



ANÁLISIS ECONÓMICO DE LECHUGAS HIDROPÓNICAS BAJO SISTEMA RAÍZ FLOTANTE EN CLIMA SEMIÁRIDO

ECONOMIC ANALYSIS OF HYDROPONIC LETTUCE UNDER FLOATING ROOT SYSTEM IN SEMI-ARID CLIMATE

Rosa Pertierra Lazo*¹ y Jimmy Quispe Gonzabay²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Av. Principal Santa Elena-La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

² Facultad de Ciencias Administrativas. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Av. Principal Santa Elena-La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

*Autor para correspondencia: rpertierra@upse.edu.ec

Manuscrito recibido el 15 de enero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 30 de agosto de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Los cultivos sin suelo se presentan como una alternativa de cultivo ante la presencia de suelos marginales con escasez hídrica característicos de la provincia de Santa Elena (PSE). La hidroponía presenta a nivel mundial una alta productividad por unidad de superficie, ahorro de agua y cosechas durante todo el año. La lechuga (*Lactuca sativa* L.), especie de estación fría, es la más representativa de un sistema hidropónico, pero no es una especie cultivada en la costa ecuatoriana. El objetivo fue analizar desde el punto de vista económico-financiero la propuesta técnica de un cultivo protegido de lechuga bajo sistema hidropónico de raíz flotante llevado a cabo en el clima semiárido de la PSE. Se realizaron cuatro siembras con el cv. Crespa, utilizando la solución nutritiva Hoagland y Arnon. El rendimiento y los costos se extrapolaron a una infraestructura de 1,000 m² equivalente a una superficie productiva efectiva de 240 m². Se asumen supuestos donde la producción se vende en jornadas laborales de acuerdo a la ley a una proyección de 5 años, con un stock de inventario para una semana, ventas al por mayor y un margen de beneficio en el año 1 de 30% y ascendente en los siguientes períodos. Bajo estos criterios, el costo de producción unitario (en dólares americanos) ascendió a USD 0,49 y el precio de venta a USD 0,70. La inversión total sumó USD 27.077,99, el VAN USD 58.581,07, con una TIR del 40% y un índice beneficio-costos de 1,26; por lo que económica y financieramente el proyecto se consideró viable.

Palabras clave: Cultivos sin suelo, costo de producción, inversión, cultivo protegido, *Lactuca sativa* L.

Abstract

Soilless crops are a farming alternative to marginal soils with limited water availability, which are widespread in the province of Santa Elena (PSE), Ecuadorian coast. This province has semi-arid climate. Hydroponics have worldwide high productivity per unit area, save of water and cultivation cycles throughout the year. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a cold-season crop, the most representative crop in hydroponic cultivation, but it is not currently cultivated in the Ecuadorian coastal area. The aim of this study was to analyze the economic-financial viability of lettuce cultivation under hydroponic system of floating root. Four lettuce cultivation experiments were carried out with cv. Crespa, using the Hoagland and Arnon nutrient solution. Yields and costs were extrapolated to an infrastructure of 1,000 m² equivalent to an effective productive area of 240 m². The assumptions used in the analysis were: all production is sold, working days were calculated according to the law, 5-year projection, stock of inventory for a week, wholesale selling, and profit margin in Year 1 of 30% and increasing in the following periods. Under these criteria, the production cost (in US dollars) per unit amounted to USD 0.49/unit and the sale price to USD 0.70/unit. The total investment USD 27,077.99, the NPV USD 58,581.07, with an IRR of 40% and a benefit-cost ratio of 1.26; thus, the project was considered viable from an economic point of view.

Keywords: Soilless culture, production costs, investment, greenhouse crop, *Lactuca sativa* L.

Forma sugerida de citar: Pertierra Lazo, R. y Quispe Gonzabay, J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 31(1):118-130. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.09>.

IDs Orcid:

Rosa Pertierra Lazo: <http://orcid.org/0000-0001-8938-9849>

Jimmy Quispe Gonzabay: <http://orcid.org/0000-0002-7519-1257>

1 Introducción

El aumento constante de la población y la disminución de los suelos agrícolas causan preocupación por el abastecimiento de alimentos. La tecnología evoluciona en pro del aumento de la productividad y la sustentabilidad mediante el mejoramiento genético, como con la inclusión de tecnologías de alto impacto sobre rendimiento y calidad del producto, agricultura de precisión, tecnologías de riego y nutrición, entre otros. Los cultivos protegidos sin suelo apuestan a este mismo objetivo haciendo posible un alto rendimiento, en menos superficie y durante todo el año. La hidroponía con recirculación (sistema cerrado) es la más eficiente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, por su ahorro considerable en agua y fertilizantes y mínimo vertido de solución fertilizante residual al ambiente (Urretarazu, 2015).

Dentro del rubro de cultivos protegidos, se presentan los sistemas hidropónicos como una opción interesante ante el aumento de limitaciones edáficas y sanitarias y la necesidad de realizar circuitos cortos de comercialización. En México estos representan ya el 50% de los cultivos protegidos (INTAGRI, 2017). En EEUU, en el quinquenio 2013-2018, esta forma de producción anualmente obtuvo USD 891 millones, creció a una tasa de 1,2% y generó una tasa de aumento de empleo del 10,1% (IBISWORLD, 2018). Se ha demostrado que la hidroponía en el sistema cerrado es más eficiente en comparación con el cultivo convencional (en suelo a campo abierto o en invernadero) (INTAGRI, 2017), resultando en mejor costo-beneficio. Sin embargo, una de las desventajas de este sistema es la alta inversión inicial en la infraestructura.

La producción mundial de esta hortaliza se estima en 26 866 557 t anuales con un rendimiento promedio de 21,89 t ha⁻¹ (FAO, 2019). Los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), indican que el principal productor de esta especie es España, ya que exporta a más de 53 países superando las 900.000 toneladas anuales. En el mercado hidropónico la lechuga ocupa el 2% en EEUU, mientras que en Sudamérica el 49% (INTAGRI, 2017).

