

Estimado lector:

Tras un trabajo continuo en la dirección trazada desde el 2013 la UPS ha seguido mejorando un año más como Universidad de Investigación, pasando de la posición 6.611 del mundo y 13 del Ecuador (Webometrics, 2013) a ocupar actualmente la posición 2627 (Webometrics, 2020) a nivel mundial, la 170 en el continente y la 7 a nivel Nacional del Ecuador. El trabajo de mejora continua de todos los equipos y la visión estratégica han permitido avanzar en el Ranking Mundial en 3984 posiciones en 7 años y 366 nuevos puestos respecto al 2019. Dentro de esta estrategia global de mejora de la UPS como Universidad de Investigación, se consiguió la inclusión en el 2018 de LA GRANJA, del área de Ciencias de la Vida, como la primera publicación universitaria del Ecuador en ser incluida en SCOPUS, del editorial Elsevier e indexada en el Emerging Source Citation Index de la Web of Science (WOS).

En esta edición se presentan artículos de autores de 5 países y 16 Universidades y Centros de Investigación. Empezamos este número 31 con el tema del monitoreo meteorológico, en un esfuerzo entre el Departamento en Ciencias de Sistemas Ambientales de Suiza y la Universidad de Cuenca, liderado por el Dr. Ryan Padrón y su excelente equipo. Complementariamente, investigadores de la Universidad de las Fuerzas Armadas, liderados por Teófilos Toulkeridis, analizan la problemática de las percepciones en la importante y actual temática del Cambio Climático.

Desde México, Nayeli Martínez y Erick de la Barrera, investigadores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y de la Universidad Nacional Autónoma de México, nos presentan estudios de las malezas urbanas. Mientras que Salomé Araujo y su equipo conjunto de la Universidad Nacional de Loja, la Universidad de las Américas y la Universidad Técnica Particular de Loja,

analizan la contaminación de cadmio sobre las almendras de cacao con técnicas espectroscópicas.

En la temática de la conservación y la biotecnología, Paola Jiménez y su equipo interdisciplinario de la Universidad Politécnica Salesiana y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, nos presentan técnicas eficaces para la propagación in vitro del Quishuar. Asimismo, abordando el tópico de sistemas pecuarios, específicamente el caprino, Araceli Solís y su equipo de la Universidad Estatal de la Península de Santa Elena nos presentan un estudio de tipificación integral de estos mamíferos.

Como ya es costumbre, un área importante de La Granja es el de las Ciencias Veterinarias, Jimmy Quisirumbay, desde la Universidad Central, nos presenta un meta-análisis de los efectos de la glutamina en la alimentación de lechones. Mientras que desde Perú, Victor Carhuarpoma De la Cruz y su equipo de investigadores de la Universidad de Huancavelica, nos presentan estudios de resistencia antibiótica sobre las emblemáticas alpacas.

Finalmente, y para cerrar con broche de oro, desde la temática de la producción agropecuaria, Rosa Pertierra y Jimmy Quispe, de la Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, nos presentan un análisis económico del sistema productivo de las lechugas hidropónicas. Y Carlos Abad y su equipo de la Universidad Técnica Particular de Loja, analizan la técnica de microtúnel en la productividad del cultivo de fresa.

Agradecemos a todos ellos su colaboración y trabajo para seguir mejorando la Revista y contribuir a la mejora de la sociedad desde la difusión de ciencia y de las investigaciones internacionales en el ámbito de las Ciencias Ambientales y de la Tierra. Quienes hacemos La Granja, Revista de Ciencias de la Vida, estamos seguros de que éste es un compendio de investigaciones que seguramente serán de utilidad e interés en la comunidad científica.

Cordialmente,

Ph.D Ignacio de los Ríos Carmedano
Universidad Politécnica de Madrid
EDITOR EN JEFE

Ph.D(c) Sheila Serrano Vincenti
Universidad Politécnica Salesiana
EDITOR EN JEFE



COMPARACIÓN ENTRE PLUVIÓMETROS CUANTIFICA DIFERENCIAS EN EL MONITOREO DE LA PRECIPITACIÓN

RAIN GAUGE INTER-COMPARISON QUANTIFIES DIFFERENCES IN PRECIPITATION MONITORING

Ryan S. Padrón¹ , Jan Feyen² , Mario Córdova² , Patricio Crespo²  y
Rolando Célleri^{*2} 

¹ Department of Environmental Systems Science. ETH Zurich, Switzerland.

² Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales. Universidad de Cuenca. Av 12 de Abril, Cuenca, 10150, Ecuador.

*Autor para correspondencia: rolando.celleri@ucuenca.edu.ec

Manuscrito recibido el 5 de junio de 2019. Aceptado, tras revisión, el 9 de diciembre de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Por décadas se ha trabajado para corregir las medidas de precipitación, sin embargo estos esfuerzos han sido escasos en zonas tropicales montañosas. Cuatro pluviómetros de balancín (TB), con distinta resolución y comúnmente utilizados en las montañas de los Andes, fueron comparados en este estudio: un DAVIS-RC-II, un HOBO-RG3-M, y dos TE525MM (con y sin una pantalla Alter contra el viento). El desempeño de estos pluviómetros, instalados en el Observatorio Ecohidrológico Zhurucay, sur del Ecuador, a 3780 m s.n.m., se evaluó en relación al sensor de mejor resolución (0,1 mm), el TE525MM. El efecto de la intensidad de precipitación y condiciones del viento también se analizó utilizando 2 años de datos. Los resultados revelan que (i) la precipitación medida por el TB de referencia es 5,6% y 7,2% mayor que la de pluviómetros con resolución de 0,2 mm y 0.254 mm, respectivamente; (ii) la subestimación de los sensores de menor resolución es mayor durante eventos de baja intensidad—una máxima diferencia de 11% para intensidades $\leq 1 \text{ mm h}^{-1}$; (iii) intensidades menores a 2 mm h^{-1} , que ocurren el 75% del tiempo, no pueden ser determinadas con exactitud para escalas menores a 30 minutos debido a la resolución de los pluviómetros, e.g. sesgo absoluto $> 10\%$; y (iv) el viento tiene un efecto similar en todos los sensores. Este análisis contribuye a mejorar la exactitud y homogeneidad de las medidas de precipitación en los Andes mediante la cuantificación del rol clave de la resolución de los pluviómetros.

