



Los Cultivos Sin Suelo, otra manera de producir comida

Fecha de recepción del artículo: 7 de Mayo de 2016

Cultivating without soil,
another way to produce food

Article receipt's date: May 7th 2016



SENA Regional Santander
Red de Conocimiento: Agrícola
Centro Agroturístico - San Gil
Grupo de Investigación: GITIP-ME
Tecnoparque Nodo Socorro



Ricardo A. Lesmes Vesga

Ing. Agrónomo, M.Sc. Ciencias Agrarias, Dinamizador Tecnoparque Nodo Socorro

Los Cultivos Sin Suelo, otra manera de producir comida

Introducción

Desde la segunda mitad del siglo XX la expectativa de vida en el ser humano aumentó más de diez años en promedio gracias al acelerado desarrollo tecnológico que ha venido logrando la humanidad a lo largo de su historia; este fenómeno contribuyó directamente con el crecimiento de la población mundial a un ritmo casi exponencial. Según cálculos de las Naciones Unidas la población mundial pasó de 250 millones de personas en el año 1 d.C. a 1000 millones en el año 1800 d.C., es decir, tuvieron que pasar 1800 años para que esta aumentara en 750 millones de habitantes. Sin embargo, desde la década de 1960, cada 15 años la población mundial ha venido aumentando 1000 millones de personas en promedio (Kremer, 1993; US Census, 2013; UN Projections, 2013).

Una de las consecuencias de dicho crecimiento poblacional es la ampliación de la frontera agrícola, con efectos negativos tales como la deforestación, el desplazamiento de especies animales y vegetales nativas y la sobreexplotación de recursos naturales en ecosistemas frágiles. Desde el punto de vista ecológico, un cultivo agrícola es un ecosistema disturbado en donde generalmente prevalece una sola especie, como es el caso de los monocultivos. Es decir, donde hoy se encuentra establecido un cultivo muy probablemente hubo un bosque que en un momento dado el hombre destruyó.

Cultivating without soil, another way to produce food

Introduction

Since the second half of the 20th century the average life expectancy of humans has increased more than ten years, thanks to the accelerated technological development that has followed humanity throughout its history; this phenomenon has directly contributed to the growth of the world population at an almost exponential rate. According to calculations by the United Nations Population Fund (UNFPA) the world population increased from 250 million people in the year 1 A.D. to 1000 million in the year 1800 A.D., that's to say it took only 1800 years for the population to increase by 750 million. Contrasting this, since the 1960s, the world population has increased by 1000 million on average every 15 years.

One consequence of this growth is the expansion of agriculture's border with the natural world, resulting in negative side effects such as deforestation, the displacement of native plant and animal species and overexploitation of natural resources in fragile ecosystems. From the ecological point of view, an agricultural crop comes from a disturbed ecosystem of only one plant species, as in the case of monocultures.

Therefore, one of the underlying concerns of the agriculture sector is how to feed such a huge and still growing amount of people without causing a significant negative environmental impact. Some



Por lo tanto, una de las inquietudes que subyace para el sector rural ante tal escenario es ¿cómo podremos alimentar a tan enorme y creciente cantidad de personas sin generar impactos significativos en el medio ambiente? Considero que parte de la respuesta está en el desarrollo de sistemas productivos agrícolas más eficientes y sustentables.

Comprendiendo el papel esencial del suelo

Se sabe que las plantas terrestres, grupo al cual pertenece la mayoría de especies vegetales cultivadas por el hombre, se desarrollan en el suelo, mal llamada “tierra”. Incluso, para el común de la gente es impensable producir cultivos agrícolas en un medio diferente al suelo. Ahora bien, ¿qué es el suelo? Según la Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), el suelo es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 1999). Pero, ¿es el suelo el único medio en el que es posible producir cultivos agrícolas? La respuesta es: No.

believe that part of the answer lies in the development of more effective and sustainable agricultural production practices.

Understanding the essential role of soil

It is known that terrestrial plants, the group most cultivated by man, are grown in the soil, which is sometimes misnamed “earth.” For ordinary people it is unthinkable to produce crops in something other than soil. Now, what is soil? According to the Soil Taxonomy of the United States Department of Agriculture (USDA) soil is a three-dimensional natural body that occurs on the land surface and has the ability to support rooted plants in a natural environment. But is soil the only possible medium to produce crops? The answer is: No.

Basically, soil is the solid medium containing what is technically known as “the soil solution” where water and essential nutrients are available for plant development. Therefore the plants do not “eat dirt” but are sustained by the dissolved nutrients in the soil pore space.