La horticultura ecuatoriana ha incrementado su importancia debido a la reactivación de la economía

campesina y de la agroindustria exportadora (Álvarez, Bravo y Armendaris, 2014), así como también al aumento del consumo debido a cambios en los hábitos alimenticios (Espinoza, 2015). En el año 2000 se registró una producción de 9.770 toneladas métricas, llevada a cabo por los pequeños agricultores con 58 y 63% de unidades productivas con menos de 1 ha, en cultivo solo y asociado, respectivamente (INEC, 2002). Mientras que FAO, (2019) para el año 2017 registró un aumento a 17.301 t producidas.

En la encuesta de consumo y gastos de hogares en Ecuador (INEC, 2013) se señala que los habitantes rurales invierten el 32% de sus ingresos en alimentos y bebidas no alcohólicas y dentro de esta categoría sólo gastan el 2% en la compra de vegetales. Si se considera que el valor de la Canasta Familiar Básica en la región Sierra fue de 722,44 dólares y la de la Costa 695,52 dólares, dicho gasto en vegetales correspondería a USD 14 en la zona costera (INEC, 2017). Según (Zaruma, 2009), la agricultura familiar campesina (AFC) para superficies productivas es de 500 a 2000 m², mientras que para los pequeños productores es de 0,25 a 1 ha y para los medianos 1 a 3 ha. Si a nivel de Latinoamérica el 80% de las explotaciones agrícolas se encuentran en manos de la AFC, en Ecuador esta cifra sube a 84,5% (Salcedo y Guzmán, 2014). El cultivo y la producción de hortalizas se encuentran precisamente en manos de los pequeños productores y en la agricultura familiar campesina. En Ecuador el 83% esta producción se destina al consumo interno. El cultivo de lechuga se lleva a cabo de forma tradicional a campo abierto, pero también bajo cultivo protegido en suelo y en sistemas hidropónicos. Es una especie de estación fría con temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo diurnas entre los 18 y 25 °C y nocturnas de 10 a 15°C (Maroto, 2002; Saavedra y col., 2017).

En la provincia de Santa Elena se lleva a cabo un proyecto de huertos familiares agroecológicos desde el año 2014 a cargo del Ministerio de Agricultura (MAG), y desde el 2017 queda bajo el alero del proyecto de agricultura familiar campesina (AFC) que cubre el sector rural y urbano (Prefectura Santa Elena, 2017; Mateo, 2019). La lechuga ocupa un lugar importante entre las especies que allí se trabajan. Los principales problemas que afectan la productividad agrícola en la provincia son la baja disponibilidad de agua, las condiciones climáticas semiáridas

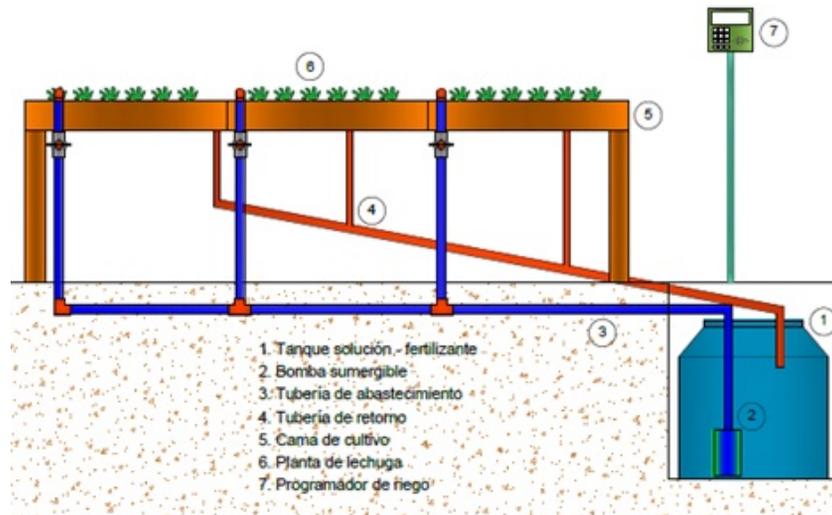


Figura 1. Diagrama de construcción de camas y abastecimiento de solución fertilizante controlada por el programador de riego, en un cultivo protegido de lechuga bajo sistema de raíz flotante.

das y suelos degradados. Barbosa y col., (2015) estimaron que esta técnica logra aumentar la productividad anual en 10 veces con un consumo del sólo 8% del agua, pero con un consumo 87 veces mayor de energía en comparación a un cultivo convencional, para la realidad de E.E.U.U (NFT, riego, calefacción, iluminación artificial). Treftz y Omaye, (2012) recopilan aspectos positivos que apuntan a la sostenibilidad de los cultivos sin suelo como: el ahorro de agua, fertilizantes y pesticidas. Rescatan además que puede llevarse a cabo en zonas áridas y urbanas, acercando el producto al consumidor, y no requiere rotación de cultivos. Tampoco se requiere de preparación de suelo, ni control de malezas (Resh, 2013). Una alternativa para la recuperación agrícola es el sistema hidropónico para el cultivo de hortalizas con un suministro de nutrientes ajustado a las necesidades de cada especie, obteniendo plantas de calidad y con alto contenido nutricional. La cosecha puede llevarse a cabo en una infraestructura compleja o simple en pequeños espacios y con bajos costos de variables de producción, pero con una alta inversión inicial (Resh, 2013). A esta desventaja

Resh, (2013) añade la de la fácil proliferación de enfermedades radiculares en un sistema sin suelo con recirculación de solución nutritiva.

La lechuga es el principal cultivo hidropónico a nivel mundial y nacional, pero debido a su condición de planta de estación fría es importante evaluar su factibilidad técnica y económica antes de recomendar su cultivo en la provincia en este sistema productivo que requiere de una alta inversión de capital. En la literatura existen numerosos aportes técnicos al tema (Khan y col., 2018; Sharma y col., 2018), pero hay escasa información respecto al aspecto económico y financiero, y la información disponible se concentra en estudios en climas templados, en los cuales se incurre en altos costos de calefacción e iluminación, innecesarios en este caso (Barbosa y col., 2015; Quagraine y col., 2018). El objetivo de la investigación fue mitigar este vacío y realizar un análisis económico para determinar la rentabilidad del cultivo de lechuga hidropónica bajo las condiciones de clima semiárido reinante en la provincia de Santa Elena.

