

Costo y efecto de la suplementación con Forraje Verde Hidropónico: estudio de caso

Cost and effect of Supplementation with Hydroponic Green Forage: case study



Vanessa Villalobos Ramos ¹
Diego Fernando Quirós Badilla ²

Fecha de recepción: 1 de febrero, 2021
Fecha de aprobación: 31 de agosto, 2021

Vol.8 N° 1 Enero- junio 2022

*Quirós, D. y Villalobos, V. (2022). Costo y efecto de la suplementación con Forraje Verde Hidropónico: estudio de caso. Revista e-Agronegocios, 8(1).
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/5596>*

 DOI: <https://doi.org/10.18845/ea.v8i1.5596>

¹ Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
Correo: vanessa.villalobos@ucr.ac.cr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3701-517X>



² Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
Correo: diego.quirosbadilla@ucr.ac.cr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3023-6957>

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis de los costos y efectos de la suplementación de Forraje Verde Hidropónico (FVH), con semilla de maíz (*Zea mays*), en una finca de ganado doble propósito ubicada en Upala, Costa Rica, con énfasis en el área de producción de leche. La información se recopiló durante dos periodos diciembre 2018 – mayo 2019 (sin FVH) y diciembre 2019 – mayo 2020 (con FVH) para su comparación, siendo en Costa Rica los meses de verano. Se construyó un módulo de producción de FVH con riego nebulizado automatizado. Se realizó un análisis bromatológico al forraje en el tiempo de cosecha. Se midieron las variables peso, altura y días para cosecha del FVH. Posteriormente se evaluó el efecto de la suplementación con FVH en la producción de leche, donde las pruebas estadísticas (Wilcoxon y ANCOVA) señalan que hubo un aumento en los meses diciembre 2019 – mayo 2020 cuando se incorporó el FVH a la dieta de las vacas. El mayor costo de producción de FVH lo representa la semilla (52.64%), siendo además el insumo más sensible en el ámbito de la productividad, el costo de producción de la leche disminuyó al incorporar el FVH en la dieta, principalmente por el aumento de la producción y la reducción de la ración de concentrado brindado a las vacas en producción. Se sugiere profundizar en estudios fisiológicos en las vacas, y calidad de la leche al incorporar FVH a la dieta, así como análisis más robustos en la rentabilidad de la inversión necesaria para implementar este sistema.

Palabras clave: forraje hidropónico, análisis bromatológico, análisis de costo, ANCOVA, Test Wilcoxon.

Abstract

The objective of this work was to carry out an analysis of the costs and effects of the supplementation of Hydroponic Green Forage (FVH), with corn seed (*Zea mays*), in dual-purpose cattle farm located in Upala, Costa Rica, with an emphasis on milk production area. The information was collecting during two periods, December 2018 – May 2019 (without FVH) and December 2019 – May 2020 (with FVH), for comparison, being the summer months in Costa Rica. FVH production module was being a building with automated nebulized irrigation. A bromatological analysis of the forage was performing at harvest time. The variables weight, height, and days for harvesting of the FVH were measuring. Subsequently, the effect of supplementation with FVH on milk production was evaluating, where statistical tests (Wilcoxon and ANCOVA) indicate that there was an increase in the months December 2019 – May 2020, when FVH was being incorporated into the cows' diet. The highest production cost of FVH was represented by the seed (52.64%), being also the most sensitive input in the field of productivity. The cost of milk production decreased when incorporating FVH in the diet, mainly due to the increase in production and reduction of the concentrate portion provided to cows in production. It is suggested to deepen physiological studies in cows, and milk quality when FVH is incorporating into the diet, as well as more robust analysis on the profitability of the investment needed to implement this system.

Key words: hydroponic fodder, bromatological analysis, cost analysis, ANCOVA, Wilcoxon Test.

Introducción

El forraje verde hidropónico (FVH) surge como una alternativa de alimentación a nivel pecuario en fincas cuyo espacio es limitado y se requiere aumentar la productividad del suelo (Agius et al., 2019; Elizondo, 2005; Mohapatra et al., 2019), además se denota como una alternativa de bajo costo una vez realizada la inversión cuando se sustituye por rubros como el concentrado (Agius et al., 2019; Mohapatra et al., 2019), siendo los elementos mayormente requeridos la mano de obra y la semilla.

De manera especial, se valora como ventaja el uso de espacios reducidos para alta producción de forraje, conociendo que para el caso de Costa Rica, según el INEC (2015) un 68 % del total de fincas existentes son de 10 hectáreas o menos y un total de 30.248 fincas que representan el 32,5 % del total del país, están dedicadas a la actividad pecuaria como actividad económica principal; además, es característico de las fincas de menor tamaño, el autoempleo del grupo familiar, por lo que la producción de FVH podría convertirse en una fuente de empleo complementaria en especial para mujeres y jóvenes dado el nivel de control, inocuidad y uso de tecnología como el riego, que se requiere.