The latter was demonstrated in 1648 by the Belgian Chemist Jan Baptist van Helmont through a simple experiment of putting a cutting of a weeping willow (*Salix alba*) in a 5 pound container with 200 pounds of soil, covered to avoid contamination from dust. After 5 years of regular watering with rain water the willow cutting gained 164 pounds while the soil only lost 2 oz

Básicamente, el suelo es el medio sólido que contiene lo que se conoce técnicamente como “la solución del suelo”, donde se encuentran el agua y los nutrientes esenciales disponibles para el desarrollo de las plantas. Por lo tanto, las plantas no “comen tierra” sino que se sustentan de los nutrientes que están disueltos en los espacios porosos del suelo.

Esto último fue demostrado por el belga Jan Baptist van Helmont en 1648 a través de un sencillo experimento al sembrar un esqueje de sauce llorón (*Salix alba*), de 5 libras de peso, en un contenedor con 200 libras de suelo cubierto para mantenerlo aislado del polvo. Después de 5 años de riego regular con agua lluvia el esqueje de sauce ganó 164 libras de peso mientras que el suelo sólo perdió 2 onzas (Sánchez, 2004).

Hablando de nutrición vegetal...

Adicional al hecho que el suelo per se no es consumido por las plantas, también la cantidad de nutrientes esenciales consumidos por estas es mínima. Esto explica, por citar un ejemplo, por qué una planta adulta de café (*Coffea arabica* L.) puede producir anualmente un promedio de 5 kilogramos de “café cereza”, sin contar el desarrollo de otros órganos, sólo habiendo recibido aproximadamente 250 gramos de fertilizante. ¿De dónde obtuvo la planta todos los demás kilogramos de biomasa para este caso? Primordialmente de su actividad fotosintética, aportados por el agua y el dióxido de carbono disponibles en la atmósfera. De los 118 elementos químicos registrados, a la fecha se han identificado 17 como elementos esenciales para las plantas, de los cuales, en promedio el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O) conforman el 96% de la materia seca de los tejidos vegetales, mientras que el

Speaking of plant nutrition...

To further the fact that the soil is not consumed by the plant per se, and that the amount of essential nutrients consumed is minimal. This explains why an adult coffee plant (*Coffea arabica* spp.) can produce an average of 5 kilograms of coffee beans, not counting the growth of the plant itself, but only receive about 250 grams of fertilizer. Where did the plant get the other kilograms of biomass? The answer is primarily from photosynthetic activity, provided by water, carbon dioxide available in the atmosphere and the sun.

Of the 118 chemical elements registered to date, 17 elements are essential to plants. Of which, on average, carbon (C), hydrogen (H) and oxygen (O) make up 96% of plant tissue dry matter, while the other four percent is comprised of the remaining 14 elements (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, B, Ni, Cl, and Mn) which are responsible for the physical processes of the plant.

From this perspective, it is possible to think of developing innovative agricultural production systems to provide the amount of essential nutrients from a different source than soil to establish and nurture various crops



otro 4% lo componen los 14 elementos esenciales restantes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, B, Ni, Cl, Mo y Mn) que se encargan de mediar procesos fisiológicos en la planta (Taiz y Zeiger, 2002).

Desde esta perspectiva, es posible pensar en innovar y desarrollar sistemas de producción agrícola que provean la cantidad de nutrientes esenciales de una manera diferente del suelo y más dosificada para el establecimiento y nutrición de las plantas cultivadas.

Speaking of plant nutrition...

Los CSS son sistemas de producción agrícola en los cuales se pueden cultivar plantas fuera de su medio natural (el suelo) proveyéndoles agua y nutrientes minerales en un ambiente radicular provisto de suficiente oxígeno, ya sea agua o un sustrato sólido. Los CSS pueden clasificarse genéricamente en: cultivos hidropónicos y cultivos en sustrato (Urrestarazu, 2004).

Etimológicamente, el término hidroponía viene de las palabras griegas hydro = agua y ponos = trabajo, por lo cual se consideran como cultivos hidropónicos a aquellos CSS en los cuales las plantas se desarrollan en agua con nutrientes disueltos o en sustratos químicamente inertes provistos de soluciones nutritivas (Abad, 1995). En la clasificación de los cultivos hidropónicos se destacan a nivel comercial las técnicas de:

- Aeroponía, en la cual el sistema radical de las plantas recibe periódicamente aspersiones de agua rica en nutrientes (Zobel et al., 1976) (Imágenes 1 y 2).