2 Materiales y Método

2.1 Infraestructura

El método para el desarrollo de la propuesta parte de la base de resultados productivos de culti-

vos experimentales reales, los cuales se efectuaron en el cantón La Libertad de la Provincia de Santa Elena, en invernaderos pertenecientes al proyecto "P06 Sistema de producción hidropónica, alternativa para el cambio de la matriz agroproductiva en la Península de Santa Elena" localizados en la Facul-

tad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La ubicación geográfica del lugar es latitud sur 2°13'56,46", longitud oeste 80°52'30,097", altura de 44 msnm. Dentro de la clasificación climática, la provincia de Santa Elena posee un clima semiárido, las precipitaciones anuales registran un promedio de 200 mm, humedad relativa de 81,6% y temperatura media anual de 24,5° (CLIRSEN-MAGAP, 2011; INAMHI, 2017).

El trabajo de investigación se efectuó en un invernadero de fierro galvanizado de 20 m de largo, 10 m de ancho y 4 m de altura, con una cubierta del techo de polietileno UV/IR calibre 6, paredes laterales y frontales cubiertas con zarán blanco de 50% sombreo. La producción obtenida y los costos se proyectaron para una superficie productiva equivalente a 1,000 m². La cama de cultivo, a 90 cm de altura, tuvo un ancho de 1 m, una altura de 10cm, de la cual 8 cm se ocupan con agua y 2 cm corresponden al grosor de la plancha de espumaflex que sostuvieron las plantas. El largo del cajón fue de 3 m y estuvo recubierto con polietileno negro de 0,2 mm de espesor en el cual el sistema de raíz flotante mantuvo las raíces de las plantas sumergidas en agua con minerales disueltos según la formulación Hoagland y Arnon (Beltrano y Gimenez, 2015).

En el caso de cultivos de hoja de corta duración como la lechuga, la solución fertilizante cubre los requerimientos diarios de la planta y no es necesario modificarla. En ensayos previos se determinó ésta como la mejor formulación entre tres evaluadas. A este requerimiento se le restaron los aportes iónicos del agua de riego (agua potable), dando como resultado las dosis indicadas en la Tabla 1. El cultivo fue abastecido desde un tanque abonador (capacidad 500 litros) con un sistema de tuberías de recir-

culación con la solución fertilizante mediante una bomba sumergible Pedrollo Top II de 0,5 HP (Figura 1).

2.2 El Cultivo

Las semillas de lechuga cv. Crespa (*Lactuca sativa* var. *acephala*), una planta de hojas sueltas tipo roble y color verde claro, se compraron en una agrocomercial de Manabí (Jipijapa, Ecuador). El semillero se realizó in situ en una casa de cultivo paralela a la del ensayo en bandejas de PVC de 128 alveolos. Se regaron diariamente y no fueron necesarias aplicaciones sanitarias. A partir de la emisión de la primera hoja se fertilizó con la misma solución fertilizante ensayada a una concentración del 50%, en volúmenes de 0,5 litros por bandeja. El trasplante se efectuó en cuatro oportunidades durante el primer semestre del 2018: 18 de enero, 6 de febrero, 6 de marzo y 17 de mayo; con plántulas con 3 hojas verdaderas en las camas descritas, a una densidad de 32 plantas m⁻².

La oxigenación de la solución nutritiva se realizó diariamente durante 30 minutos dos veces al día (mañana y tarde), con el fin de proporcionar el oxígeno suficiente para las raíces y facilitar la absorción de nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta. Esta labor se realizó automáticamente mediante un programador de riego y las tuberías alimentadoras ubicadas en la cabecera de cada unidad experimental. El consumo de agua, principalmente debido a la transpiración, determinó el momento de reposición de la solución nutritiva. Este consumo se determinó midiendo diariamente la altura de la lámina de agua de cada cama (unidad experimental o réplica de 1 m²). Luego se promedió el consumo de cada repetición durante todo el ciclo de cultivo y se proyectó a un consumo por planta.

Tabla 1. Contenido de nutrientes de la solución nutritiva y agua de riego utilizados para un cultivo de lechuga, basados en la solución Hoagland y Arnon.

Solución macronutrientes (mMolL ⁻¹)	Elementos químicos									
	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺⁺
Requerimiento	15	2	1			4	2	6		1
Agua de riego	0	0,05	0	0,88	1,28	1,15	0,65	0,18	0,3	0
Aporte Real	15	1,948	1	0,37	1,28	2,85	1,35	5,82	0,3	1
Solución micronutrientes (mgL ⁻¹)	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo				
Aporte real	2,47	0,50	0,02	0,05	0,42	0,01				

Se evaluó diariamente el estado sanitario del cultivo para tomar acciones de control. El control y seguimiento de la calidad química de la solución nutritiva en las camas de cultivo se realizó mediante un conductímetro marca OAKTON ECTester11 (para salinidad) y un pH-metro marca Milwaukee Ph55 (para pH). Los parámetros químicos de las soluciones fertilizantes fueron medidos diariamente para establecer medidas de corrección oportunas en el manejo agronómico. A la cosecha se midió el peso fresco de las lechugas mediante la balanza digital marca BOECO BWL 61. El peso fresco de hojas y raíces correspondió al rendimiento por planta, ya que comúnmente la lechuga hidropónica se comercializa completa (con las raíces). El criterio de cosecha fue el tamaño y peso del producto y la ausencia de escape floral. En España y Panamá las normas exigen un mínimo de 100 g para la comercialización de lechuga de hojas sueltas proveniente de cultivo protegido, sin especificar si es cosechada en suelo o hidropónica (Junta de Andalucía, 2013). Por el contrario, las Normas Técnicas Colombianas (1994) exigen que un envase de lechuga hidropónica debe de contener al menos 150 g de producto incluyendo las raíces. Para Ecuador no existen aún norma al respecto, pero en el mercado nacional se encuentran empaques de lechuga hidropónica entre 100 y 200 g.

