**OPTIMIZACIÓN DEL CULTIVO DE ESPÁRRAGO CON UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**

Universidad Alas Peruanas UAP

Sebastián J. Albornoz Chávez \* - Ing. Oscar Núñez Mori [[1]](#footnote-1)

**Resumen**

El presente artículo muestra un estudio enfocado en el Espárrago Verde y su posible implementación en los meses de baja productividad en la zona de Huaral, Perú. También se destacan las características climáticas, el genotipo utilizado, el proceso de trasplante, así como la automatización de un Invernadero, con componentes electrónicos económicos y de gran performance.

**Palabras Clave:** Espárrago, cultivo, Invernadero, componentes electrónicos.

**OPTIMIZATION OF THE CULTURE OF SPARRAGUS WITH AN AUTOMATED GREENHOUSE**

**Abstract**

This article is focused on studying Green Sparragus and its possible implementation in months of low productivity in fields of Huaral, Peru. It also highlights the weather features, the genotype used, the Transplantation Process and also the Automation process of a Greenhouse with electronic components of low cost and excellent performance.

**Key words:** Sparragus, Cultivate, Greenhouse, electronic components.

1. **INTRODUCCIÓN**

Un invernadero es un sistema que nos va permitir conseguir condiciones climáticas óptimas, puesto que se trata de un entorno cerrado. La ventaja de elaborar el presente invernadero es que protege y controla el cultivo, del clima que varía en función del tiempo [12].

El cultivo bajo invernadero permite obtener producciones de calidad y mayores rendimientos en cualquier momento del año, a la vez que alarga el ciclo de cultivo producido en las épocas del año más difíciles, obteniéndose mejores precios. Otra ventaja es que el tiempo de producción se acelera (precocidad) [10] [9].

En la actualidad, el Perú es el primer país exportador de espárragos del mundo, primer exportador de esparrago fresco, segundo exportador de espárrago en conservas y segundo productor mundial, pues cuenta con unas 32,000 Hectáreas de cultivo. Siendo los departamentos que tienen mayor producción La Libertad, Ica, Ancash y Lima [17] [8] [16].

En el Perú, la producción de espárrago se incrementa notoriamente en algunos meses del año y, en otros, decae debido al cambio del clima (bajas temperaturas), afectando tanto la productividad como la calidad [4].

Debido a la problemática de la temperatura en la producción de espárragos, en el presente trabajo, nos dedicaremos a controlar dichos parámetros para poder tener una excelente productividad y calidad durante los meses de Junio, Julio y Agosto. El lugar que hemos elegido para implementar nuestro proyecto será Huaral, por contar con las mejores condiciones climatológicas [5] [15].

Utilizaremos el PIC 18F452, sensores (temperatura y humedad), motores, etc., para poder controlar la temperatura y humedad; este diseño se basará en un elemento sensitivo de temperatura, el cual detectará las condiciones externas de clima y, de acuerdo al clima interno del invernadero, medido con otro sensor de temperatura, se accionarán diferentes actuadores.

Finalmente, usaremos el software Microchip TCP/IP Stack para que nuestro proyecto tenga acceso a Internet y, de esa manera, monitorearlo [14] [3].

1. **MARCO TEÓRICO**

El origen del espárrago se remonta a Egipto (3000 a.c.), que aparece en sus monumentos en forma de pintura.

Luego, fue muy valorado por los griegos, pero serían los romanos quienes introdujeron este cultivo en Europa septentrional [20].

Como observamos en la Figura 1, en Huaral, la producción de espárrago se incrementa notoriamente a partir de agosto / septiembre hasta marzo / abril, disminuyendo de manera notoria en los meses restantes debido a las bajas temperaturas. Se ha determinado que durante los meses de Enero a Abril, la productividad en campo es abundante pero de baja calidad, por lo tanto, el porcentaje de descarte es superior a otros meses del año; mientras que entre junio / agosto, la productividad y calidad es nula debido a que nos encontramos en estación invernal (bajas temperaturas); entre octubre y diciembre, la productividad y la calidad son superiores a los periodos anteriores [4].