Palabras clave: Pluviómetros de balancín, análisis comparativo, exactitud de medición, efectos de intensidad y viento, tropical

Abstract

Efforts to correct precipitation measurements have been ongoing for decades, but are scarce for tropical highlands. Four tipping-bucket (TB) rain gauges with different resolution that are commonly used in the Andean mountain region were compared-one DAVIS-RC-II, one HOBO-RG3-M, and two TE525MM TB gauges (with and without an Alter-Type wind screen). The relative performance of these rain gauges, installed side-by-side in the Zhurucaiy Ecohydrological Observatory, south Ecuador, at 3780 m a.s.l., was assessed using the TB with the highest resolution (0.1 mm) as reference, i.e. the TE525MM. The effect of rain intensity and wind conditions on gauge performance was estimated as well. Using 2 years of data, results reveal that (i) the precipitation amount for the reference TB is on average 5.6 to 7.2% higher than the rain gauges having a resolution of 0.2 mm and 0.254 mm respectively; (ii) relative underestimation of precipitation from the gauges with coarser resolution is higher during low-intensity rainfall mounting to a maximum deviation of 11% was observed for rain intensities $\leq 1 \text{ mm h}^{-1}$; (iii) precipitation intensities of 2 mm h^{-1} or less that occur 75% of the time cannot be determined accurately for timescales shorter than 30 minutes because of the gauges' resolution, e.g. the absolute bias is $>10\%$; and (iv) wind has a similar effect on all sensors. This analysis contributes to increase the accuracy and homogeneity of precipitation measurements throughout the Andean highlands, by quantifying the key role of rain-gauge resolution.

Keywords: Tipping-bucket rain gauge; comparative analysis; measurement accuracy; intensity and wind effect; tropical.

Forma sugerida de citar: Padrón, R.S., Feyen, J., Córdova, M., Crespo, P., y Célleri, R. (2020). Comparación entre pluviómetros cuantifica deficiencias en el monitoreo de la precipitación. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):7-20. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.01>.

IDs Orcid:

Ryan S. Padrón: <http://orcid.org/0000-0002-7857-2549>Jan Feyen: <http://orcid.org/0000-0002-2334-6499>Mario Córdova: <http://orcid.org/0000-0001-8026-0387>Patricio Crespo: <http://orcid.org/0000-0001-5126-0687>Rolando Célleri: <http://orcid.org/0000-0002-7683-3768>

1 Introducción

Los estudios hidrológicos requieren de la precipitación como insumo (Vuerich y col., 2009; Savina y col., 2012; Seo y col., 2015; Muñoz, Céleri y Feyen, 2016) y en respuesta a esto se han desarrollado varios sensores de lluvia, con diferentes principios operativos y tecnológicos. Entre los sensores de grabación basados en puntos los más utilizados son el pluviómetro de balancín, el pesaje y los medidores flotantes (Nystuen, 1999; WMO, 2008; Grimaldi y col., 2015). En particular, el pluviómetro de balancín (PB) es un dispositivo muy popular, utilizado en todo el mundo (Humphrey y col., 1997; Habib, Krajewski y Kruger, 2001; Tokay y col., 2003; Molini, Lanza y La Barbera, 2005; Vuerich y col., 2009; Mekonnen y col., 2014; Chen y Chandrasekar, 2015; Dai, 2015; Keller y col., 2015). El PB es generalmente un aparato de bajo costo, pero dependiendo del fabricante puede tener diferente resolución y precisión para medir las precipitaciones. Según Savina y col., (2012) las imprecisiones en las mediciones de los medidores de PB se deben principalmente a la variabilidad de la precipitación y la sensibilidad a las condiciones ambientales, así como a los errores mecánicos y de calibración. Según la Organización Mundial de Meteorología (WMO, 2008), las principales fuentes de inexactitud de los indicadores de PB son: pérdidas por evaporación y humectación, y errores inducidos por el viento. Dado que los errores en las mediciones de lluvia pueden conducir al fracaso de la infraestructura hidráulica o a conclusiones erróneas en la investigación Willems2001, se realizaron considerables esfuerzos internacionales para cuantificar y limitar la incertidumbre en las mediciones de lluvia (Lanza y Stagi, 2008).

Se han realizado varios estudios comparativos para definir las diferencias en la profundidad de precipitación capturada por los medidores de lluvia, y para elaborar directrices para la corrección de las mediciones. Desde 1955, la OMM ha llevado a cabo cuatro estudios comparativos internacionales de alta calidad (Sevruk, Ondrás y Chvíla, 2009) para ayudar a los múltiples usuarios de pluviómetro en la correcta interpretación de las mediciones de precipitación. En los estudios de intercomparación de la OMM (Sevruk y Hamon, 1984; Vuerich

y col., 2009), los datos de los medidores de pozos se utilizan como referencia para cuantificar las desviaciones de las mediciones de los sensores con respecto a la profundidad real de lluvia. No obstante, los estudios relativos entre comparaciones también son valiosos, de ahí el amplio número de literatura dedicada a comparar el rendimiento de los sensores de lluvia con diferentes tecnologías, precisión y resolución (Krajewski, Kruger y Nesper, 1998; Nešpor y Sevruk, 1999; Nystuen, 1999; Krajewski y col., 2006; Lanzinger, Theel y Windolph, 2006; Rollenbeck y col., 2007; Duchon y Biddle, 2010). Aunque se espera que los medidores más precisos funcionen mejor que los menos precisos, aún se desconoce el efecto de la intensidad de la lluvia y las condiciones del viento en las mediciones del sensor.

Existen pocos estudios comparativos de los pluviómetros en las zonas montañosas tropicales. En los Andes, la cordillera continental más larga del mundo, un estudio ha analizado el rendimiento de los sensores de lluvia en un bosque tropical de montaña en el sureste de Ecuador ubicado a una altitud de 1960 m.s.n.m. (Rollenbeck y col., 2007), y otro estudio analizó el rendimiento en los pluviómetros en un ecosistema de pastizales de alta elevación, localmente llamado páramo, a 3780 m.s.n.m. (Padrón y col., 2015). Ambos estudios utilizaron sensores especializados, como disdrómetros y radares de micro lluvia, que rara vez están disponibles en estaciones de monitoreo estándar. Mientras tanto, existen varias iniciativas de monitoreo en las tierras altas por encima de 3000 m.s.n.m., como la Iniciativa para el Hidrológico de Ecosistemas Andinos, una red de Organizaciones no Gubernamentales, Instituciones Públicas y universidades del Norte de los Andes que están llevando a cabo un seguimiento hidrológico básico en pequeñas cuencas para obtener información sobre su funcionamiento hidrológico y los impactos del cambio mundial, y que utilizan una variedad de pluviómetros comerciales con diferentes resoluciones. El uso de estos datos heterogéneos puede afectar a las aplicaciones hidrológicas, destacando la necesidad de comprender las diferencias entre los indicadores bajo las condiciones particulares de lluvia y clima del ecosistema.