Speaking of plant nutrition...

SC are agricultural production systems in which plants are grown outside of their natural environment (soil) by providing water, nutrients and minerals in either water or a solid substrate. SCs are can be classified as either hydroponic crops or substrate crops.

Etymologically the word hydroponics comes from the Greek words hydro=water and ponos=work. Hydroponics is where the plant grows in water with dissolved nutrients. The commercial hydroponics are ranked by techniques:

Aeroponics: in which the root system of a plant periodically receives a nutrient-rich water spray (Images 1 and 2)



Imagen 1. Planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) en sistema experimental de aeroponía. Centro de Investigación Ben-Gurion (Desierto de Neguev, Israel). Fuente: Ricardo Lesmes, 2012.

Image 1. Tomato plant (*Solanum lycopersicum*) in an experimental aeroponic system. Research Center Ben-Gurion. (Neguev Desert, Israel). Source: Ricardo Lesmes, 2012



Imagen 2. Plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas bajo sistema de aeroponía para producción de semilla certificada. Centro Internacional de la papa (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014

Image 2. Potato plants (*Solanum tuberosum* L.) grown under aeroponic systems for the production of certified seed. International Potato Center (Lima, Peru). Source: Ricardo Lesmes, 2014

- Sistema de raíz flotante, en donde las raíces de las plantas están sumergidas en agua con fertilizantes disueltos y reciben oxígeno por medio de equipos de aireación (Salas, 2001) (Imágenes 3, 4 y 5).

Floating root system, where the root systems of the plants are submerged in water with dissolved fertilizer and receive oxygen through aeration (Images 3, 4 & 5)



Imagen 3. Planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) en sistema experimental de raíz flotante. Centro de Investigación Ben-Gurion (Desierto de Neguev, Israel). Fuente: Ricardo Lesmes, 2012



Image 3. Tomato plant (*Solanum lycopersicum*) in an experimental floating root system. Research Center Ben-Gurion (Neguev Desert, Israel). Source: Ricardo Lesmes, 2012



Imagen 4. Plantas de apio (*Apium graveolens*) establecidas en módulo demostrativo de sistema de raíz flotante con materiales reutilizados. Universidad Agraria La Molina (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

Image 4. Celery plants (*Apium graveolens*) a demonstrative floating root system with recycled materials. Agraria La Molina University (Lima, Peru). Source: Ricardo Lesmes, 2014



Imagen 5. Cultivo comercial de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa hidropónica bajo el sistema de raíz flotante (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

Image 5. Commercial cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) smooth variety. Hydroponics are under the floating root system. (Lima, Peru) Source: Ricardo Lesmes, 2014

- Técnica de lámina de nutriente (NFT, por sus siglas en inglés) en la cual el agua con nutrientes circula hidratando parcialmente las raíces de las plantas (Carrasco, 1996) (Imágenes 6, 7 y 8).

Nutrient film technique (NFT) a technique where plant roots are in nutrient rich circulating water (Images 6, 7, and 8)





Imagen 6. Plántulas hidropónicas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa recientemente transplantadas en módulo demostrativo de sistema NFT (Nutrient Film Technique). Universidad Agraria La Molina (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

Image 6. Hydroponic lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) smooth variety. A demonstrational NFT module of recently transplanted seedlings. Agraria La Molina University (Lima, Peru). Source: Ricardo Lesmes, 2014



Imagen 7. Cultivo comercial de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa hidropónica bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014

Image 7. Commercial cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) smooth variety. Hydroponics under the NFT system (Lima, Peru) Source: Ricardo Lesmes, 2014



Imagen 8. Cultivo comercial de fresa (*Fragaria x ananassa*) hidropónica bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) en condiciones de alta evapotranspiración en a comienzos de la temporada de verano (Huelva, España). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

- Cultivos en sustratos inertes, los cuales ofrecen básicamente el sostén mecánico para las plantas. Entre estos se encuentran la lana de roca, la arena y la perlita (Papadopoulos et. al., 2008) (Imagen 9).