**Figura 1: Productividad y calidad del espárrago durante el año en el Perú (Huaral) [4].**



**Tabla 1: Cantidad de nutriente absorbido y extraído, expresado en kg de nutriente por tonelada del espárrago [21].**

Como observamos en la Tabla 1, el espárrago absorbe una serie de elementos químicos para tener un desarrollo óptimo (absorción), pero cuando se le extrae del suelo pierde una determinada cantidad de nutrientes (extracción) [21].

Por otro lado, el espárrago es muy nutritivo, pues [8]: Contiene fibra, vitamina B y C, No contiene colesterol, es bajo en calorías, es el vegetal con mayor contenido de glutationuno, de los más importantes combatientes del cáncer (Instituto Nacional del Cáncer EE.UU); adicionalmente es Rico en Ácido fólico. En nuestro invernadero automatizado, utilizaremos el germoplasma UC157 para la siembra (se usa en espárrago blanco y verde); este mismo se usa en los valles de Ica y Trujillo [19].

****

**Figura 2: Tipos de espárragos: blanco y verde [7].**

**4.1 Tipos de Espárragos**

Como vemos en la Figura 2, actualmente existen 2 tipos de espárrago (blanco y verde) que son sembrados por todo el Perú. Tanto el espárrago blanco como el verde proceden de la misma planta. La diferencia que existe es que el blanco crece por debajo de la tierra y el verde en el exterior (debido al contacto con el sol adquiere ese color). Otra diferencia es que el blanco contiene más agua y presenta una textura más suave, frente al verde, más sabroso. Además, desde el punto de vista nutricional, los espárragos verdes son más ricos en minerales y en vitaminas. Al momento de la cosecha, el espárrago blanco demora más, pues se tiene que escarbar y también se corre el riesgo de que se quiebre; mientras que el verde sólo se corta, pues se encuentra en la superficie [18].

**4.2 Temperatura y Humedad**

La temperatura y humedad son las dos variables que tendremos en cuenta al momento de implementar nuestro invernadero, vale decir, que cuando la temperatura del aire aumenta disminuye la humedad relativa, es decir, son inversamente proporcionales [2].

La temperatura controla las tasas de reacciones metabólicas (fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc.) que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta; estos procesos hacen que la temperatura sea el principal factor de crecimiento [13] [9].

El contenido de vapor de agua en el aire (Humedad Relativa) afecta directamente al proceso de transpiración, salida de vapor de agua de la planta a través de las células estomáticas; este proceso de apertura de estomas da lugar a una presión de succión transmitida a las raíces, donde se absorben el agua y los elementos minerales disueltos, y su transporte, a la vez que este movimiento, actúa como regulador de la temperatura de la planta [13].

Existe un índice de temperatura-humedad: índice T-H, el cual también es conocido como índice de incomodidad, y expresa con un valor numérico, la relación entre la temperatura y la humedad como medida de la comodidad o de la incomodidad [14]. El índice T-H; se puede calcular con la fórmula siguiente [14]:

**T-H = [(Ts + Th) \* 0.72] + 40**

Donde:

**Ts** = es la temperatura medida en un lugar seco.

En nuestro caso será la temperatura exterior o afuera del invernadero.

**Th** = es la temperatura medida en un lugar húmedo, que para nuestro caso sería una temperatura mínima dentro del invernadero.

**0.72 y 40** son constantes preestablecidas.

En el caso específico de este diseño en este invernadero, las plantas que contiene germinarán con un índice **T-H entre valores de 66 a 74.**

**4.3 Condiciones Climatológicas**

El clima ideal para el cultivo del espárrago está [5]:

Entre los 20 y 24ºC; la temperatura máxima es de 30°C y la mínima 15°C. Se desarrollan mejor con una humedad ambiental del 50 a 60%. Tiene una mejor evolución en altitudes que oscilan entre los1,000 a 1,800 msnm. Necesita estar en contacto con la luz solar (durante 12 horas en el día).

Los cultivos requieren una cierta amplitud o variación diaria de temperatura para que su comportamiento fisiológico sea normal. La diferencia mínima entre las temperaturas medias del día y de la noche, es alrededor de 5 a 7ºC.