Dentro de las ventajas que representa el uso de FVH para la alimentación animal se encuentra un mayor ahorro en el uso de agua, optimización en el uso del espacio, menor tiempo de producción e intensificación para la alimentación, calidad nutricional e inocuidad (Al-Karaki & Al-Hashimi, 2012; Mora-Agüero, 2009; Morales et al., 2020; Ramírez Víquez, 2016)

Se realiza un abordaje desde la base de un estudio de caso en finca de un productor en Upala, Alajuela, Costa Rica, que se dedica a la actividad ganadera, específicamente ganado de doble-propósito. Sus objetivos fueron generar el mecanismo de producción de FVH bajo un ambiente propio y valorar el desarrollo a través de mediciones de altura, peso y aspectos nutricionales, como segundo objetivo se valora el efecto en la producción de leche en los periodos diciembre 2018 – mayo 2019 y diciembre 2019 – mayo 2020 como alternativa de alimentación frente a periodos de escasez de agua, como tercer objetivo se analiza el costo de producción de FVH y su efecto en la estructura de costo de producción de leche cuando se incorpora el FVH en la dieta.

Referente teórico

La hidroponía es una técnica de siembra en ausencia de suelo, utilizando sustratos inertes y soluciones nutritivas para el crecimiento vegetativo de los cultivos a producir (Sánchez-Laiño et al., 2010). Se conoce que el FVH es una alternativa de alimento en la producción pecuaria (García-Carrillo et al., 2013; Herrera-Torres et al., 2010; López-Aguilar et al., 2009; Vargas-Rodríguez, 2007); sin embargo, Costa Rica aún se encuentra rezagado en la adopción de esta alternativa de producción debido a diferentes factores como desconocimiento tecnológico, aversión al riesgo, dificultad para acceder al

crédito, entre otros.

El FVH es un alimento, basado en la germinación de granos y su posterior crecimiento bajo condiciones propias de hidroponía (García-Carrillo et al., 2013; Rivera et al., 2010; Vargas-Rodríguez, 2007). Para la producción de este tipo de forraje no se requiere de un sustrato para crecer, ya que los nutrientes para el desarrollo de las plántulas en etapa de 12 a 14 días, algunos estudios señalan incluso ocho días (Al-Karaki & Al-Hashimi, 2012; Mohapatra et al., 2019), se los provee la propia semilla y la humedad que un sistema de riego programado, le pueda brindar para su crecimiento (Elizondo, 2005; Mohapatra et al., 2019).

El término de ahorro de agua la recomendación del riego en FVH es sumamente controlada y según el clima donde se esté realizando, requiere de 2 a 3 litros de agua por kg de materia seca de FVH (FAO, 2001), lo cual podría ser un aliciente a las sequías y la disputa por el agua que se da algunas regiones del país, al ser de ciclo corto de producción, entre 9 y 14 días dependiendo del clima de la zona y el tipo de semilla que se utilice.

La calidad nutricional es otro aspecto considerado, dado que se han obtenido valores de proteína entre el 12 y 18 % para el caso de maíz como base para realizar el FVH, provee vitaminas E, C y caroteno, así como minerales: calcio, fósforo, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre (Araújo et al., 2020). De la investigación realizada Vargas-Rodríguez (2007) en la Estación Experimental Alfredo Volio de la Universidad de Costa Rica, se exponen las diferentes propiedades de los FVH a base de sorgo, maíz y arroz, siendo mayor el porcentaje de materia seca (15,82%) para el caso del arroz y mayor el porcentaje de proteína cruda (10,47%) para el caso del sorgo. Para el caso del maíz destaca que es el material más succulento por sus niveles de fibra y la cantidad de energía que puede aportar.

De acuerdo con Polimeni R, Fabozzi F y Alderberg A (1991), los costos se acumulan desde el punto de vista de trabajo, bajo un sistema por órdenes de trabajo o por procesos, algunos otros autores establecen la acumulación de costos para sistemas agrícolas, en un costeo por actividades (AgroWin, 2011; Perfetti et al., 2012).

El costo de producción está conformado por los tres elementos del costo (Cuevas, 2010):

- Materiales directos: Aquellos insumos que se utilizan durante el proceso de producción, que sufran algún tipo de transformación y que se encuentran contenidos en el producto final.
- La mano de obra directa: Aquella que, aunque no se transforma es necesaria para la producción y que sin ella no se obtendría el producto final.
- Los costos indirectos de producción: Son los que no mantienen una relación in-

directa con el proceso productivo, como la depreciación y mantenimiento de activos. La distribución de estos costos se basa en la producción que se espera conseguir en circunstancias normales, considerando el promedio de varios periodos.

Así mismo se pueden clasificar de acuerdo a su comportamiento (Horngren et al., 2012) en:

- Costos variables: costos que cambian de manera proporcional según sea el volumen de producción.
- Costos fijos: El costo permanece constante de manera global, y no depende de cambios en los volúmenes de producción.