Image 8. Commercial cultivation of strawberries (*Fragaria ananassa*) hydroponics under the NFT system in high evaporation conditions of the summer season (Huelva, Spain). Source: Ricardo Lesmes, 2014

Crops in inert substrates, which basically offer the mechanical support for plants. These inert substrates can be insulation, sand and perlite (Image 9)



Imagen 9. Producción de acelga en sustrato (arena lavada de río) con riego localizado (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014

Image 9. Production of chard irrigated in river sand substrate (Lima, Peru) Source Ricardo Lesmes, 2014

Por otra parte, los cultivos en sustrato son aquellos CSS en los cuales las plantas se desarrollan en medios sólidos con materiales orgánicos o inorgánicos químicamente activos (presentan capacidad de intercambio catiónico – CIC). Dentro de los cultivos en sustrato se destacan materiales como la fibra de coco, la cascarilla de arroz, la turba y la zeolita, entre otros (Imagen 10), donde sobresalen características fisicoquímicas tales como: CIC, pH, salinidad, porosidad, capacidad de aireación, agua y nutrientes disponibles, estabilidad estructural y densidad aparente (Maher et. al., 2008).

Moreover, in crops that are in SC substrates develop with chemically active organic or inorganic materials (cation exchange capacity is exhibited-CEC). Among the crops stand substrate materials such as coir, rice husk, peat and zeolite (Figure 10), which demonstrate physiochemical characteristics such as CEC, pH, salinity, porosity, aeration ability, structural stability along with water and nutrients



Imagen 10. Módulo demostrativo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en sustrato orgánico bajo diseño vertical. Universidad Agraria La Molina (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014

Image 10. Vertical demonstration model of strawberries (*Fragaria ananassa*) (Lima, Peru) Source: Ricardo Lesmes, 2014

Ventajas de los CSS

Se ha escrito mucho acerca de los CSS, de sus características particulares de manejo y de sus enormes ventajas para la producción agrícola, pero es importante resaltar ciertas cualidades del aspecto ecológico, productivo y de calidad de este tipo de sistemas. Desde el punto de vista ecológico, debido a que no intervienen el suelo, disminuyen ostensiblemente el uso de plaguicidas al no entrar en contacto con plantas adventicias (malezas) y ciertos patógenos e insectos plaga; asimismo, no requieren labores de mecanización agrícola que alteren los horizontes del suelo y se evita su salinización causada por la incorporación de fertilizantes a mediano y largo plazo

Advantages of SC

Much has been written about SC, its management, its enormous advantages for agricultural production, but most importantly is the ecological potential of this type of system. From the ecological point of view, because they are not in soil it significantly reduces the use of pesticides because there is less conflict with insects, pests and other plants. Likewise they do not require agricultural mechanization efforts to cultivate the soil and long term fertilizer pollution.

As for the productive aspect, these practices allow intensive cultivation without expanding agricultural land to use fertile soils (Image 11). They require major investments but production costs



(Jaques y Hernández, 2005).

En cuanto al aspecto productivo, este tipo de sistemas permiten establecer cultivos intensivos sin necesidad de ampliar la frontera agrícola al no requerir de suelos fértiles y poder establecerse en espacios mucho más reducidos (Imagen 11). Aunque requieren mayores inversiones, los costos de producción son mucho más bajos con tasas internas de retorno (TIR) más altas (Malca et. al., 2001).



Imagen 11. Cultivo comercial de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa hidropónica bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) en agricultura urbana (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

Debido a la diversidad de técnicas que incluye la producción de CSS es posible establecerlos a diferente nivel tecnológico, desde invernaderos "high tech" (de alto nivel tecnológico) hasta huertas urbanas para seguridad alimentaria. Pero sobretodo, una de las mayores ventajas de los CSS es el hecho que poder funcionar como sistemas cerrados, por lo cual el uso de agua y fertilizantes es muy eficiente debido a

are much lower with higher Internal Rates of Return (IRR)



Image 11. Commercial cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) smooth variety. Hydroponic system under the NFT system (Nutrient Film Technique) in urban agriculture. (Lima, Peru) Source Ricardo Lesmes, 2014.

Due to the variety of techniques it is possible to classify them from high tech (green houses) to low tech (urban gardening for food security). But above all one of the biggest advantages of SCs is the fact that it functions as a closed system where the use of water and fertilizer is very efficient. Also among the many benefits of SCs is it is possible to control nutrition and the development of plants because of the uniform nature of production (Image 12), which means

la recirculación de estos en ciclos que oxigenan el fertirriego (Johnson, 2001). Finalmente, dentro de las tantas bondades acerca de los CSS, es posible controlar mucho mejor la nutrición y el desarrollo de las plantas obteniendo cultivos más uniformes y de alta calidad nutricional e inocuidad (Imagen 12), lo cual significa valor agregado en los productos, otorgándole mayor competitividad al agricultor y mejores alimentos para el consumidor

added value to products, granting the farmer better competitiveness and better food to the consumer



Imagen 12. Imagen en primer plano de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa hidropónica. Se puede apreciar el desarrollo aéreo y el de su sistema radical (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.