El clima del lugar donde se montará este diseño, Lima (Huaral), es cálido tropical y mantiene una temperatura promedio de 21.97° C en el día, y 17° C por la noche. Está a 2,095.5 metros sobre el nivel del mar y la humedad es de 80% aproximadamente [15].

Huaral cuenta también con 110 hectáreas para el cultivo del espárrago [1]. La cantidad de plantas por hectárea en el Perú oscila entre 30,000 a 33,000 y el rendimiento en el Perú es de 10 Tn/Ha [11] [5]. Lo que buscaremos en el presente invernadero automatizado es mantener la temperatura entre los 21 y 24° C y una humedad relativa que oscile entre el 50 y 60%, sólo durante los meses de junio hasta agosto, para así reducir el consumo de energía; para ello, contaremos con equipos electrónicos [5].

**4.4 Proceso de trasplante**

Como el tiempo que permanecerá el almácigo de espárrago en el invernadero será de 3 meses, desde junio hasta agosto (para producir plántulas de tamaño adecuado para trasplantarla), pasados los tres meses, se realizará el proceso de trasplante para que cumpla su ciclo de desarrollo. Durante dicha operación, la cantidad de agua que la planta está en condiciones de absorber es menor que la que transpira; como resultado, tiene lugar una deficiencia hídrica dentro de los tejidos. Por ello, el momento del trasplante se debe realizar en un clima fresco, nublado o cuando el sol no caliente mucho, y no exponer las raíces a la acción re- secadora del aire [6] [11].

La metodología de trasplante es la siguiente [6]:

* Aproximadamente unos 15 días antes del trasplante se deben realizar las siguientes operaciones:
* Reducción de los riegos.
* Permitir una máxima insolación durante el día.
* Proteger levemente el cultivo en la noche.
* Regar abundantemente el almácigo de uno a dos días antes de efectuar el trasplante para facilitar la operación de arranque de los plantines.
* Realizar el arranque de los plantines con cuidado para evitar la ruptura de raíces.
* Seleccionar plantines por tamaño y eliminar aquellos que cuenten con problemas patógenos.
* Llevar los plantines del almácigo al lugar definitivo, en cajones, con tierra húmeda en el fondo y bolsas arpilleras húmedas en los costados y en la cobertura, con la finalidad de evitar la deshidratación de los plantines.
* No es recomendable cortar parte de las hojas antes del trasplante porque se favorece la entrada de patógenos.
* El operario trasplantador toma el plantín por el extremo de la raíz y lo introduce en la tierra en posición normal.
* Pasados entre 7 a 10 días del trasplante, será necesario realizar la reposición de fallas. No conviene que pase mucho tiempo para que no haya diferencia entre las plantas.

1. **TRABAJOS RELACIONADOS**

Los trabajos que a continuación presentamos fueron de gran ayuda en la elaboración de este artículo y son los siguientes:

* **Diseño para el control automático de temperatura y humedad en un invernadero de plantas ornamentales a través de un módulo programable** [14]. De este proyecto de tesis, nos han servido la descripción de sus equipos para la implementación, gráficos y el índice T-H.
* **Sistema de control automático de temperatura y ventilación de un Invernadero** [2].

Este proyecto de tesis nos ha ayudado en decir que tanto la temperatura y humedad son inversamente proporcionales.

* **Avances en el control de los factores del clima para el cultivo en invernadero** [13].

Este trabajo de tesis nos ha permitido comprender las reacciones metabólicas de las plantas cuando son sometidas a diferentes temperaturas y humedades.

* **Desarrollo de un sistema para la adquisición de datos climáticos en un invernadero utilizando LabView** [12]. Nos ha dado a saber cuál va a ser la estructura en la que se montará el proyecto, como también datos sobre el clima del invernadero que beneficiará a los espárragos.
* **Control Climático en Invernaderos** [10]. Nos dejó conocer más de los invernaderos y la ventaja de producir durante todo el año.