Metodología

El estudio se desarrolló en una finca en el Porvenir de Upala, Alajuela, Costa Rica, con las siguientes coordenadas 10°55'40.4"N 85°14'50.1"W, con una altitud aproximada de 85 msnm, la región posee dos estaciones diferenciadas, época seca (enero-abril) y época lluviosa (mayo-diciembre), la precipitación promedio de la región ronda los 2400 mm, la temperatura promedio aproximada es de 26,9 °C (MINAE & IMN, 2013). Destinada a la ganadería de doble propósito, esta finca posee una extensión de 24 ha, de las cuales son aptas para la producción 15 ha (con potreros para pastoreo). El estudio se llevó a cabo durante dos periodos de tiempo comparables (particularmente los meses de verano o época seca): diciembre 2018-mayo 2019 de ahora en adelante periodo A, y diciembre 2019-mayo 2020 de ahora en adelante periodo B, el hato promedio en producción es de 15 vacas.

Producción de FVH

Para la producción de FVH se construyó un módulo con las siguientes características: columnas de madera y techo de zinc, se cubrió con malla antiáfidos blanca para evitar el ingreso de posibles plagas y permitir el ingreso de luz; se trabajó con cuatro estantes de madera con capacidad de 25 bandejas cada uno (5 bandejas por compartimiento). Se instaló un sistema de riego por nebulización automatizado a razón de una apertura 30-40 segundos durante cada hora durante el día (se requirió instalación de tanque y bomba de agua), todo el proceso de producción lo realizó el productor con el acompañamiento de los investigadores y apoyo técnico especializado, se facilitó material para que el productor anotara por día el peso ganado del FVH, así como la altura hasta la cosecha.

El proceso de producción utilizó semilla de maíz (el productor en ocasiones produjo su propia semilla y en periodos de escasez compró la semilla en el comercio local), no se

utilizaron soluciones hidropónicas¹, se siguieron los siguientes pasos:

- i. Imbibición: se colocó la semilla en agua con una solución desinfectante por 12 horas.
- ii. Se utilizó una malla fina para escurrir la semilla (evitando contacto con el suelo).
- iii. Se colocó el maíz en las bandejas (3 kg de maíz pesado después de la imbibición rinde para 5 bandejas), se añade por lo tanto 0,6 kilogramos de maíz imbibido por bandeja.
- iv. Durante 3 días se colocó el maíz tapado con plástico u otro material negro para simular una fase oscura (primer compartimiento del estante).
- v. Cada 2-3 días se pasó las bandejas al estante siguiente para seguir con el proceso.
- vi. Entre los días 10 y 12 se realizó la cosecha

Se realizó un análisis bromatológico del FVH, utilizando el forraje de las bandejas a cosechar, en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, se determinó su composición en los siguientes rubros: materia seca (MS), cenizas, calcio, fósforo, extracto etéreo, humedad (60%), proteína cruda (PC), energía digestible, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).

Métodos estadísticos

Medición de producción de leche y otras variables

Para las pruebas estadísticas se utilizó el Software SPSS Statistics versión 23 (IBM Corp, 2015). Se pesó la producción de leche, y se analizaron los datos en términos de promedio de producción de leche diario (Plc) tanto del periodo A como del periodo B (Tratamiento), a fin de comparar el efecto de la incorporación del FVH en la dieta, en el promedio de producción de leche de la finca, suministrándole a las vacas una ración diaria de media bandeja de FVH (aproximadamente 1,25 kg) durante el periodo de estudio, así mismo se midió la temperatura promedio (T_{pro}) en ambos periodos para analizar un efecto como covariable en la producción de leche, ya que es una variable que se ha demostrado tiene importante relevancia en el desempeño productivo del ganado (Arias et al., 2008). El nivel de significancia fue del 95%.

¹ Las soluciones hidropónicas hacen referencia a sustancias utilizadas para nutrición (fertilización) de los cultivos en este sistema que se mezclan con el agua aportada en el sistema de riego.

Análisis estadístico

Se encontró que las distribuciones de las variables Plc y Tpro incumple el supuesto de normalidad e igualdad de las varianzas por lo que no es posible realizar pruebas paramétricas para determinar diferencias entre los tratamientos (Hollander et al., 2013), dado lo anterior se aplicó una prueba pareada de rango con signos de Wilcoxon como prueba no paramétrica, entre el Plc del periodo A sin forraje (Tratamiento 1) y el Plc del periodo B con forraje (Tratamiento 2). La hipótesis nula supone que el valor medio del Plc son iguales, y como hipótesis alternativa se supone que el valor medio de Plc entre tratamientos es distinta y mayor para el periodo B al incorporar en la dieta la ración de FVH.

Dado que existen otras variables que pueden explicar el aumento o disminución del Plc entre cada periodo, se incorporó la covariable Tpro, para realizar un modelo de análisis de covarianza (ANCOVA), dado el incumplimiento de normalidad e igualdad de las varianzas que presentaban los datos, se realizó una simulación de muestreo por medio del método Bootstrap como prueba robusta, esto por recomendaciones de estudios que señalan este método con pruebas estadísticas (ANCOVA en este caso) para generar resultados confiables en escenarios de no-normalidad y heterogeneidad de las varianzas (Wilcox, 2011).