Para efectos del estudio, que tiene un enfoque económico, sólo se consideró como única variable agronómica relevante el peso de la lechuga completa, promediado de las cuatro fechas de plantación (Tabla 2). Los resultados fueron analizados estadísticamente con el programa Infostat v2018e. Las variables paramétricas fueron analizadas con la prueba de F y las no paramétricas con la prueba de Kruskal Wallis.

2.3 Análisis económico

Se desarrolló un presupuesto maestro con base al modelo propuesto por Díaz, Parra y López, (2012), donde primero se identifica la situación de balance inicial para posteriormente determinar los procesos operativos con el fin de cuantificarlos en tiempo y en moneda. El cálculo de la inversión de la nave de fierro galvanizado y cubierta de polietileno fue para un área correspondiente a 5 naves que cubren 1000 m^2 de superficie, cada nave de 30 m de largo, 7 m de ancho y 3,5 m de alto. Esta superficie tuvo una eficiencia de 24 %, es decir que implica 240 m^2 de área productiva efectiva. El número de cosechas anuales se estimó según la duración de las siembras llevadas a cabo en el proyecto. Se obtuvieron 32 plantas por m^2 y se asumió una pérdida del producto de 20%. Considerando que la producción es vendida en su totalidad y de provisión se planifica inventario de una semana con 1 418 lechugas, respecto a la producción anual que fue de 73 728 unidades por año.

El proceso de costeo se realizó *in situ* cuantificando todo lo relacionado al proyecto. Para la proyección de costos se consideró una inflación promedio de 2,40% Banco Central del Ecuador, (2018) y una tasa de descuento del 15,40%. Como punto de comparación para los precios esperados se determinó un valor en base al análisis en 9 puntos de venta de la provincia de Santa Elena, los cuales comercializan gran variedad de hortalizas. Se procedió a la aplicación de una ficha por cada punto de venta seleccionado en los cantones de Salinas, La Libertad y Santa Elena (Ecuador). El instrumento permite obtener información del producto en cuanto a calidad, especificaciones de las perchas de acuerdo a la marca, cantidades, precios y gramos por envase. El presupuesto maestro se realizó mediante el software Excel.

Tabla 2. Fechas de establecimiento de cuatro ciclos de siembra de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivadas en sistema de raíz flotante durante 2018 en la provincia de Santa Elena y el clima asociado.

Trasplante	Cosecha	Duración del ciclo (días)	Prom. Temperaturas Máx. - Mín. (°C)	Prom. humedad relativa Máx. - Mín.
18-ene	06-feb	22	37,31 - 24,34	88,20 - 25,35
06-feb	27-feb	21	35,94 - 24,10	91,59 - 29,19
06-mar	25-mar	22	36,59 - 23,43	84,90 - 27,46
17-may	08-jun	25	32,01 - 21,55	83,74 - 36,00

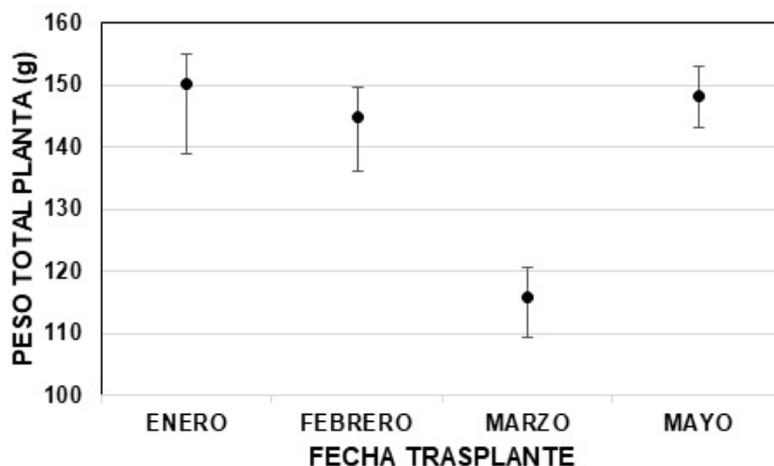


Figura 2. Peso de planta completa a cosecha de lechuga cv. Crespa en cuatro fechas de trasplante (2018), cultivadas en la provincia de Santa Elena bajo sistema de raíz flotante y formulación nutritiva de Hoagland y Arnon.

3 Resultados y discusión

3.1 Rendimiento de lechugas hidropónicas

La duración de trasplante a cosecha en las distintas fechas de establecimiento de cultivo varió entre 21 y 25 días (Tabla 2), el período más largo correspondió a la época con menores temperaturas (verano de Ecuador). Esto permitió proyectar 12 cosechas anuales, considerando la elaboración escalonada de los almácigos o plantines, para evitar tiempos muertos. Por tanto, independiente de la época del año (invierno o verano) la duración del ciclo de cultivo es similar debido a la poca variación en las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana. Esto a diferencia de un país con clima templado como España, donde una misma variedad tiene ciclos de cultivo entre 31 (época calurosa) y 81 días (época fría) (Sábada y col., 2007).

La lechuga hidropónica puede ser comercializada con raíces, las cuales demuestran el método de producción utilizado y la frescura del producto. En base a las cuatro siembras realizadas entre enero y mayo del 2018 se obtuvieron pesos a cosecha (variable paramétrica) entre 115,8 y 150,1 g $planta^{-1}$, con un promedio de 139,0 g (Figura 2).

El coeficiente de variación de los datos no superó el 11,7 %, por lo que se asumió una alta confiabilidad de los pesos de planta obtenidos. Los pesos a cosecha obtenidos en los cultivos de enero, febrero

y mayo fueron similares. Sólo la cosecha de marzo fue significativamente menor, alejándose de un peso comercial óptimo.