Figure 12. Image of a lettuce top (*Lactuca sativa* L.) smooth variety. Grown in a hydroponic system. (Lima, Peru) Source Ricardo Lesmes, 2014.

Desde las Regiones

Lo novedoso no siempre tiene que ser algo nuevo. Por ejemplo, en muchos lugares un sistema de producción que ya existe, pero no es conocido allí, se constituye en una innovación. Esta situación se presenta en las diferentes provincias del departamento

From the regions

Novelty isn't always for something new. For example in many places a SC system that already exists but is not known of is considered innovative. This is the situation in the provinces of Comunera and Guanenta of Santander. These are not new, just remember the famous



de Santander con vocación agrícola respecto a los CSS, los cuales no son nuevos, basta recordar los famosos Jardines Colgantes de Babilonia (Siglo V a.C.) o los sistemas de chinampas del antiguo Imperio Azteca, entre otros (Sánchez, 2004).

Realmente existen tecnologías muy conocidas en otros lugares que parecen casi “de otro planeta”, de ahí la necesidad de “aterrizarlas”, teniendo en cuenta no sólo el aspecto agroecológico, sino también el económico y social del entorno. Sabiendo que los CSS son sistemas productivos promisorios, aunque nada nuevos en sí, se podría pensar en la implementación de verdaderos procesos de apropiación tecnológica para las regiones. Esta apropiación se basa en la comprensión de los principios científicos y la contextualización de los modelos; es hacer un “copiar-aterrizar” y no un “copiar-pegar”.

Para reflexionar...

El desarrollo del sector agrícola en diferentes regiones del departamento y del país requieren fundamentalmente la capacidad de innovación de sus actores (gremios, academia y Estado) entendiendo que la innovación, básicamente, es otra manera de hacer que las cosas funcionen por medio de sutiles transformaciones en la materia preexistente. Si se tiene el suficiente criterio técnico implementando sistemas productivos innovadores y pertinentes a nuestra realidad podremos pensar en que, como lo demuestran los CSS, sí son

Hanging Gardens of Babylon (century V BC) or Chinampas system of the ancient Aztec Empire, among others.

Actually there are well-known technologies in other places that seem almost “from another planet,” hence the need to “bring them down to earth,” taking into account not only the agro-ecological aspect, but also the economic, social and environmental. Knowing that SC systems are promising production systems, although nothing new themselves, one might think of implementing them for the regions. This is based in the understanding of the scientific principles and contextualization of the models

From the regions

The development of the agricultural sector in the provinces of Comunera and Guanenta essentially require the capacity to innovate by its people (in unions, schools and government). This is a way to make things work with the preexisting material. If you have enough resources to implement a system, the reward is there. SCs demonstrate that yes there are other ways to cultivate and produce food (Images 13, 14, 15)

posibles otras maneras de cultivar, otra manera de producir comida (Imágenes 13, 14 y 15).



Imagen 12. Imagen en primer plano de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad lisa hidropónica. Se puede apreciar el desarrollo aéreo y el de su sistema radical (Lima, Perú). Fuente: Ricardo Lesmes, 2014.

Figure 13. Design of experimental six (6) level pyramid modules for leafy vegetables, with 40 plants per square meter. (Socorro, Santander) Source: Ricardo Lesmes 2013