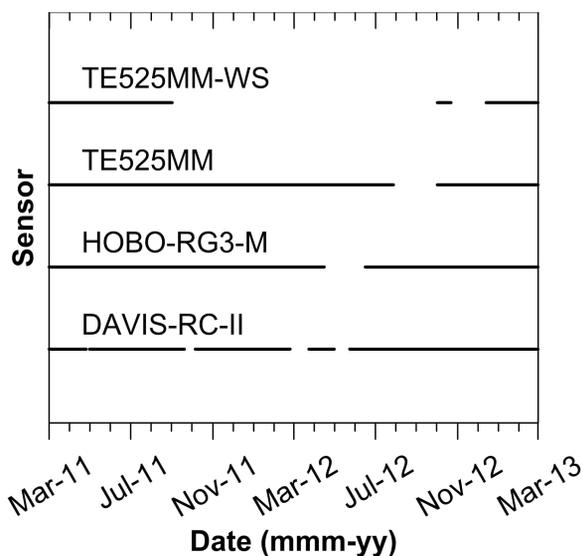


Figura 1. Los datos disponibles de los pluviómetros de Tipping-Bucket (TB) utilizados en el análisis comparativo se representan mediante líneas continuas (los vacíos en las líneas representan períodos de observaciones que faltan).

Este estudio evalúa el rendimiento relativo entre los pluviómetros de PB en el ecosistema de páramo en el sureste de Ecuador. Este ecosistema es un proveedor vital de agua durante todo el año (para fines agrícolas, urbanos y de producción de energía) para Ecuador, Colombia y Venezuela (Buytaert y col., 2006b; Buytaert y col., 2006a; Célleri y Feyen, 2009; Ochoa-Tocachi y col., 2016), regiones caracterizadas por lluvias de baja intensidad durante todo el año. Algunos aspectos específicos que también se estudiaron son el efecto de la intensidad de la lluvia y el viento en las medidas de los pluviómetros probados.

2 Materiales

Cuatro pluviómetros de balancín se instalaron en el Observatorio Ecohidrológico Zhurucay, situado en la cordillera occidental de los Andes en el sur de Ecuador ($3^{\circ}03'S$, $79^{\circ}14'O$): un colector de lluvia marca II (DAVIS-RC-II), un medidor de lluvia Hobo Data Logging RG3-M (HOBO-RG3-M), un sensor TE525MM (TE525MM) y un medidor TE525MM equipado con la pantalla de viento tipo Alter 260-953 (TE525MM-WS). La pantalla contra el viento consiste en un escudo de hierro y zinc concéntrico con el medidor de PB. En estudios anteriores se puede obtener una descripción completa con detalles técnicos de la pantalla y las consideraciones de

instalación (Alter, 1937; Duchon y Essenberg, 2001). En el Cuadro 1 se enumeran las principales características de los cuatro pluviómetros utilizados en el estudio comparativo.

Los sensores de lluvia probados se utilizan comúnmente en la región andina con fines operativos y de investigación, por ejemplo, por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), y la iniciativa para el Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (Buytaert y Beven, 2011; Crespo y col., 2012; Muñoz, Célleri y Feyen, 2016; Muñoz y col., 2018; Sucozhañay y Célleri, 2018). Los medidores se instalaron a una distancia de 2 m, con la superficie de los medidores abriendo 1 m por encima de la superficie del suelo, en un área plana extendida, a una altitud de 3780 m.s.n.m. Los datos de precipitación se registraron durante 2 años; el número de puntas por minuto se almacenó en un sistema de registro automático de datos para los sensores de lluvia TE525MM, mientras que para los otros indicadores se registró la marca de tiempo (hh:mm:ss) de cada punta. La temperatura media durante el período de observación fue $6^{\circ}C$, la humedad relativa 91 % (Córdova y col., 2015), y la velocidad del viento tuvo un promedio de $3 m s^{-1}$ en el período octubre-abril y $4.5 m s^{-1}$ en el período mayo-septiembre. Los datos climáticos se registraron con un intervalo de 5 minutos, en una estación meteorológica automática adyacente.

Tabla 1. Especificaciones del fabricante de los pluviómetros Tipping-Bucket (TB)

Sensor	Diámetro de captura (cm)	Resolución (mm)	Intensidad (mm h ⁻¹)	Precisión (%)
DAVIS-RC-II	16,5	0,254	0 – 50 50 – 100	± 1 ± 5
HOBO-RG3-M	15,4	0,200	0 – 20	± 1
TE525MM	24,5	0,100	0 – 10	± 1
TE525MM-WS			10 – 20 20 – 30	+0, –3 +0, –5

Los medidores fueron sometidos a una calibración estática antes de la instalación. Dada la baja intensidad de las lluvias frecuentes y de acuerdo con los hallazgos de (Vasvári, 2005) y las recomendaciones del fabricante del medidor, la aplicación de una calibración dinámica sería innecesaria. Usando una pipeta de alta resolución se midió el volumen real de agua para inclinar el cubo de los sensores de lluvia. El factor de corrección varió entre –6,56 and +4,29%. Debido a un mal funcionamiento de la conexión electrónica al registrador de datos para el TE525MM-WS, más de la mitad de sus datos no se tomaron en cuenta. La Figura 1 muestra los datos disponibles para cada instrumento; los datos faltantes variaron entre el 8 y el 10% para los medidores DAVIS-RC-II, HOBO-RG3-M y TE525MM, y ascendieron al 61% para el medidor TE525M-WS.

manera:

$$percent\ bias = \frac{1}{\bar{y}} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \right) \quad (1)$$

$$percent\ absolute\ bias = \frac{1}{\bar{y}} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \right) \quad (2)$$

donde x y y se definen como la profundidad de precipitación registrada por uno de los medidores y el TE525MM para cualquier intervalo de tiempo, n es el número de valores o intervalos con lluvia registrada, y y es la profundidad de precipitación media medida por el TE525MM para la escala de tiempo considerada. Para la calificación del rendimiento de los medidores se definieron las siguientes categorías del sesgo porcentual: excelente $\leq 2\%$, $2\% <$ bueno $\leq 5\%$, $5\% <$ regular $\leq 10\%$, y pobre $> 10\%$.