**Figura 3: Esquema General del Proceso de Cultivo del Espárrago con Invernadero**

1. **Invernadero Automatizado para Espárragos Verdes**

En este proyecto, elegimos el espárrago pues es una hortaliza que tiene mucha demanda en el mundo, y como el Perú es uno de los principales productores, decidimos implementar un invernadero automatizado para darle aplicabilidad a nuestro trabajo. El lugar donde se dará ejecución al proyecto será Huaral, pues cuenta con las mejores condiciones climatológicas para la producción de espárragos.

Una visión pictográfica de nuestro proyecto se aprecia en la Figura 3, donde se contempla en las fases 1, 2 y 3 la inserción progresiva de semillas de Espárrago Verde. En estas fases se prepara adecuadamente el suelo para nuestra siembra artificial dentro del invernadero; en la fase 4 se aprecia el crecimiento del cultivo hasta aproximadamente 3 meses; en la fase 5 se procede al trasplante de los plantones de Espárrago Verde en el terreno escogido. Finalmente, la Fase 6 es la fase de Selección, embasado, almacenaje y distribución del Producto Espárrago Verde.

El Invernadero diagramado en la Figura 4 comenzará a funcionar cuando sus actuadores se activen, desde las 6 am hasta las 6 pm, con la finalidad de tener una temperatura interior que oscile entre los 21 y 24° C, una humedad relativa que varíe entre un 50 y 60%, que serán medidos por una termocupla tipo T y un higrómetro, respectivamente.

En la Figura 4 se aprecian también los sistemas de iluminación, Calefacción y Monitoreo remoto, que pasaremos a detallar brevemente a continuación:



**Figura 4: Diagrama de flujo del invernadero automatizado.**

* **Sistema de Iluminación Artificial**: Primero se activarán 4 lámparas (2 en cada nivel), si no se llega a alcanzar los valores deseados después de 4 minutos, se encenderán las siguientes 4 lámparas (2 más en cada nivel), y si después de 4 minutos más no alcanza el valor de 21 grados, pasaremos a la siguiente fase.
* **Sistema de Calefacción**: Si no se alcanza los valores deseados después de haber expuesto los almácigos de espárrago durante 8 minutos a la iluminación artificial, pasaremos a activar los sistemas de calefacción, estabilizando la temperatura y humedad entre los valores ya mencionados en la propuesta.
* **Sistema de Monitoreo Remoto vía Web**: Después de obtener los valores, pasaremos a interfazar los datos obtenidos (temperatura y humedad). Toda esta información va ser enviada al módulo programable y allí, a través del software Microchip TCP/IP Stack, asignaremos una dirección IP a nuestro PIC y enviaremos los datos a la web mediante un modem; de esa manera monitorearemos los datos cuando nos encontremos en cualquier lugar que tenga acceso a Internet.

1. **Implementación del Invernadero**

En la implementación, contemplaremos el dimensionamiento del invernadero y los equipos de Hardware, programas de Software e insumos para su implementación.



**Figura 5: Invernadero con techo plano simétrico a dos aguas [9]**

**Dimensionamiento y productividad del invernadero**

Como observamos en la Figura 5, el diseño del invernadero tendrá 5 metros de ancho, 20 metros de largo y 4.5 metros de alto, lo que hace una superficie de 100m2. El invernadero contará con dos niveles, cada uno de ellos tendrá 2 metros de altura, para así optimizarlo. Se dejará una espacio libre en el centro del invernadero para el recorrido de las personas, de 0.6 metros de ancho por 20 metros de largo, lo cual tendrá un área de 12m2, y los restantes 88m2 se destinarán a la siembra del espárrago. En dicha superficie, cada espárrago crecerá en un área de 100 cm2, 10 cm. de ancho por 10 cm. de largo. En total se sembrarían 17,600 plantas de espárrago dentro del invernadero y cuando se realice el trasplante ocupará 0.55 Ha de cultivo [14] [9].