Como hipótesis nula se establece que no hay efecto de la covariable Tpro en la variable respuesta, se obtuvieron las medias marginales de producción de leche (Plc) para ambos tratamientos, excluyendo el efecto de la covariable Tpro, a fin de ser utilizados en el análisis de costo de producción de la leche, el diseño fue el siguiente:

$$Plc = \alpha + \beta_1 * Tratamiento + \beta_2 * Tpro + \beta_2 * Tratamiento * Tpro \quad (1)$$

Donde,

Plc = producción de leche

α = intercepto

*$\beta_1 * Tratamiento$ = efecto del tratamiento*

*$\beta_2 * Tpro$ = efecto de la temperatura*

*$\beta_2 * Tratamiento * Tpro$ = efecto combinado del tratamiento y la temperatura*

Es importante destacar que en términos de alimentación se mantuvieron las mismas condiciones en ambos periodos tanto de potrero como de pasto de corta, en el periodo A el productor le daba a las vacas en producción un kilogramo de concentrado por cada 3 kilogramos de leche producidos (razón 1:3), durante el periodo B se disminuyó la ración de concentrado a únicamente un kilogramo diario independientemente del nivel de producción de leche que tuviera cada vaca, siendo la adición del FVH a la dieta de las vacas en producción en el periodo B a razón de 1,25 kilogramos diarios por vaca.

Análisis de los costos

Para la recopilación de los costos de la producción de FVH se tomaron en cuentas los costos fijos y variables, el ciclo de costeo se trabajó a nivel mensual, el productor tomó datos como se mencionó anteriormente de los rendimientos obtenidos de FVH diariamente:

- Costos fijos: Depreciación del módulo y sus componentes (sistema de riego) y la electricidad.
- Costos variables: Semilla, mano de obra, insumos de desinfección.

La producción de leche también se costó (únicamente las vacas en producción) para el análisis de la incorporación del suplemento de FVH en la alimentación de las vacas, el ciclo de costeo también se realizó de manera mensual tomando en cuenta los costos variables y fijos, para lo cual se realizaron dos estructuras de costos para producción de leche, sin FVH (periodo A) y con FVH (periodo B):

- Costos fijos: Depreciación corrales y equipos, mantenimiento de potreros.
- Costos variables: Mano de obra, alimentación (pasto de corta y complementos) y medicamentos.

Los costos unitarios están en función de los promedios de los rendimientos medidos y calculados durante el estudio y el uso de las pruebas estadísticas.

Resultados

Producción de FVH

De los ensayos realizados fue posible obtener mediciones de desarrollo y peso final del forraje a través de cada día del proceso, desde la imbibición hasta la cosecha, siendo el peso promedio por bandeja de 2,53 kg, a razón de una ganancia de peso del 321,67% aproximadamente, la altura promedio alcanzada del FVH fue 32.5 cm.

Cuadro 1. Peso (kg) y altura (cm) promedio del FVH al día de cosecha.

Rubro	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Máximo	Mínimo
Peso	2,53	0,42	16,75%	3,26	1,30
Altura	32,35	3,00	9,28%	37,00	20,00

En la Figura 1 se puede observar el desarrollo del forraje bajo tres observaciones, la primera a los tres días después de la colocación de la semilla en las bandejas, a los siete

días y a los diez días.



Figura 1. Desarrollo del FVH, de izquierda a derecha: tres, siete y diez días respectivamente.

El resultado del análisis bromatológico realizado al FVH en cosecha se presenta en el Cuadro 2, siendo destacables los indicadores de Proteína Cruda (17,79) y Energía Digestible (3,44).

Cuadro 2. Resultado del análisis bromatológico al FVH en porcentaje.

Contenido	Resultado (porcentaje)
Cenizas	3,38
Calcio	0,33
Fósforo	0,32
Extracto etéreo	4,62
Humedad 60°C	9,34
Proteína cruda	17,79
Materia seca	9,34
Energía digestible	3,44
FDN	43,90
FDA	22,50

Fuente: Elaboración propia con datos de análisis realizado por el CINA, 2019.

Análisis estadístico

Los estadísticos descriptivos (Cuadro 3) muestran que existió un promedio más alto de leche diario en el periodo A, cuando se aplicó el tratamiento 2 (incorporación de FVH a razón de 1,25 kg aproximadamente en la dieta diaria de las vacas en producción), en comparación con el periodo A donde aún no se proporcionaba FVH a las vacas en producción. Es importante mencionar que las vacas en producción sufrieron una intoxicación a finales de enero del periodo B como se puede apreciar en la Figura 2, lo cual ocasionó una baja significativa en la producción, este acontecimiento atípico forma parte de los datos para la comparación del promedio de producción que se muestra.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos del promedio de producción de leche en kilogramos de ambos periodos de estudio.