3 Métodos

3.1 Índices estadísticos para la evaluación

Para la evaluación cuantitativa de las diferencias de rendimiento entre los pluviómetros se utilizó el siguiente conjunto de índices estadísticos, similar al propuesto por Tokay, Bashor y McDowell, (2010), el coeficiente de determinación (R^2), la correlación no paramétrica del Spearman (ρ), la desviación estándar (σ), el sesgo porcentual y el porcentaje de sesgo absoluto. Los índices estadísticos se calcularon con respecto a los datos de lluvia recogidos por el sensor TE525MM. Este sensor fue considerado en este estudio como referencia debido a sus mejores características técnicas en comparación con los otros pluviómetros, y su conjunto de datos más grande en comparación con el TE525MM-WS. El sesgo porcentual y el sesgo absoluto porcentual, Ecuaciones (1) y (2) respectivamente, se calcularon de la siguiente

3.2 Rendimiento general

Los registros de precipitación de los diferentes medidores se compararon para comprobar si funcionaban correctamente. El funcionamiento de un sensor se caracterizó por R^2 y ρ . Este último se calculó para probar la validez de R^2 que normalmente se ve afectada por la distribución no normal de las precipitaciones. Para los datos TE525MM en una escala horaria por hora, la distribución no normal se confirmó mediante la búsqueda de valores p inferiores a 0,01 para las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. No obstante, R^2 se calculó para comparar los resultados del presente estudio con los de otros estudios. Para evaluar el efecto de los valores extremos en R^2 , the difference between ρ y R^2 was considered as indicator.

De acuerdo a Tokay y col., (2003), Rollenbeck y col., (2007) y Tokay, Bashor y McDowell, (2010), se

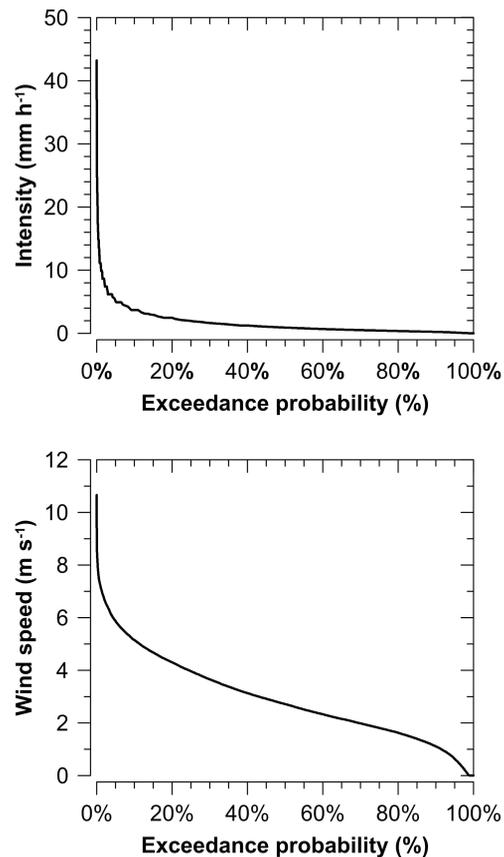


Figura 2. Curva de probabilidad de superación de intensidad de lluvia de los datos de precipitación de 5 minutos recopilados por el medidor TE525MM (superior), y la curva de probabilidad de superación de velocidad del viento de los intervalos de 5 minutos correspondientes (abajo).

espera que los valores R^2 sean superiores a 0,95 para los datos por hora y diarios de los medidores de PB ubicados en el mismo sitio. Después de esto, se analizaron las diferencias en la profundidad de precipitación entre cada uno de los sensores de lluvia y el medidor de referencia utilizando el sesgo porcentual como indicador (Ecuación 1). Además, dada la relevancia hidrológica de los datos de precipitación para los plazos cortos (Ciach, 2003; Rollenbeck

y col., 2007; Buytaert y Beven, 2011), la precisión de los pluviómetros también se determinó para el plazo de 5 min, 10 min, 30 min, hora y día, respectivamente. Para ello, el sesgo absoluto (obtenido con la Ecuación 2) se comparó con el sesgo regular, y esta información se complementó con la desviación estándar de las diferencias entre las mediciones de los sensores (ρ_{x-y}).

3.3 Efecto de intensidad de la lluvia

Para la evaluación del efecto de la intensidad de lluvia sobre la precisión de los pluviómetros, se compararon las mediciones de los sensores correspondientes a las siguientes categorías: $0-1 \text{ mm h}^{-1}$, $1.01-2 \text{ mm h}^{-1}$, $2.01-5 \text{ mm h}^{-1}$, $5.01-10 \text{ mm h}^{-1}$ y $>10 \text{ mm h}^{-1}$. Estas categorías se establecieron tratando de tener para cada una de ellas una distribución

plana, y un porcentaje representativo de la cantidad total de datos (Figura 2 superior). Para la separación de los datos por categoría de intensidad, las intensidades medidas por el indicador TE525MM estaban dentro de los límites de cada categoría específica, mientras que las intensidades correspondientes medidas por los demás indicadores no estaban necesariamente dentro de estos límites. Para los

datos pertenecientes a cada categoría de intensidad y escalas de tiempo de 5, 10, 30 y 60 minutos, se calculó el porcentaje de sesgo absoluto para definir el efecto de estas variables en la precisión con la que los medidores de PB estiman la intensidad real de la precipitación. El sesgo porcentual también se calculó para las diferentes categorías de intensidad para comprender y cuantificar cómo varían las desviaciones entre las mediciones de los medidores en función de la intensidad real de la precipitación.

Los intervalos con intensidades de lluvia para la comparación fueron entre horas exactas, sin solapamiento de tiempo y con lluvia durante toda su longitud. Por ejemplo, para un evento que tuvo su primer pico a las 19:08 UTC y el último a las 21:17 UTC del mismo día, los intervalos usados para una escala de tiempo de 30 minutos fueron: 19:30–20:00, 20:00–20:30 y 20:30–21:00 UTC. Los intervalos 19:00–19:30 y 21:00–21:30 UTC se descartaron porque no llovió durante todo el intervalo. Aunque, este enfoque redujo el volumen de datos, el conjunto de datos útil seguía siendo muy representativo, por ejemplo, para la escala de tiempo de 5 minutos, la lluvia acumulada de los intervalos utilizados representaba el 85 % del volumen de precipitación total de la base de datos TE525MM.