Estos pesos se asociaron a un promedio para los cuatro cultivos de 22 hojas por planta. Solís, (2017) trabajando en la provincia de El Oro reportó a las cuatro semanas de cultivo hidropónico lechugas con 10,5 hojas y un peso total unitario de 64,32 g, probablemente debido a condiciones climáticas adversas. En otros estudios con lechuga hidropónica en otras latitudes se reportaron pesos de planta con rangos que van de 80,10 a 271,02 g (Defilipis y col., 2006; Barrientos, 2011; Barrientos, 2014; Targui y col., 2017). Maboko y Du Plooy, (2009) proponen aumentos de densidad de plantación de hasta 50 unidades/ m^2 para mejorar el rendimiento, dependiendo del clima y la variedad. Mandizvidza, (2017) sugiere modificar, según la variedad, las relaciones de cationes en la solución nutritiva para mejorar el rendimiento y la calidad de postcosecha en lechugas.

3.2 Recurso hídrico

El consumo de solución nutritiva en recirculación (agua + fertilizantes) se estimó en 7,7 m^3 por ciclo de cultivo en los 1,000 m^2 de invernadero, lo cual equivaldría a 92,4 m^3 para los 12 ciclos anuales de cultivo. Al final del cultivo la solución fertilizante sobrante se aplicó a un jardín ornamental. Esto representa un coste de producción marginal y un aho-

rro considerable del recurso hídrico si se consideran los valores reportados en la literatura entre 52 a 125 m^3 de consumo de agua de riego en 1,000 m^2 por cada ciclo de cultivo de lechugas creciendo en suelo bajo condiciones de invernadero (Defilipis y col., 2006). El consumo representó un teórico 8,7 % del consumo promedio de agua bajo cultivo protegido. A campo abierto el requerimiento de agua puede subir hasta 411 $mm\ ha^{-1}$, según el clima, la época del año, la variedad y sistema de riego; lo que equivale a 411 L en 1,000 m^2 (Tarqui y col., 2017). En este caso, el ahorro de agua sería aún más evidente, representando el consumo en hidroponía sólo un 1,9% respecto de un cultivo a campo abierto.

4 Análisis económico

Se determinó para los 1,000 m^2 de infraestructura el coste de producción unitario conformado por cos-

tes de mano de obra directa (cuatro operarios), materia prima directa (plantines, fertilizantes y agroquímicos) y los costes indirectos de fabricación (supervisor de campo, gavetas y fundas plásticas), sin considerar costos por externalización. La inversión inicial ascendió a USD 27.027,99, de los cuales el 17,00% correspondió a capital de trabajo y el restante a inversión en activos fijos. Esto constó de: a) la nave de invernadero de fierro galvanizado, la cual se estimó a precio de mercado de empresas de Quito que ofrecieron el servicio "llave en mano" a un precio de USD 10 m^{-2} ; b) la infraestructura de las camas de madera con altura de 90 cm (Tabla 3); c) el sistema de riego (tuberías de input y recirculación, programador y su instalación) (Tabla 4); d) otros adicionales como bomba de riego, gavetas, balanza y fundas plásticas.

Tabla 3. Costes de construcción de 240 m^2 camas de madera para el sistema de raíz flotante para 1.000 m^2 de invernadero (en dólares americanos, valores a septiembre del 2018).

Detalle	Cantidad	U. Medida	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Construcción de camas de madera				
Tablas 20 cm × 4m, semidura	580	Unidad	4,00	2.320,00
Manga Plástico negro 1,5 m ancho	250	m^2	1,19	297,50
Espumafón espesor 2,5 cm (1×1m)	270	Unidad	5,29	1.428,30
Palos de 6×6 cm	90	Unidad	3,00	270,00
Accesorios (clavos, cartón, espuma, salida de estanque, etc.)		Unidad		372,30
Manguera flex	10	Unidad	0,80	8,00
TOTAL (USD)				4.696,10

Tabla 4. Costes de construcción de un sistema de riego con recirculación para el sistema de raíz flotante para 1,000 m^2 de invernadero (en dólares americanos, valores a septiembre del 2018).

Detalle	Cantidad	U. Medida	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Tubería 3/4 pulgadas (6 metros)	90	Unidad	3,34	300,60
Tubería 1 pulgada (6 metros c/u)	20	Unidad	6,76	135,20
Tubo de 63 mm de 0,8 mpa (6 m)	100	Unidad	15,81	1581,00
Manguera flex 1"	120	M	0,80	96,00
Tanque de 1.000 litros	10	Unidad	250,00	2500,00
Accesorios de riego (T, codos, etc.)		Unidad		580,88
Electroválvulas	5	Unidad	52,00	260,00
Filtro de malla	5	Unidad	12,80	64,00
TOTAL (USD)				3438,73

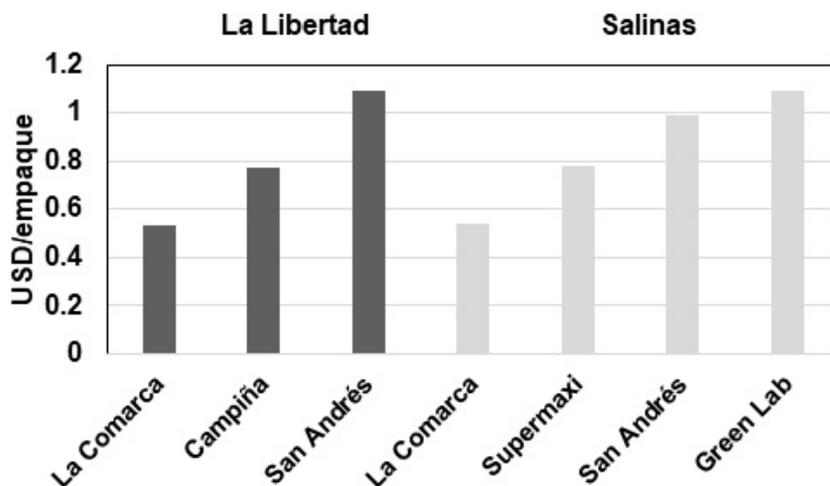


Figura 3. Comparación de precio de venta unitario entre marcas de lechuga hidropónica, en envases de 100 a 200 gramos en supermercados de la provincia de Santa Elena (barras negras = cantón La Libertad; barras grises = cantón Salinas). Valores en dólares americanos a septiembre del 2018.