Rubro	Periodo A	Periodo B
Media	10,37	11,89
Mediana	10,45	12,2
Varianza	0,76	1,31
Desviación estándar	0,87	1,14
Coefficiente de variación	8,39%	9,59%
Mínimo	7,81	8,87
Máximo	12,45	14,19

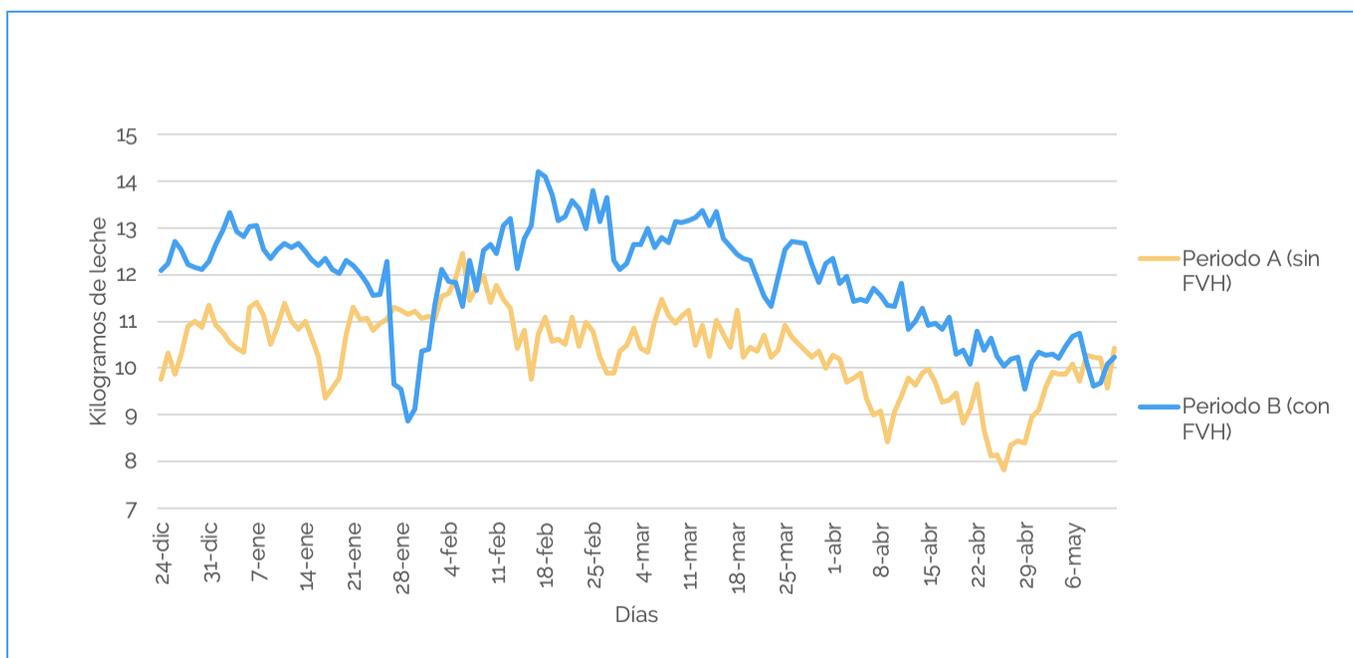


Figura 2. Promedio diario producción de leche (periodo A vs periodo B) en kilogramos.

Como se mencionó en el apartado metodológico los datos no seguían una distribución normal, además de presentar heterogeneidad de las varianzas, por lo que no fue posible utilizar una prueba paramétrica, dado esto, se recurrió a utilizar la prueba de rango con signos de Wilcoxon como prueba no paramétrica, comprobándose diferencia en las medias de Plc, al ser una prueba bilateral se evidencia que la producción de leche fue mayor en el periodo B al incluir en la dieta de las vacas la ración de FVH, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de la prueba pareada de rango con signos de Wilcoxon.

<i>Prueba pareada de rango con signos de Wilcoxon</i>			Diferencia entre el tratamiento 1 y 2
<i>Variable</i>	<i>Valor w</i>	<i>Valor p</i>	
Producción promedio diario de leche (Plc)	-9,325	.000	Significativa

La comparación que se realizó mantiene similitud en cuanto el tamaño del hato, las mismas vacas en producción, mismo personal a cargo de las labores, misma dieta en cuanto a pastos en potrero y pastos de corta, entre otros.

No es posible afirmar que el aumento de producción de leche se debió exclusivamente a la incorporación del FVH a la dieta de las vacas en producción, dado que otras variables tanto endógenas como exógenas podrían estar influyendo en este resultado, se incluyó la variable temperatura promedio como covariable para analizar y separar este efecto en la producción de leche.

Por medio del método de simulación de muestreo por Bootstrapping para subsanar el hecho de que los datos no cumplían los supuestos de normalidad e igualdad de las varianzas, se obtuvieron los resultados representados en el Cuadro 5 y Cuadro 6.