3.4 Efecto de velocidad del viento

Sólo se analizó el efecto de la velocidad del viento en la precisión de los pluviómetros porque no había ningún obstáculo evidente para sugerir un efecto de la dirección del viento. Se utilizaron criterios similares en cuanto a las intensidades de lluvia para clasificar la velocidad del viento (Figura 2 inferior), estableciendo las siguientes categorías: $0-2 \text{ m s}^{-1}$, $2.01-4 \text{ m s}^{-1}$ y 4 m s^{-1} . Los datos de velocidad del viento y las categorías seleccionadas son similares a los utilizados por Sevruck y Hamon, (1984). Además, las velocidades del viento registradas en otras tierras altas, como los Alpes suizo-austríacos o el Altiplano boliviano, no diferían mucho de las velocidades de viento registradas para el páramo (Vacher, Imaña y Canqui, 1994; Draxl y Mayr, 2009).

Se utilizaron sesgo porcentual y sesgo absoluto porcentual para los datos correspondientes a cada categoría para analizar el efecto de la velocidad del viento en las mediciones de los sensores. La escala de tiempo seleccionada tenía que proporcionar

una buena precisión de la profundidad de precipitación capturada por cada medidor, al tiempo que aseguraba que se disparaba una cantidad suficiente de datos por categoría de velocidad del viento. El requisito de precisión se determinó a partir de los análisis globales de evaluación y de efectos de intensidad. Para distinguir el efecto individual del viento del efecto de la intensidad de las precipitaciones, se determinó la distribución de los datos de intensidad de lluvia correspondientes a cada una de las categorías de velocidad del viento. Los intervalos de profundidad de lluvia para la comparación de los sensores con respecto al efecto del viento fueron seleccionados empleando los mismos criterios utilizados al examinar el efecto de la intensidad de la lluvia, es decir, intervalos entre horas exactas, sin superposición de tiempo y con lluvia durante toda su longitud.

4 Resultados y Discusión

4.1 Rendimiento general

La Tabla 2 representa el coeficiente de determinación (R^2) y la correlación de Spearman (ρ) de los medidores DAVIS-RC-II, HOBO-RG3-M y TE525MM-WS con respecto a la precipitación registrada por el sensor TE525MM. Ambos coeficientes se presentan para las escalas de tiempo 5, 10 y 30 min, por hora y diariamente. Los datos revelan claramente que el valor de R^2 y ρ aumenta con la escala de tiempo, que según Nystuen, (1999) se debe al hecho de que es menos importante cómo llueve en intervalos más largos. Esto también ilustra que la importancia de la precisión y la resolución de los pluviómetros es más relevante para agregaciones de tiempo de 30 minutos o menos. Los valores de R^2 tienden a sugerir un mejor acuerdo entre los sensores, debido al efecto que tienen los valores extremos en este índice. Este efecto se puede ver claramente para las escalas de tiempo de 5 y 10 minutos, donde R^2 es mucho mayor que ρ . Las correlaciones entre todos los medidores y el TE525MM fueron estadísticamente significativas; la probabilidad de que las mediciones de dos indicadores diferentes no estuvieran correlacionadas siempre fue inferior al 1% ($p < 0.01$). Otros estudios (Tokay y col., 2003; Rollenbeck y col., 2007; Tokay, Bashor y McDowell, 2010) también encontraron correlaciones altas ($R^2 > 0.95$) entre las mediciones de dos medidores para escalas de tiempo por hora y diarias, respectivamente.

El sesgo porcentual de la diferencia entre la precipitación total capturada por los tres medidores en relación con el medidor TE525MM, que es independiente de la escala de tiempo utilizada, varió entre $-7,2\%$ (DAVIS-RC-II), $-5,6\%$ (HOBO-RG-3) y -2% (TE525MM-WS). Los valores negativos indican una subestimación de los medidores en relación con el volumen de lluvia capturado por el sensor de re-

ferencia. Sobre la base de los criterios antes mencionados, el rendimiento de los medidores DAVIS-RC-II y HOBO-RG-3 es regular, mientras que el del TE525MM-WS es excelente. Los resultados obtenidos están de acuerdo con el rango de desviación encontrado por Rollenbeck y col., (2007) para los medidores de diferentes fabricantes, y por Tokay y col., (2003) y Tokay, Bashor y McDowell, (2010) para medidores idénticos.

Tabla 2. Coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación de Spearman (ρ) para los pluviómetros Tipping-Bucket (TB) en relación con el sensor TE525MM para diferentes escalas de tiempo

Sensor	Escalas de tiempo	R^2	ρ
DAVIS-RC-II	5 min	0,603	0,364
HOBO-RG3-M		0,690	0,395
TE525MM-WS		0,809	0,495
DAVIS-RC-II	10 min	0,826	0,590
HOBO-RG3-M		0,876	0,624
TE525MM-WS		0,933	0,716
DAVIS-RC-II	30 min	0,953	0,792
HOBO-RG3-M		0,969	0,826
TE525MM-WS		0,986	0,887
DAVIS-RC-II	Cada hora	0,975	0,860
HOBO-RG3-M		0,985	0,893
TE525MM-WS		0,993	0,935
DAVIS-RC-II	Diario	0,993	0,992
HOBO-RG3-M		0,997	0,996
TE525MM-WS		0,997	0,997

La figura 3 muestra el porcentaje de sesgo absoluto de los medidores de PB en función de la escala temporal. Hay una clara influencia de la resolución del medidor con el sensor DAVIS-RC-II, que tiene el mayor sesgo absoluto porcentual y la resolución más gruesa. También hay un efecto de escala de tiempo en la precisión de los medidores que se puede explicar por el hecho de que durante intervalos cortos, dada la baja intensidad general de lluvia, algunos sensores no registran la lluvia, mientras que otros lo hacen, y en el siguiente intervalo de tiempo a menudo ocurre el opuesto. De hecho, en casi el 50% de todos los intervalos de 5 minutos considerados, cuando uno de los medidores regis-

tró precipitación el otro no. Para los plazos por hora y más cortos, la desviación estándar de las diferencias con el TE525MM era menor que la resolución de los sensores; se obtuvieron valores de $0,165\text{ mm}$, $0,130\text{ mm}$ y $0,085\text{ mm}$, respectivamente para los medidores DAVIS-RC-II, HOBO-RG3-M y TE525MM-WS en la escala horaria. Estos resultados implican que, en regiones con frecuentes lluvias de baja intensidad como el páramo húmedo, y cuando existe interés en el comportamiento de las lluvias durante períodos de tiempo de 1 hora o menos, la importancia de la resolución del sensor se amplía considerablemente.