Bajo estas condiciones el costo por unidad producida ascendió a USD \$ 0,49 (Tabla 5). Las unidades a producir para el segundo año disminuyeron por el inventario que se ha considerado al final del

primer año (2019). El coste unitario de producción disminuyó en este segundo año debido a que el costo de instalación del equipo de programación de riego únicamente aplica para el primer año.

Tabla 5. Presupuesto de coste de producción total y unitario para 1,000m² de invernadero (en dólares americanos, a septiembre del 2018) de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en sistema de raíz flotante en la provincia de Santa Elena.

Detalle	2019	2020	2021	2022	2023
Costo Materiales	3.628,50	3.645,40	3.732,80	3.822,30	3.914,00
Costo Mano Obra	24.003,60	25.503,20	25.548,40	25.593,60	26.731,90
Costos CIF	9.073,00	2.856,80	2.856,80	2.856,80	28.566,80
Costo Total (USD)	36.705,10	32.005,40	32.138,00	32.272,70	33.502,70
Unidades producidas	75.146,00	73.728,00	73.728,00	73.728,00	73.728,00
Costo Unitario	0,49	0,43	0,44	0,44	0,45

El precio pagado al productor de lechuga hidropónica en el mercado nacional (cadenas de supermercados) es aproximadamente USD 0,50. El precio de venta final en las mismas cadenas está alrededor de USD 1,00 por funda en base a un sondeo realizado a supermercados de la provincia de Santa Elena (Figura 3). El costo unitario obtenido sólo sería sustentable con una venta directa al consumidor, sin intermediarios. De acuerdo a la misma encuesta, las ventas semanales de dichos supermercados ascienden en la provincia de Santa Elena a 2.000 uni-

dades aproximadamente. Las ventas semanales del presente supuesto (1.418) correspondería al 70% de dicho valor, superando la capacidad de absorción del mercado local. Se asume una comercialización del producto en provincias aledañas como Guayas, Manabí y Los Ríos. Actualmente el mercado está copado por producción de las provincias de la sierra ecuatoriana, principalmente tres empresas, pero según el principal actor del rubro hay mucho espacio para crecer (datos propios).

Tabla 6. Flujo de efectivo con financiamiento para un proyecto hidropónico con lechugas cv. Crespa bajo sistema de raíz flotante, en la provincia de Santa Elena (valores a septiembre de 2018).

Detalle	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Saldo Inicial		5.003,70	1.594,81	9.066,99	16.461,70	31.603,36
Ingresos por ventas		54.249,69	58.191,56	58.432,68	58.677,62	60.913,97
Préstamo	20.202,93					
Total ingreso	20.202,93	59.253,40	59.786,38	67.499,68	75.139,32	92.517,33
Inversión	28.861,33					
Pago proveedores		3.628,47	3.645,37	3.732,78	3.822,30	3.915,39
Pago MOD		24.003,62	25.503,15	25.548,35	25.593,55	26.731,89
Pago CIF		8.427,99	2.211,84	2.211,84	2.211,84	2.211,84
Pago Gastos Ventas		10.160,90	10.891,32	11.077,30	11.263,27	11.449,25
Pago de Cuota		7.822,70	7.822,70	7.822,70		0,00
Total Egreso	28.861,33	54.688,68	50.719,38	51.037,97	43.535,96	44.953,37
Flujo de Efectivo	-8.658,40	1.594,81	9.066,99	16.461,70	31.603,36	47.563,97
Aportación Capital	8.658,40					
Flujo de efectivo acumulado	0,00	1.594,81	10.661,81	27.123,51	58.726,87	106.290,84

Para ser competitivos en este escenario se consideró un margen de beneficio inicial del 30%, lo que permitió establecer un precio de venta de USD \$0,70 por envase de comercialización. Desde el segundo año en adelante se estableció un margen de beneficio del 45% para el envase con una unidad. De acuerdo a Álvarez, Bravo y Armendaris, (2014) en Ecuador la comercialización de tomate (similar para todas las hortalizas) presenta tres modalidades (canales): a) acopiador - mayorista- detallista, b) proveedor -mayorista - supermercado y c) productor - supermercado. Se aspira al tercer modelo sin intermediarios, pero considerando los costos y los actores de mercado existentes para la compra del producto (Zaruma, 2009) quedarían excluidos los super/hipermercados, quedando como potenciales clientes familias (que compran en mercados locales especializados), restaurantes, hoteles y casinos (HORECA). Esta decisión le permitiría al productor pasar de la categoría de autoconsumo y temporales a la de productores permanentes, logrando un posicionamiento en el mercado.

Con los ingresos y costos de producción proyectados se calculó el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de beneficio-costos (B/C). Se ha determinado una tasa de descuento del 15,40% tomando en cuenta que hay financiamiento y riesgos de mercado por ser un proyecto nuevo. Por lo tanto, la prima al riesgo se ha

estimado en 25% y una inflación promedio de los últimos años del 2,40% anual. El VAN obtenido fue de USD 31.101,62 con una TIR del 40% y un B/C de 1,26, por lo que económica y financieramente el proyecto se consideró viable (Tabla 6). Este índice indica que por cada dólar invertido se obtiene USD 0,26 de ganancia neta.

