo se requiere supervisión debido a que no se contempla un sistema de fertilizante, por lo que se deben fertilizar las plantas de manera directa.

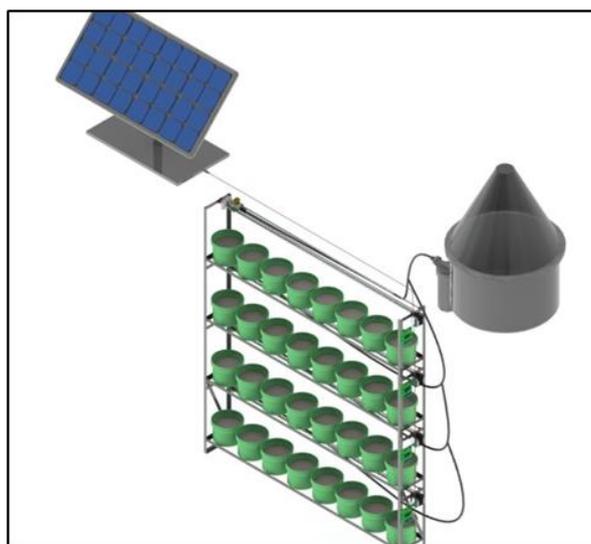
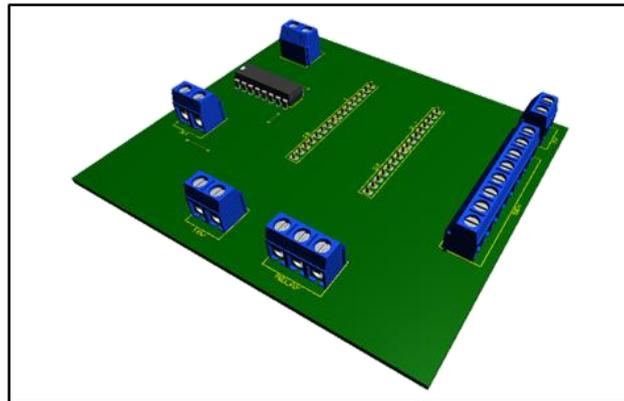


Fig. 10. Prototipo final

Las plantas que se recomiendan para cultivar son: acelgas, betabel, champiñones, cilantro, espinacas, lechuga, rábano, repollo, tomates o zanahorias; se consideran estos vegetales debido a que son fáciles de plantar, el espacio en las macetas es el adecuado además de que la luz del día no es indispensable para su crecimiento, por lo que se pueden cultivar bajo la sombra,

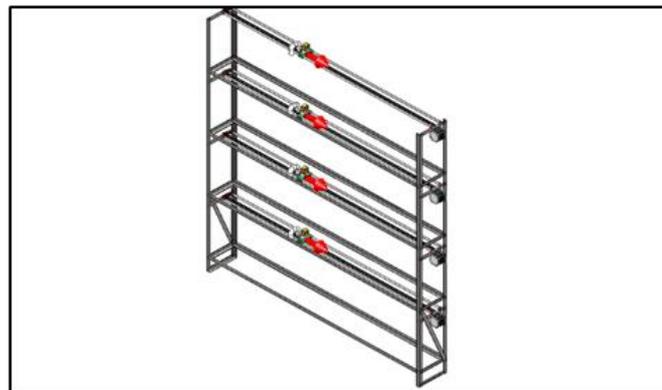
todo esto sin mencionar los múltiples nutrientes que aportan, y según a la revista Medical News Today son alimentos que mejoran la salud en el organismo, previniendo enfermedades crónicas.



**Fig. 11. PCB de control**

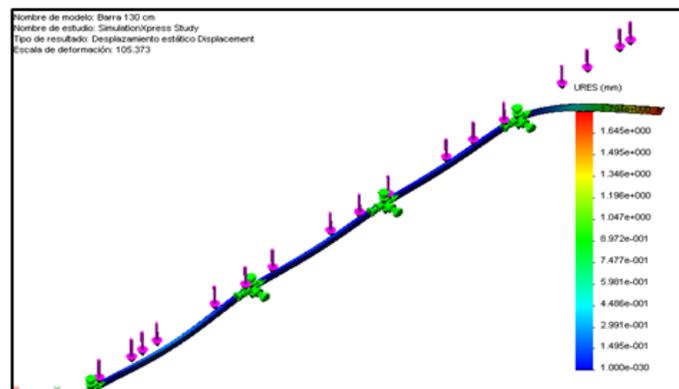
La Fig. 11 muestra la PCB para el control de cada nivel de la estructura, donde el Arduino nano se encargará de evaluar las lecturas en los sensores de cada maceta, para manipular el sistema de puente H en los motores que posicionan las bombas de agua electrónicas e indicar el accionamiento de estas.

Para asegurar el funcionamiento del sistema de riego se simuló el sistema de desplazamiento para las bombas de agua en SolidWorks donde también se simularon las cargas que soportara la estructura de esta manera se puede ofrecer una mejor efectividad para su implementación.