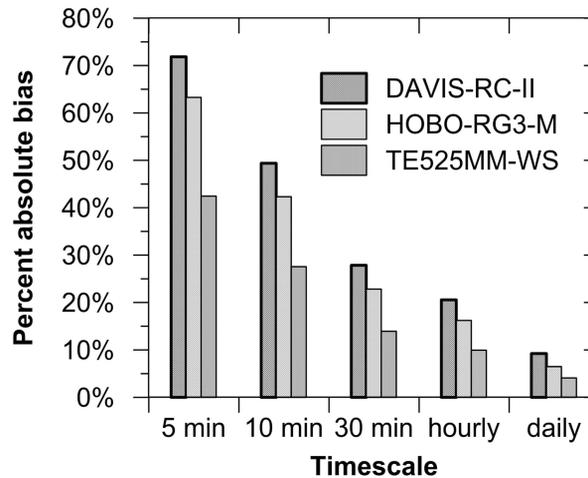


Figura 3. Porcentaje de sesgo absoluto de los pluviómetros Tipping-Bucket (TB) en relación con el sensor TE525MM en función de la escala de tiempo.

4.2 Efecto de intensidad de la lluvia

Como lo demuestran los valores de sesgo absoluto porcentual en el Cuadro 3, la precisión de los pluviométricos disminuye significativamente para intensidades bajas y escalas de tiempo cortas. Esta reducción de la precisión (expresada como porcentaje) ocurre en las condiciones mencionadas porque la profundidad de precipitación es extremadamente baja, aumentando el efecto de la resolución del medidor. Sin embargo, la precisión sigue siendo especialmente pobre para las intensidades de lluvia de 2 mm h^{-1} o menos (que son condiciones típicas, como se muestra en la Figura 2) y escalas de tiempo de 10 minutos o más. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Habib, Krajewski y Kruger, (2001), Ciach, (2003) y Wang, Fisher y Wolff, (2008). Los errores considerables entre la intensidad de lluvia real y calculada afectan al análisis de cómo varían las desviaciones entre las mediciones de los medidores en función de la intensidad de la precipitación. Por lo tanto, se tuvieron que utilizar diferentes escalas de tiempo para cada categoría de intensidad para obtener datos con una precisión aceptable, mientras que todavía se cuenta con un número adecuado de intervalos de tiempo, razón por la cual las precipitaciones fueron medidas por los sensores. Las categorías de datos con texto en negrita en el Cuadro 3 se utilizaron para determinar el sesgo

porcentual de los medidores PB, en relación con el indicador TE525MM, para las diferentes categorías de intensidad (Figura 4).

Los resultados de sesgo porcentual representan una tendencia general de valores más altos para intensidades más bajas y resolución de calibre más gruesa. Los resultados para el DAVIS-RC-II corresponden a un bajo rendimiento para la categoría de menor intensidad, y una calificación regular para todas las demás categorías. Para el HOBO-RG3-M, el valor del sesgo porcentual estaba cerca de la transición de regular a buen rendimiento para intensidades de $\leq 5 \text{ mm h}^{-1}$, y correspondía a una excelente calificación para las intensidades $> 5 \text{ mm h}^{-1}$. Los medidores TE525MM y TE525MM-WS registraron mediciones muy similares para todas las intensidades, pero el rendimiento fue calificado como bueno para la categoría $\leq 1 \text{ mm h}^{-1}$ y excelente para todas las demás categorías. A modo de conclusión, el mayor valor del sesgo porcentual para las intensidades más bajas se atribuye a las características intrínsecas de los medidores estudiados que influyen en las pérdidas de humedad y evaporación (WMO, 2008). Es importante notar que una comparación general de los mismos medidores pluviométricos utilizados en este estudio en un lugar con intensidades de lluvia diferentes de las típicas del páramo, revelaría resultados completamente diferentes.

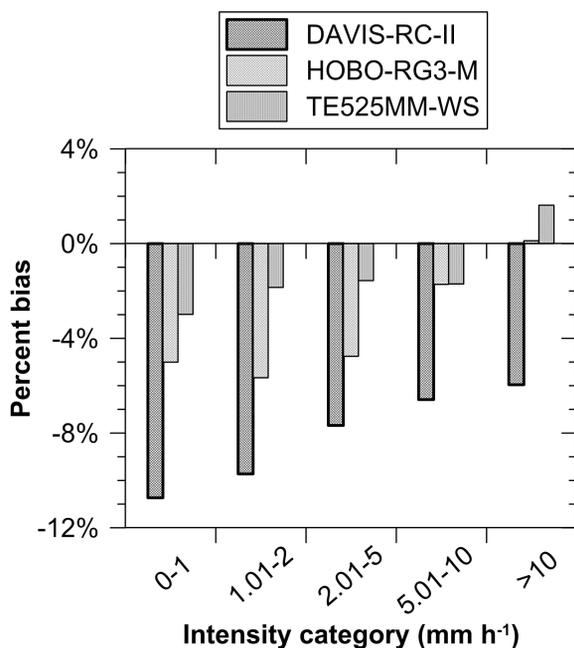


Figura 4. Porcentaje de sesgo de los pluviómetros Tipping-Bucket (TB) en relación con el sensor TE525MM en función de la intensidad de la lluvia. Los datos utilizados para esta figura corresponden a las categorías resaltadas en el Cuadro 3.

4.3 Efecto de velocidad del viento

El sesgo porcentual y el porcentaje de sesgo absoluto de los medidores de PB en comparación con el sensor TE525MM se calcularon para cada categoría de velocidad del viento (Tabla 4), utilizando los datos de 30 minutos. Este calendario se utilizó ya que proporcionaba una precisión aceptable para estimar la intensidad de las precipitaciones, y porque se disponía de una cantidad suficiente de datos de lluvia de 30 minutos. El sesgo porcentual absoluto mostró un incremento para todos los medidores cuando la velocidad del viento era mayor que 4 m s^{-1} . Este comportamiento está probablemente relacionado con el hecho de que las intensidades de lluvia, en general, fueron más bajas para la categoría de velocidad del viento más alta (Mekonnen y col., 2014). Los resultados de sesgo porcentual para los medidores DAVIS-RC-II y HOBO-RG3-M apenas cambian para las diferentes categorías de la velocidad del viento. Esto no significa que esos medidores no sean propensos a errores inducidos por el viento; en cambio, muestra que estos errores son prácticamente idénticos para los sensores DAVIS-RC-II, HOBO-RG3-M y TE525MM. Se piensa que la similitud en la forma, la dimensión y las alturas

de instalación de los medidores generan un flujo de aire similar a su alrededor, lo que lleva a diferencias descartables entre los sensores debido a la velocidad del viento (Nešpor y Sevruck, 1999).