Ríos, (2013) haciendo un análisis financiero para un invernadero hidropónico de 700 m² con lechugas hidropónicas en sistema NFT logró una TIR de 50,91% y una relación beneficio/costo de 0,7, lo cual indicó como inviable el proyecto. Ortega y col., (2016) reportaron para tomate hidropónico variaciones en la relación beneficio/costo (C/B) entre 0,7 (fibra de coco) y 1,8 (tezontle). Por tanto, el sistema hidropónico con sustrato inerte (fibra de coco) no fue rentable, mientras que en suelo agrícola la relación B/C fue 1,5. Quagraine y col., (2018) determinaron para su ensayo de lechugas en sustrato inerte valores de VAN, TIR y B/C de USD 73,872, 48,7% y 1,3, respectivamente. El retorno de la inversión se logró sobre el tercer año. En el tomate hidropónico el retorno de la inversión también se logra al segundo o tercer año, según la Red Agrícola, (2017).

A nivel nacional la agricultura familiar tiene una estructura de minifundio con un promedio de 3,48 ha por finca, la cual sostiene la alimentación en

general y contribuye con un 9,9% a la producción agrícola y con un 43% al valor de la producción sectorial (Salcedo y Guzmán, 2014). FAO y CAF, (2009) proponen un aporte crediticio de alrededor del 70% a proyectos de alta inversión presentados por cámaras de agricultura, asociaciones gremiales, centros agrícolas, organizaciones de campesinos. Enfatiza que el crédito debe ser reembolsable para proyectos que ofrezcan las mejores garantías y signos de sostenibilidad desde tres criterios: económicamente rentables, ambientalmente funcionales y socialmente viables. Sugieren además no excluir de la inversión los requerimientos de capital de trabajo, mercadeo y capacitación.

Los cultivos convencionales requieren de grandes superficies para llegar a ser rentables, mientras que la horticultura y más aún los cultivos protegidos, entre ellos la hidroponía, funcionan eficientemente en pequeñas superficies. Bajo ese prisma es más efectivo contribuir con políticas sectoriales que estimulen la inversión en rubros de alta eficiencia de los recursos suelo y agua. La hidroponía cumple con ese criterio y en un sistema cerrado (con recirculación) no se emiten drenajes contaminantes al ambiente, cumpliendo con el criterio de funcionalidad ambiental.

Por otra parte, si se amplía la mirada se puede establecer que las ganancias con un proyecto de esta naturaleza pueden ir más allá de lo económico. Castiblanco, (2016) evaluó un proyecto hidropónico a 10 años en un recinto penitenciario femenino, estimando una tasa social de descuento (TSD) del 12%. Si bien, al igual que en este caso los costos operacionales anuales superaron a la inversión inicial, y a pesar de los altos costos de inversión, operación y mantenimiento el flujo neto económico resultó positivo convirtiendo a dicha propuesta en económica y socialmente rentable.

Así mismo estos sistemas productivos pueden activarse en huertas comunitarias urbanas o rurales, trayendo capacitación y fortalecimiento del tejido social. En la provincia de Santa Elena se trabaja masivamente en estas huertas (Prefectura Santa Elena, 2017), pero aún no se han implementado sistemas hidropónicos. Respecto a la viabilidad social en esta propuesta de baja escala se lograron cuatro empleos directos e indirectos asociados al transporte y comercialización del producto, por lo que se mejo-

ran las condiciones de vida de los involucrados. En paralelo se enriquecería la canasta y la dieta familiar, generaría empleo y ahorro en la adquisición de productos frescos.

5 Conclusiones

El peso total de las lechugas obtenidos en cuatro fechas de trasplante bajo las condiciones agroecológicas de la provincia de Santa Elena, cumple con el peso comercial mínimo, es pertinente a la oferta actual en los centros comerciales y competitivo en el mercado, siempre y cuando se venda sin intermediarios.

El consumo de solución nutritiva (agua + fertilizantes) se estimó en $7,7 m^3$ por ciclo de cultivo en los $1.000 m^2$ de invernadero, lo cual representa un 8,7 % del consumo de agua bajo cultivo protegido y sólo un 1,9 % respecto de un cultivo a campo abierto.

Con los supuestos establecidos y la evaluación técnico-económica se llegó a un costo de producción unitario de USD 0,49. Con un precio de venta de cada empaque de USD 0,70 se obtuvo un VAN de USD \$ 31.101,62, (mayor a cero), una TIR del 40%. Este valor fue mayor a la tasa de descuento. El índice beneficio-costo obtenido fue de 1,26.

La sostenibilidad de la propuesta se evidenció en la viabilidad económica-financiera, el considerable ahorro del recurso hídrico, la no contaminación ambiental por ser un sistema cerrado y la viabilidad social manifestada en la generación de empleo y mejoramiento de calidad de vida de los involucrados, además de ser un aporte a la dieta local.

Será tarea futura evaluar otros materiales genéticos de lechuga que presenten una mayor tolerancia a las altas temperaturas y aspirar así a mejores rendimientos y explorar con otras especies hortícolas, aromáticas o medicinales, hortalizas baby o productos de cuarta gama que presenten un nicho económico. Por otro lado, se puede buscar un incremento de la productividad aumentando la densidad de plantas o aplicando bioestimulantes que le permitan a la lechuga enfrentar mejor situaciones de estrés abiótico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por poner a disposición de los investigadores recursos públicos a través de fondos concursables para proyectos de investigación con financiamiento interno. Este proyecto fue asignado con el número P06 titulado "Sistemas de producción hidropónica: alternativa para el cambio de la matriz agroproductiva en la Península de Santa Elena" (Código 91870000.0000.381020). Los autores agradecen también la participación de la estudiante Jeniffer Ricardo Morales en la implementación, ejecución y recolección de datos durante los ensayos.