1. **Resultados Esperados y Conclusiones**

El resultado esperado es que optimizaremos el 25% del tiempo de producción de espárragos al año, pues junio julio y agosto representan la cuarta parte del año en la que la producción de espárragos es prácticamente nula. Detalles financieros que demuestran que este tipo de proyecto será rentable, se aprecian en las referencias [7], [6] y [11]. Adicionalmente a ello, en la Tabla 2, se aprecia un análisis Costo-Beneficio para la producción de una hectárea de espárrago en Huaral.

Finalmente, a la fecha de edición del presente artículo, nos encontramos en la fase de diseño electrónico y fabricación de las estructuras del invernadero en la ciudad de Lima, que serían transportadas a la ciudad de Huaral a fines del mes de mayo para su implantación in situ el mes de junio del próximo año.



**Tabla 2: Análisis costo-beneficio para la producción de una hectárea de espárrago en Huaral [7]**

1. **Agradecimientos**

* A Beatriz E. Chávez Almirón y a Juan B. Albornoz Bendezú por creer en este proyecto desde sus inicios, brindándonos su confianza y apoyo financiero en la realización de este artículo.
* A Andrés Virgilio Asas Díaz, Ing., MSc. Decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, especialista peruano en Espárragos; su valiosa experiencia se pone de manifiesto en los primeros capítulos del presente artículo.
* A Félix Edmundo Calderón Carrasco, Ing. Docente de la Universidad Alas Peruanas, por su valioso apoyo en la etapa del diseño electrónico.

1. **Referencias**

* [1] Julie Teves Aguirre. Plan estratégico regional exportador (perx) de Lima provincias. 2009.
* [2] Rodolfo Agustinho. Sistema de control automático de temperatura y ventilación de un invernadero. 2000.
* [3] Ariel Jacinto Coria Andrés Raúl Bruño Saravia. Mplab x y técnicas de programación con librerías de microchip. 2011.
* [4] Segundo Agustín Vergara Cobian. El espárrago peruano, señor del mundo. 2005.
* [5] Gobierno Colombiano. Espárrago. 2008.
* [6] Facultad de Ciencias Agropecuarias. Taller de prácticas agrícolas. 2009.
* [7] Área de Desarrollo. Cultivo del espárrago. 2007.
* [8] Alejandra Díaz. Taller regional sobre la situación y perspectivas de las bpa en el sur 2010.
* [9] FAO. Control del medio ambiente. 2010.
* [10] <http://www.infoagro.com/industriaauxiliar/> control climático. Control climático en invernaderos. 2004.
* [11] <http://www.walkerplants.com/commercial/spanish.htm>. Un cultivo alternativo para los agricultores.
* [12] Saúl Vásquez López. Desarrollo de un sistema para la adquisición de datos climáticos en un invernadero utilizando labview. 2008.
* [13] D. Roca P. F. Martínez. Avances en el control de los factores del clima para el cultivo en invernadero. 2002.
* [14] Carlos Roberto Perez. Diseño para el control automático de temperatura y humedad en un invernadero de plantas ornamentales a través de un módulo programable. 2006.
* [15] Gobierno Peruano. Distancias y altitudes de ciudades. 2010.
* [16] Gobierno Peruano. Estados unidos lidera los mercados de destino. 2011.
* [17] Alejandra Díaz Rodríguez. El ejemplo del espárrago peruano. 2004.
* [18] Olatz Ruiz. El espárrago sale de la lata. 2011.
* [19] Juan Carlos Díaz Salazar. El horticultor. 2009.
* [20] Productos Agri-Nova Science. El cultivo del espárrago verde. 2004.
* [21] Ignacio A. Ciampitti y Fernando O. García. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de micronutrientes y nutrientes secundarios. 2009.

1. \*Sebastián es tesista de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones - EAPIET, de la Universidad Alas Peruanas - UAP. Lima-Perú.

   (e-mail: sebastian.juan.albornoz@gmail.com).

   Oscar es Profesor Investigador en: Universidad Alas

   Peruanas -UAP, Universidad Tecnológica del Perú - UTP,

   Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP. Lima-Perú.

   (e-mail: [oscar.nunez.mori@gmail.com](mailto:oscar.nunez.mori@gmail.com)). [↑](#footnote-ref-1)