Dada la presencia de un protector de viento Alter-Type alrededor del sensor TE525MM-WS, puede haberse esperado una diferencia notable en la profundidad de lluvia con el calibre tecnológicamente idéntico (TE525MM) sin protector. Se encontró un sesgo descartable inferior al 1%, para los datos de precipitación que se produjeron con velocidades de viento de $\leq 4 \text{ m s}^{-1}$, lo que sugiere que el protector Alter no reduce realmente la captura de lluvia en el páramo para estas condiciones de velocidad del viento. Un resultado similar fue encontrado por Duchon y Essenberg, (2001), aunque en un sitio probablemente con una distribución diferente del tamaño de la gota de lluvia. Además, Duchon y Biddle, (2010) concluyeron que el protector Alter no reduce significativamente los errores inducidos por el viento mediante el uso de un medidor a nivel del suelo. Mientras tanto, para las velocidades del viento $>4 \text{ m s}^{-1}$, los resultados muestran que el medidor blindado registró incluso menos precipitación que el medidor sin blindaje.

Tabla 3. Porcentaje de sesgo absoluto (%) y el número de puntos de datos por categoría de intensidad y escala de tiempo, para cada uno de los pluviómetros Tipping-Bucket (TB) en relación con el sensor TE525MM.

Categoría de intensidad (mm h ⁻¹)	Escala de tiempo							
	5 min		10 min		30 min		60 min	
	DAVIS-RC-II							
	%	#	%	#	%	#	%	#
0 – 1	72	4864	56	2192	27	549	15	165
1,01 – 2	37	2618	29	1341	14	411	13	181
2,01 – 5	25	2492	16	1170	10	320	8	111
5,01 – 10	17	530	12	255	7	50	7	18
> 10	12	158	10	62	4	10	5	2
HOBO-RG3-M								
	%	#	%	#	%	#	%	#
0 – 1	62	5130	47	2323	18	580	10	180
1,01 – 2	30	2569	20	1325	10	404	8	181
2,01 – 5	20	2444	12	1169	7	322	6	112
5,01 – 10	16	520	10	256	4	49	4	18
> 10	12	155	8	62	4	10	2	2
TE525MM-WS								
	%	#	%	#	%	#	%	#
0 – 1	39	3000	27	1325	10	334	7	105
1,01 – 2	20	1537	11	799	6	254	5	120
2,01 – 5	12	1338	7	618	4	171	3	62
5,01 – 10	9	260	4	122	3	28	2	8
> 10	4	71	4	29	2	4	3	2

Nota: Las categorías con texto en negrita se utilizaron para el análisis de sesgo porcentual en la Figura 4.

Tabla 4. Porcentaje de sesgo y porcentaje de sesgo absoluto por categoría de velocidad del viento para cada uno de los pluviómetros Tipping-Bucket (TB) en relación con el sensor TE525MM.

Velocidad del viento (ms ⁻¹)	DAVIS-RC-II		HOBO-RG3-M		TE525MM-WS	
	% sesgo	% sesgo absoluto	% sesgo	% sesgo absoluto	% sesgo	% sesgo absoluto
0 – 2	-8,6	11,4	-4,3	8,1	-0,2	3,7
2,01 – 4	-8,2	12,2	-4,4	8,2	-0,7	5,0
> 4	-8,4	16,7	-2,4	11,0	-6,6	9,0

5 Conclusiones

Se analizó el rendimiento de cuatro pluviómetros de balancín, instalados uno al lado del otro en una captación andina, utilizando datos de 2 años. El sitio de instalación está situado en los Andes tropicales, sur de Ecuador, a una altitud de 3780 m.s.n.m y es representativo de la región del páramo húmedo. Los eventos de lluvia se caracterizan la mayor parte del tiempo por una intensidad baja: 95%, 76%, y 53% de los intervalos de 5 minutos, con intensidades in-

feriores a 5, 2 y 1 mm h⁻¹, respectivamente. Estas características de lluvia diferencian la presente investigación de otros estudios de intercomparación. Además, para el lugar del estudio, las intensidades de precipitación son inferiores a la media en condiciones de viento (4 m s⁻¹), que se producen durante el 25% de los eventos de la lluvia.

Se encontró una clara relación entre la resolución del medidor y la profundidad total de la precipitación: una mayor resolución corresponde a una

profundidad de lluvia menos registrada. Los resultados mostraron una subestimación del 7,2% y del 5,6% para los medidores con una resolución de 0,254 mm y 0,2 mm, respectivamente, en comparación con un medidor con resolución de 0,1 mm. Las diferencias entre los sensores se atribuyen principalmente a una combinación de pérdidas de humedad y evaporación, debido a la relación entre estas fuentes de error y resolución del medidor. La mayor subestimación del medidor DAVIS-RC-II podría estar relacionada con una mayor evaporación causada por el color negro del embudo absorbiendo más calor ambiental. Además, las pérdidas por evaporación se ven impulsadas por los frecuentes eventos de lluvia de baja intensidad.

Se encontró que era muy común para las escalas de tiempo de 5 y 10 minutos que un medidor de PB registre una sugerencia dentro de un intervalo cuando otro medidor no lo hace para ese mismo intervalo, sino para el que sigue. Este fenómeno hizo que los resultados mostraran una diferencia extrema entre los sensores cuando las diferencias reales en la profundidad de precipitación medida eran mucho menores. Por lo tanto, la resolución del sensor es un aspecto crítico a tener en cuenta para el monitoreo de lluvias en el páramo húmedo, o cualquier otro ecosistema con características similares de precipitación.

La velocidad del viento tiene un efecto similar en los medidores analizados de PB sin blindaje. Mientras tanto, el protector Alter no redujo las pérdidas inducidas por el viento.

El conocimiento cuantitativo de las diferencias entre los sensores obtenidos en este estudio es un paso importante para homogeneizar los datos de lluvia de múltiples sitios dentro de las tierras altas andinas. Además, el hecho de que las precipitaciones en el páramo húmedo se subestimen en al menos el 5% por los medidores de uso común es fundamental para los estudios relacionados con el agua en estos paisajes y guían la selección de equipos adecuados para las redes de monitoreo.

Agradecimientos

Este estudio se ejecutó en el marco del proyecto "A research network for the resilience of headwa-

ter systems and water availability for downstream communities across the Americas" y fue financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC). Se agradece al personal técnico y a los estudiantes que contribuyeron con el monitoreo en campo.