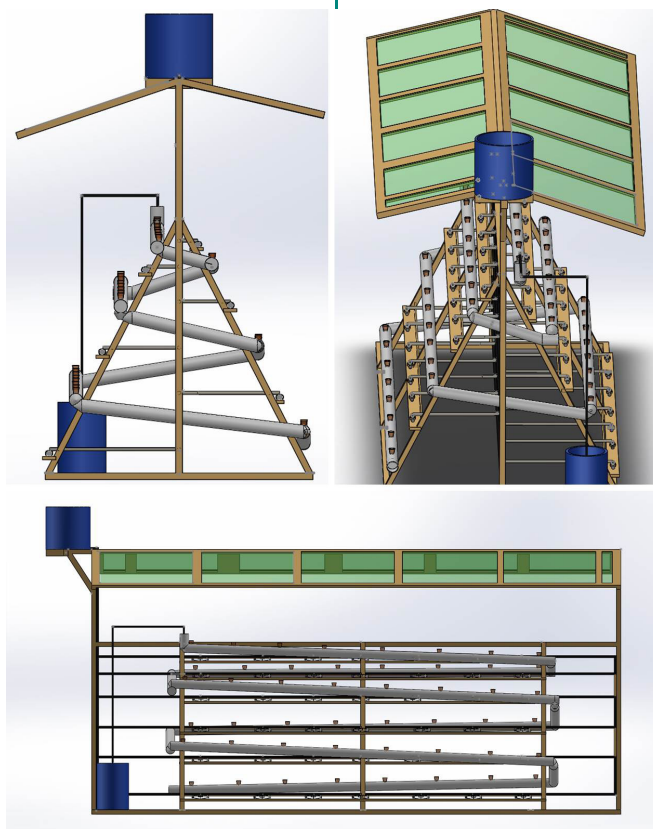


Imagen 14. Diseño de módulo experimental piramidal de seis (6) niveles en sistema NFT (Nutrient Film Technique) para hortalizas de hoja en Tecnoparque, nodo Socorro, con capacidad para 40 plantas por metro cuadrado (Socorro, Santander). Fuente: Ricardo Lesmes, 2013

Image 14. Hydroponic lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) develop under the floating root system with recycled materials (Socorro, Santander) Source Ricardo Lesmes, 2013



Imagen 15. Módulo experimental piramidal de seis (6) niveles en sistema NFT (Nutrient Film Technique) para hortalizas de hoja diseñado y construido en el Centro Agroturístico, con capacidad para 40 plantas por metro cuadrado (Socorro, Santander). Fuente: Ricardo Lesmes, 2013.

Figure 15. Experimental six (6) level pyramid module in NFT. Designed and built in the Agro-tourism center, with 40 plants per square meter. (Socorro, Santander). Source: Ricardo Lesmes, 2013

Bibliografía / bibliography

- Abad, M (1995) Sustrato para el cultivo sin suelo, en *El Cultivo del Tomate*. pp.131 -166. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Carrasco, G., e Izquierdo, J. (1996) La Técnica de la disolución nutritiva recirculante "NFT". pp 105 Editorial Universidad de Talca. Talca.
- Jaques, C. y Hernández, J.L. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). *Revista Naturaleza y Desarrollo*, Vol. 3, Núm. 1. Enero – Junio de 2005. pp 11 – 16.
- Johnson, H. (2001). Soilless culture of greenhouse vegetables. UC Davis, Vegetable Research and Information Center. pp 3 – 6.
- Jolliet, O., Bailey, B. (1993). The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurement and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology* 58: 43 – 62.
- Data series for the period 1,000,000 BCE – 1990 CE from Michael Kremer (1993) "Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990", *Quarterly Journal of Economics.*, August 1993, pp.681-716.
- Maher, M.J.; Prasad, M.; Raviv, M. (2008). Organic soilless media components. *Soilless Culture, Theory and Practice*. Elsevier. pp 459 – 477.
- Malca, O.; Alvarado, D.; Chávez, F.; Wilhelmina, K. (2001). Lechugas hidropónicas. Seminario de agronegocios. Facultad de administración y contabilidad, Universidad del Pacífico.
- pp 65 – 67.
- Papadopoulos, A.P.; Bar-Tal, A.; Silber, A.; Saha, U. K.; Raviv, M. (2008). Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. *Soilless Culture, Theory and Practice*. Elsevier. pp 506 – 511.
- Alas, M.C.; Urrestarazu, M. (2001) Técnicas de Fertirrigación en Cultivos si suelo. Manuales de la Universidad de Almería, servicios de publicaciones de la universidad de Almería. España. p .280.
- Sánchez, C. (2004). Hidroponía paso a paso, *Cultivo sin tierra*. Ediciones Ripalme E.I.R.L. pp 11 – 15.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. pp 67-69. Sinauer Associates, Inc.
- UN data series labeled 'UN Projections' corresponds to estimates for the period 1950-2010, plus projections 2010-2100 from UN Population Division – 2012 revisions
- Urrestarazu, M. (2004) *Tratado de cultivos sin suelos*. pp 6 – 9 ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- US census data series for the period 1950-2013 from the US Census.
- Zobel, R W.; Tridici, P.D.; Torrey, J.G. (1976). Method for growing plants aeroponically. *Plant Physiology*, 57: 344-346.