Cuadro 5. ANCOVA con simulación de muestreo² Bootstrapping, estimación de los parámetros.

Parámetro	B	Sesgo	Error estándar	Sig. (bilateral)	Intervalo de confianza al 95% de Bca	
					Inferior	Superior
Intercepto (α)	18,384	0,66	1,16	0,001	16,165	20,914
Tratamiento	3,129	-0,69	1,941	0,112	-0,658	6,834
Tpro	-0,214	-0,002	0,039	0,001	-0,291	-0,146
Tpro*Tratamiento	-0,159	0,002	0,065	0,13	-0,29	-0,025

Cuadro 6. Medias Marginales estimadas.

Tratamiento	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%		Simulación de muestreo para media			
			Limite inferior	Limite superior	Sesgo	Error estándar	Intervalo de confianza al 95% Bca	
							Inferior	Superior
1	10,282	0,08	10,125	10,439	-0,003	0,077	10,122	10,421
2	11,945	0,078	11,791	12,1	0,002	0,088	11,779	12,121

² Los resultados de la simulación de muestreo se basan en 1000 muestras de simulación de muestreo.

Al despejar el efecto de la covariable se obtienen promedio de producción de leche con un error reducido, siendo para el tratamiento 1 de 10,28 kg diario y para el tratamiento 2 de 11,95 kg diario, estos datos promediados se utilizan como base para el cálculo del costo unitario de producción de leche.

Análisis de los costos de producción

Con la capacidad de instalación del módulo de FVH que poseía el productor y el promedio de rendimiento calculado por bandeja (2,53 kg) se obtiene un rendimiento mensual total de 542,11 kg de FVH (periodo B), posteriormente se instaló una segunda etapa que duplicó la producción, actualmente el productor posee una capacidad de producción de 1 084, 22 kg de FVH por mes. Es importante destacar el peso que tiene la semilla sobre el costo de producción de FVH con un 52.64%, como se observa en el Cuadro 7, siendo además un insumo vital, ya que semilla de calidad baja significa menores rendimientos, obsérvese el valor mínimo del Cuadro 1, derivado del uso de semilla de mala calidad, que repercute también el costo unitario del kg de FVH.

Cuadro 7. Costos de producción de FVH mensuales en colones.

Costos Variables	Costo Total	%
Labores manuales (incluye cargas sociales)	¢17 130,45	28,06%
Semilla (Precio de mercado)	¢32 142,86	52,64%
Insumos de desinfección	¢1 169,90	1,92%
Costos Fijos	Costo Total	%
Instalaciones y equipos (Depreciación)	¢9 284,91	15,21%
Electricidad (Agua propia)	¢1 329,97	2,18%
Costo Total	¢61 058,08	
Costo Unitario por kg	¢112,63	

Por otra parte, también se destaca que para la producción de FVH el factor humano es importante, y una adecuada capacitación para su producción ya que requiere de cuidados en todo su proceso de producción.

Cuadro 8. Costos de producción mensuales de leche periodo A (sin FVH) y periodo B (con FVH) en colones

Rubros	Periodo A sin FVH		Periodo B con FVH	
Costos Variables	Costo Total	%	Costo Total	%
Labores manuales (incluye cargas sociales)	276 387,15	33,92%	276 387,15	48,00%
Alimentación (Pasto de corta, potreros y complementos)	74 356,93	9,13%	49 815,91	8,65%
Concentrado	388 927,83	47,74%	113 478,26	19,71%
Forraje verde hidropónico (FVH)	-	0,00%	61 058,08	10,60%
Medicamentos	3 729,13	0,46%	3 729,13	0,65%
Costos Fijos	Costo Total	%	Costo Total	%
Instalaciones y equipos (Depreciación)	20 243,06	2,48%	20 243,06	3,52%
Potreros (Mantenimiento, depreciación)	51 080,80	6,27%	51 080,80	8,87%
Costo Total	₡ 814 724,91	100%	₡ 575 792,40	100,00%
Costo Unitario por kg	₡176,08		₡ 107,12	

El análisis de los costos de producción reflejan un dato importante en el ahorro de concentrado cuando se suministra FVH a las vacas en producción, durante el periodo A el concentrado fue el rubro que poseía mayor peso en la estructura de costos, reduciéndose significativamente en la estructura de costos del periodo B pasado de un 47,74% a un 19,71%, para ambos casos se trabaja con el promedio de vacas en producción (15) y los promedio de leche obtenidos en el Cuadro 6.

Discusión

En términos de producción de FVH en la finca de estudio se destacan los buenos resultados obtenidos en comparación de estudios con un ambiente totalmente controlado y sustancias nutritivas (Maldonado-Torres et al., 2013; Salas-Pérez et al., 2010), esto debido al buen manejo que realizó el productor con el seguimiento de los procesos recomendados y consultas al equipo técnico ante los problemas que se presentaron durante todo el año de aprendizaje y producción constante.