**Fig. 12. Simulaciones del posicionamiento de bombas**

En las simulaciones de la Fig. 12 se observó que el sistema de poleas con el motor Nema 17 permite desplazar las bombas sobre su riel sin que algún objeto obstaculice su trayecto hasta llegar a la maceta con la planta que necesita hidratación.



**Fig. 13. Simulaciones de cargas**

En la Fig. 13 se muestran las simulaciones de carga para asegurar la resistencia en los materiales. Se observa que la deformación más notable en la barra de soporte vertical se obtiene cuando se aplica una carga de 2000 Newton por centímetro cuadrado, sin embargo, el peso máximo que podría estar cargando es de 1000 Newton distribuidos en 4 soportes.

Estas simulaciones se desarrollaron no solo para comprobar su funcionalidad, sino también para resaltar el beneficio obtenido a partir de la implementación de este sistema, concentrando este análisis en la de costo beneficio.

**Tabla 1. Costo beneficio del prototipo**

Concepto	Costo	Beneficio	Total
Implementación del control electrónico con energía fotovoltaica	\$1,900.00	7% de ahorro en comparación con la alimentación de la red de energía pública.	\$114.19
Uso del sistema de captación de agua	\$600.00	Disminución de un 6% en el costo por el uso de la red pública.	\$38.00
Implementación del sistema de posicionamiento de bombas	\$3,512.00	Optimización de un 30% del costo en el número de bombas de riego usadas por metro cuadrado en los sistemas convencionales	\$1,032.00
Uso de estructuras en acero de bajo carbono	\$773.38	Reducción de un 25% en comparación con los sistemas construidos a partir de materiales de aluminio.	\$190.00
Costo del prototipo	\$6,785.38	Beneficio obtenido	\$1,374.19

Estos valores se estimaron en un periodo de 2 meses en comparación de sistemas comerciales como el Hydro Environment NTF V.6, el cual usa materiales con aleaciones en aluminio, que en cierto momento pueden deformarse, en este sistema solo se pueden producir 20 plantas y requiere de conexión a la red de energía pública además de que depende de la toma de agua para su sistema de riego. Sin mencionar que su precio y dimensiones son ligeramente superiores en comparación al prototipo diseñado.

#### 4 CONCLUSIONES

Se diseñó una estructura dotada de sistemas mecánicos para cultivar plantas hortícolas u ornamentales en un entorno limitado. El sistema de riego solo requiere de una bomba por nivel, aunque no se requiere de la toma pública de agua para hidratar las plantas, ni se requiere de conexión a la red pública de energía eléctrica. El análisis mecánico demostró que la estructura puede soportar su peso estimado en 93 kilogramos incluyendo las plantas y la tierra de estas. De esta manera se contribuye con una solución viable para la producción económica de alimentos naturales 100% saludables en zonas donde las condiciones del espacio o de la tierra no son aptas para el cultivo de las mismas, contribuyendo también con la expansión de áreas naturales en poblaciones urbanizadas para mejorar la calidad ambiental.

**REFERENCIAS**

- [1] K. T. Ulrich, S. D. Epingler, R. V. Madrigal Álvarez. (2004). *Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario*. México. McGraw-Hill.
- [2] Marco V. Gutiérrez, Kenneth Jiménez. (31 de Octubre 2006). Crecimiento de nueve especies de palmas ornamentales cultivadas bajo un gradiente de sombra. *Agronomía Costarricense*, 31, 9-19.
- [3] Fritz Hammerling Navas Navarro; Luz Mila Peña Torres. (Diciembre 2012). Los diseños verticales y la agricultura unidos para la producción de alimentos en los Módulos para Huertas Urbanas Verticales. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3, 73-84.
- [4] Néstor O. Méndez Clará. (27 de Febrero 2015). Invernaderos automatizados para el desarrollo de la agricultura familiar en el Marco de la Seguridad Alimentaria. *Revista Tecnológica*, 6, 11-16.
- [5] Humberto Cabrera G. Segovia Fuentes J. (30 de abril 2015). Prototipo de control de riego tenificado aplicando la tecnología arduino. *ALTOANDIN*, 17, 95-102.
- [6] José Beltrano; Daniel O. Gimenez. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Argentina: Universidad de la plata.
- [7] Subsecretaría de Recursos Naturales. (2015). Red de Parques y Bosques Urbanos. 6 de octubre 2020, de Secretaría de Medio Ambiente Sitio web: <https://www.sema.gob.mx/SRNCON-REDPARQUES-INDEX.html>.
- [8] J. A. G. Ramírez (2016) Una metodología para la creación de personajes desde el diseño de concepto. *Iconofacto*, 12 (18), 96-117.
- [9] Calli, M. C., Coaquira, E. V., & Calsín, J. J. E. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18 (3), 365-373.
- [10] Johnny Jara Ramos Jhon Smith Ramos Carbajal (2018) *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica (tesis de grado)*. Universidad Nacional del Altiplano. Perú.
- [11] Emma Regina Morales; García de Alba. (2 de Mayo 2019). Planeación urbana municipal, áreas verdes y propiedad privada en Puebla, México. *CUADERNOS DE VIVIENDA Y URBANISMO*, 2, 252-276.