Referencias

- Álvarez, T., E. Bravo y E. Armendaris (2014). «Sobranía alimentaria y acceso a semillas hortícolas en el Ecuador». En: *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida* 20.2, 45-57. Online: <http://bit.ly/2Q1JKA8>.
- Banco Central del Ecuador (2018). *Información económica*.
- Barbosa, G. y col. (2015). «Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods». En: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12.6, 6879-6891. Online: <http://doi.org/10.3390/ijerph120606879>.
- Barrientos, H. (2011). *Determinación de la intensidad lumínica en plásticos de cubierta (Agrofilm) para ambientes atemperados en tres localidades del departamento de La Paz*. Tesis de Licenciatura. La Paz, Bolivia.
- (2014). «Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero». Tesis de Maestría. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. Online: <http://bit.ly/2K6N5KC>.
- Beltrano, J. y D. Gimenez (2015). *Cultivo en hidroponía*. 1 ed. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Online: <http://bit.ly/2Cvu7cg>.
- CLIRSEN-MAGAP (2011). *Memoria técnica: cantón Salinas. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000*. Inf. téc.
- Castiblanco, A. (2016). «Cultivos hidropónicos como propuesta rehabilitadora en equipamientos penitenciarios femeninos». Especialización en Gerencia Integral de Proyectos. Universidad Militar Nueva Granada. Online: <https://bit.ly/34QqmtY>.
- Defilipis, C. y col. (2006). «Respuesta al riego de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero». En: Online: <https://bit.ly/32ARDPR>.
- Díaz, M., R. Parra y L. López (2012). «Presupuestos: Enfoque para la planeación financiera». En: Colombia: Pearson, 45-225. Online: <https://bit.ly/2CskDs>.
- Espinoza, E. (2015). «Aumenta producción y consumo de hortalizas». En: *Revista El Agro* 227, 8-11. Online: <https://bit.ly/34LdF3M>.
- FAO y CAF (2009). *Ecuador: Nota de Análisis Sectorial Agricultura y Desarrollo Rural*. Inf. téc. Quito, Ecuador. Online: <https://bit.ly/2X2Rgwe>: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, DIRECCIÓN DEL CENTRO DE INVERSIONES y CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO (CAF).
- FAO (2019). *Datos sobre alimentación y agricultura. Cultivos*. FAOSTAT. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Online: <https://bit.ly/2Q6p4Hw>.
- IBISWORLD (2018). *Hydroponic crop farming industry in the USA*.
- INAMHI (2017). *Boletines agroclimáticos*.
- INEC (2002). *III Censo Nacional Agropecuario*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2Q583NO>: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- (2013). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos. Instituto Nacional de Estadística y Censos (ENIGHUR) 2011-2012*.
- (2017). *Inflación mensual. Diciembre 2017*. Inf. téc. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Online: <https://bit.ly/2pYHsqZ>.
- INTAGRI (2017). «La industria de los cultivos hidropónicos». En: *Artículos Técnicos de INTAGRI* 31, Online: <https://bit.ly/2O4LW7E>.
- Junta de Andalucía (2013). *Lechuga*. Agencia de Defensa de la Competencia de Andalucía.
- Khan, F. y col. (2018). «A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture». En: *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences* 2.2, 59-66. Online: <https://bit.ly/2rtUBIV>.

- Maboko, M. y C. Du Plooy (2009). «Effect of plant spacing on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a soilless production system». En: *South African Journal of Plant and Soil* 26.3, 195-198. Online: <https://doi.org/10.1080/02571862.2009.10639954>.
- Mandizvidza, T. (2017). «Influence of nutrient and light management on postharvest quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in soilless production systems». Tesis MSc. en Agricultura. Stellenbosch University. Online: <https://bit.ly/34OSI8c>.
- Maroto, J. (2002). *Horticultura herbácea especial*. 5 ed. España: Mundi-Prensa. Online: <https://bit.ly/34U8DSN>.
- Mateo, A. (2019). «Agricultura familiar campesina Proyecto de huertos familiares agroecológicos». Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) Santa Elena. Comunicación personal.
- Ortega, L. y col. (2016). «Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. [Efficiency of substrates in soil and hydroponic system for greenhouse tomato production]». En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7.3, 643-653. Online: <https://bit.ly/2K99vLn>.
- Prefectura Santa Elena (2017). *250 huertos familiares están activados en la provincia de Santa Elena*.
- Quagraine, K. y col. (2018). «Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest». En: *Journal of Applied Aquaculture* 30.1, 1-14. Online: <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1414009>.
- Red Agrícola (2017). *Cultivo hidropónico de Agro Top en Quillota*.
- Resh, H. (2013). *Hydroponic Food Production*. 7 ed. Online: <https://bit.ly/34TIV1x>: CRC Press.
- Ríos, J. (2013). *Plan de negocios para una empresa de hidropónicos localizada en el Municipio del Retiro en Antioquia*. Trabajo de grado para optar al título de Administrador de Empresas Agropecuarias. Antioquia, Colombia.
- Saavedra, G. y col. (2017). *Manual de producción de lechuga*. 9 ed. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. Online: <https://bit.ly/32D42Tg>.
- Sábada, S. y col. (2007). «Lechuga en cultivo hidropónico. Acercamiento a nuevas formas de producción». En: *Navarra Agraria* 161, 29-34. Online: <https://bit.ly/2NYYfSJ>.
- Salcedo, S. y L. Guzmán (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Recomendaciones de política*. Santiago de Chile: FAO. Online: <https://bit.ly/2K9cjlq>.
- Sharma, N. y col. (2018). «Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview». En: *Journal of Soil and Water Conservation* 17.4, 364-371. Online: <https://bit.ly/2Q72yye>.
- Solís, F. (2017). *Evaluación del rendimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en sistemas hidropónicos y aeropónicos automatizados*. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo.
- Tarqui, M. y col. (2017). «Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. [Index of water stress of lettuce crop (*Lactuca sativa*), through infrared thermometry to different irrigation sheets]». En: *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 4.1, 7-18. Online: <https://bit.ly/2NykE7>.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e Hidroponía*. 1 ed. España: Ed. Mundi Prensa Libros SA. (Grupo Paraninfo). Online: <https://bit.ly/2Q8j0hl>.
- Zaruma, S. (2009). *Incidencia de la cadena productiva de hortalizas en el desarrollo socio económico del proyecto Cañar-Murcia*. Tesis Ing. Agrónomo. Ríobamba, Ecuador.