En el aspecto nutricional, se destacan los valores de Proteína cruda y energía digerible igualmente comparables con estudios bajo ambientes controlados (Elizondo, 2005; Lopez Pascua & Mcfield Garcia, 2013; Maldonado-Torres et al., 2013; Ramírez Viquez, 2016; Rivera et al., 2010; Vargas-Rodríguez, 2007), así como sus otros aspectos nutricionales.

Los efectos en la producción de leche en ambos periodos de evaluación fueron notables, siendo que la cantidad de FVH provista fue baja (1,25kgs) en razón de las reco-

mendaciones del especialista en nutrición animal para la contextura y tipo de vacas, aun cuando se redujo la cantidad de concentrado brindado a las vacas en producción, aunque hacen falta más tiempo de estudio para respaldar estos resultados, se concuerda con lo señalado por diversos estudios recientes (Agius et al., 2019; Mohapatra et al., 2019) en términos en eficiencia del FVH.

Es importante tomar en cuenta que otras variables pueden jugar un papel importante en la producción, en este caso se decidió tomar la variable temperatura pues se reconoce su efecto en la producción de leche de manera significativa (Ekine-Dzivenu et al., 2020), los resultados muestran que el efecto de la covariable Tpro en la producción de leche es significativa, a razón de que un aumento en la temperatura, repercute negativamente en la producción de leche, además analizar variables como la calidad forrajera de los potreros, pasto de corta, y calidad de la leche una vez añadida la variable del complemento del FVH.

Es el aspecto económico, se logró observar una importante reducción de los costos de producción de leche, aun reconociendo la inversión inicial importante para la producción de FVH, principalmente en el sistema de riego, controlador de tiempos de apertura del agua, bomba y tanque de agua; no obstante, se requiere un análisis financiero robusto a largo plazo que refleje la rentabilidad de la inversión, y el beneficio económico de una posible comercialización del producto, este beneficio económico también es remarcado por diversos estudios (Agius et al., 2019; Hassan et al., 2016; Mohapatra et al., 2019).

Conclusiones

La técnica o ciclo de procesos para la obtención de FVH posee diversas variaciones lo que conlleva a una alta exigencia técnica y de conocimiento desde la selección y preservación de la semilla, hasta la determinación de la cantidad de días que se dejará como óptimo para aprovechar la cantidad máxima de nutrientes, usando como criterio de decisión el porcentaje de proteína, para lo cual se requieren de más estudios “in situ” para determinar este componente en diferentes épocas del año y en diferentes etapas de crecimiento.

Se destaca el éxito tanto para suministrar la dosis adecuada de agua como por manejo de inocuidad y sanidad de las plántulas, se obtiene cuando el riego es nebulizado, con frecuencias altas, ante lo cual, sin un sistema de riego de programación por hora con espacios de segundos, no se alcanzan óptimos de germinación y homogenización en el desarrollo del FVH. Se observó la alta apetencia y preferencia de parte de los animales por este tipo de forraje.

En el aspecto económico, regularmente se compara con el precio del concentrado y en relación únicamente al indicador de materia seca, siendo más oneroso el FVH en

términos de este rubro, sin embargo, en la finca de estudio y con los resultados obtenidos se determina un buen sustituto al concentrado, con un gran ahorro en los costos de producción, sin eliminar totalmente el concentrado, no obstante, cabe señalar que se requieren análisis del efecto en aspectos fisiológicos de las vacas (el productor señala una mejora en este aspecto, sin embargo no se midió) y en la calidad de la leche.

Una de las preocupaciones comunes a los involucrados en la producción de FVH ha sido tanto la disponibilidad, como la calidad de la semilla, dado que estos aspectos determinan el porcentaje de germinación, el crecimiento de las plántulas, así como la inocuidad bacteriológica del forraje. Se confirma la recomendación de que sea el mismo productor del FVH quién también produzca la semilla o insumo de mayor valor, y seguir los protocolos de producción de manera eficiente para lograr óptimos resultados en rendimiento del FVH.

Como parte del estudio se realizaron giras de campo y charlas con la experiencia del productor como mecanismos de difusión de los resultados a otros productores de la región, no obstante, se remarca la necesidad de programas de capacitación adecuados por las instituciones pertinentes, siendo un elemento de gran interés, principalmente para familias que conservan actividades pecuarias, con poca disponibilidad de tierra, capacidad para innovar, uso de tecnologías y requerimiento de fuente de empleo familiar.

Por otra parte, se remarca la necesidad de estudios enfocados en el área de la zootecnia para evaluar de manera técnica elementos como la calidad de leche una vez introducido el forraje verde hidropónico, así como su efecto a nivel fisiológico en los animales, incluyendo elementos de elaboración de dietas incorporando el FVH, así como la medición de otras variables que pueden tener incidencia en el nivel de producción de leche, cuando se incorpora este tipo de suplementación.

Literatura citada

Agius, A., Pastorelli, G., & Attard, E. (2019). Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: Effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62(2), 517–525. Scopus. <https://doi.org/10.5194/aab-62-517-2019>

AgroWin. (2011). Manual de costos de producción. InSoft Ltda. <http://www.agrowin.com/documentos/manual-costos-de-produccion/MANUAL-COSTOS-AGROWIN-CAP1-2y3.pdf>

Al-Karaki, G. N., & Al-Hashimi, M. (2012). Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions. *ISRN Agronomy*, 2012, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/924672>

- Araújo, N. C. de, Coura, M. de A., Oliveira, R. de, Meira, C. M. B. S., & Rodrigues, A. C. L. (2020). Crecimiento e proteína bruta de forragem hidropônica de milho fertilizado com urina humana e manipueira. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(2), 721–735. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n2p721-735>
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(1), 7–22. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Cuevas, C. F. (2010). *Contabilidad de costos: Enfoque gerencial y de gestión*. Prentice Hall.
- Ekine-Dzivenu, C. C., Mrode, R., Oyieng, E., Komwihangilo, D., Lyatuu, E., Msuta, G., Ojango, J. M. K., & Okeyo, A. M. (2020). Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*, 242. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
- Elizondo, J. (2005). Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. *Revista ECAG*, 32, 36–39.
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., & Romero-Paredes, J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 169–176. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9794>
- Hassan, M. B., Shafiq, F. A., Mokhtar, S., & El-Agroudy, N. M. (2016). An economic study for the alternatives of traditional fodder. *International Journal of ChemTech Research*, 9(10), 1–9. Scopus.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Ríos-Rincón, F. G., Reyes-Estrada, O., & Bernal-Barragán, H. (2010). Effect of harvest time on the protein and energy value of wheat hydroponic green fodder. *Interciencia*, 35(4), 284–289. Scopus.
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (2013). *Nonparametric Statistical Methods*. John Wiley & Sons.
- Hornngren, C. T., Datar, S. M., Rajan, M. V., Gómez Mont Araiza, J., & Hornngren, C.

- T. (2012). Contabilidad de costos: Un enfoque gerencial (14. ed). Pearson Educación.
- IBM Corp. (2015). IBM SPSS Statistics for Windows (23.0) [Computer software]. IBM Corp.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (Costa Rica) (Ed.). (2015). VI censo nacional agropecuario. INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Lopez Pascua, P., & Mcfield Garcia, S. E. (2013). Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (zea mays) variedad NB6, en un invernadero no tradicional [Universidad Nacional Agraria]. <http://repositorio.una.edu.ni/2751/1/tnf04l864l.pdf>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., & Rodríguez-Quezada, G. (2009). Hydroponic green fodder (HGF): An alternative for cattle food production in arid zones. *Interciencia*, 34(2), 121–126. Scopus.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, Ma. E., Cristobal-Acevedo, D., & Ríos-Sánchez, E. (2013). MINERAL NUTRITION OF HYDROPONIC GREEN FORAGE. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX(2), 211–223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- MINAE, & IMN. (2013). Descripción del clima. Cantón de Upala. Instituto meteorológico nacional. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/DescripciondelClimaSERIE/DescripcionClimaCantonUpala/html5/index.html?page=1&noflash>
- Mohapatra, K. K., Mohapatra, S., Ekka, R., Behera, R. C., & Mohanta, R. K. (2019). Variations in Round-the-Year Fodder Production in a Low-Cost Hydroponic Shed. *National Academy Science Letters*, 42(5), 383–385. <https://doi.org/10.1007/s40009-018-0764-5>
- Mora-Agüero, C. E. (2009). Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3945>
- Morales, D., Jiménez, L., Burneo, J., & Capa Mora, E. D. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21, 1–16. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_

art:1386

- Perfetti, J. J., Escobar, D., Castro, F., Cuervo, B., Rodríguez, M., Vargas, J., Martínez, S., & Cortés, S. (2012). Costos de producción de doce productos agropecuarios. FEDESARROLLO. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/378>
- Polimeni, R. S., Stevens, M., & Adelberg, A. H. (1991). *Cost accounting: Concepts and applications for managerial decision making* (3. ed). McGraw-Hill.
- Ramírez Víquez, C. A. (2016). Efecto de la nutrición sobre la calidad del forraje verde hidropónico en la zona de Alajuela, Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/3894>
- Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, D., Perdomo, D., & García, D. E. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia tropical*, 28(1), 33–41.
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., de, V., Álvarez-Reyna, P., Palomo-Gil, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. 6.
- Sánchez-Laiño, A., Meza-Chica, A., Álvarez-Tubay, A., Rizzo-Zamora, L., & Guadalupe-Puente, Á. (2010). Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) deshidratado en el engorde de conejos Nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*). *Revista Ciencia y Tecnología*, 3(2), 21–23.
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2007). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 233–240. <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- Wilcox, R. R. (2011). *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing*. Academic Press.