Referencias

- Alter, J. C. (1937). «Shielded storage precipitation gages». En: *Monthly Weather Review* 65.7, 262–265.
- Buytaert, W. y K. Beven (2011). «Models as multiple working hypotheses: hydrological simulation of tropical alpine wetlands». En: *Hydrological Processes* 25.11, 1784–1799. Online: <https://bit.ly/2OpO62o>.
- Buytaert, W. y col. (2006a). «Human impact on the hydrology of the Andean páramos». En: *Earth-Science Reviews* 79, 53-72. Online: <http://bit.ly/32yASq6>.
- Buytaert, W. y col. (2006b). «Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes». En: *Journal of Hydrology* 329, 413-421. Online: <http://bit.ly/32yKDoc>.
- Chen, H. y V. Chandrasekar (2015). «Estimation of Light Rainfall Using Ku-Band Dual-Polarization Radar». En: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 53.9, 5197–5208. Online: <https://bit.ly/3974NYe>.
- Ciach, G. J. (2003). «Local random errors in tipping-bucket rain gauge measurements». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20, 752–759. Online: <https://bit.ly/31mIvza>.
- Córdova, M. y col. (2015). «Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) Method for Calculating Reference Evapotranspiration Using Limited Data. Application to the Wet Páramo of Southern Ecuador». En: *Mountain Research and Development* 35, 230-239. Online: <http://bit.ly/2T9sCKb>.
- Crespo, P. y col. (2012). «Development of a conceptual model of the hydrologic response of tropical Andean micro-catchments in Southern Ecuador». En: *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 9, 2475-2510. Online: <http://bit.ly/32FII6D>.
- Célleri, R. y J. Feyen (2009). «The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Know-

- ledge Status, and Perspectives». En: *Mountain Research and Development*, 350-355. Online: <http://bit.ly/3ce4spn>.
- Dai, Q. (2015). «Probabilistic radar rainfall nowcasts using empirical and theoretical uncertainty models». En: *Hydrological Processes* 29.1, 66–79. Online: <https://bit.ly/2u7p2GN>.
- Draxl, C. y G. Mayr (2009). «Meteorological wind energy potential of the Alps using ERA40 and wind measurements of the Tyrolean Alps». En: *European Wind Energy Conference & Exhibition*. Marseille, France, pág. 6.
- Duchon, C. E. y C. J. Biddle (2010). «Undercatch of tipping-bucket gauges in high rain rate events». En: *Advances in Geosciences* 25, 11–15. Online: <https://bit.ly/2tmO4RA>.
- Duchon, C. E. y G. R. Essenberg (2001). «Comparative rainfall observations from pit and aboveground rain gauges with and without wind shields». En: *Water Resources Research* 37.12, 3253–3263. Online: <https://bit.ly/31oV4tU>.
- Grimaldi, S. y col. (2015). «Description and preliminary results of a 100 square meter rain gauge». En: *Journal of Hydrology*, Online: <https://bit.ly/3beiNBJ>.
- Habib, E., W. F. Krajewski y A. Kruger (2001). «Sampling errors of tipping-bucket rain gauge measurements». En: *Journal of Hydrologic Engineering* 6.2 (March/April), 159-166. Online: <https://bit.ly/3b5CR98>.
- Humphrey, M. D. y col. (1997). «A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 14.6, 1513-1519. Online: <https://bit.ly/2UpJI7s>.
- Keller, V. D. J. y col. (2015). «CEH-GEAR: 1 Km resolution daily and monthly areal rainfall estimates for the UK for hydrological and other applications». En: *Earth System Science Data* 7.1, 143-155. Online: <https://bit.ly/2SQBGC5>.
- Krajewski, W. F., A. Kruger y V. Nespor (1998). «Experimental and numerical studies of small-scale rainfall measurements and variability». En: *Water Science and Technology* 37.11, 131–138. Online: .
- Krajewski, W. y col. (2006). «DEVEX-disdrometer evaluation experiment: Basic results and implications for hydrologic studies». En: *Advances in Water Resources* 29.2, 311–325. Online: <https://bit.ly/396ZyIk>.
- Lanza, L. y L. Stagi (2008). «Certified accuracy of rainfall data as a standard requirement in scientific investigations». En: *Advances in Geosciences* 16, 43–48. Online: <https://bit.ly/2uatLr6>.
- Lanzinger, E., M. Theel y H. Windolph (2006). «Rainfall amount and intensity measured by the Thies laser precipitation monitor». En: Geneva, Switzerland, pág. 9.
- Mekonnen, G. B. y col. (2014). «Adjustment to rainfall measurement undercatch with a tipping-bucket rain gauge using ground-level manual gauges». En: *Meteorology and Atmospheric Physics*, 241–256. Online: <https://bit.ly/38CSCCX>.
- Molini, A., L. G. Lanza y P. La Barbera (2005). «Improving the accuracy of tipping-bucket rain records using disaggregation techniques». En: *Atmospheric Research* 77.1-4, 203–217. Online: <https://bit.ly/2SDcr7E>.
- Muñoz, P., R. Céleri y J. Feyen (2016). «Effect of the Resolution of Tipping-Bucket Rain Gauge and Calculation Method on Rainfall Intensities in an Andean Mountain Gradient». En: *Water* 8.11, 534. Online: <http://bit.ly/2wi7k3H>.
- Muñoz, P. y col. (2018). «Flash-Flood Forecasting in an Andean Mountain Catchment—Development of a Step-Wise Methodology Based on the Random Forest Algorithm». En: *Water* 10.11, 1519. Online: <http://bit.ly/2wRJA6R>.
- Nešpor, V. y B. Sevruk (1999). «Estimation of Wind-Induced Error of Rainfall Gauge Measurements Using a Numerical Simulation». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 16.4, 450-464. Online: <https://bit.ly/2SCLx4c>.
- Nystuen, J. A. (1999). «Relative Performance of Automatic Rain Gauges under Different Rainfall Conditions». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 16.8, 1025-1043. Online: <https://bit.ly/3bI0t3T>.
- Ochoa-Tocachi, B. y col. (2016). «Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments». En: *Hydrological Processes* 30, 4074–4089. Online: <http://bit.ly/2wjOkSr>.
- Padrón, R. y col. (2015). «Rainfall in the Andean Páramo: New Insights from High-Resolution Monitoring in Southern Ecuador». En: *Journal of Hydrometeorology* 16.8, 985–996. Online: <http://bit.ly/2T6nK8v>.
- Rollenbeck, R. y col. (2007). «Comparison of Different Techniques for the Measurement of Precipitation in Tropical Montane Rain Forest Regions».

- En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 24.2, 156-168. Online: <https://bit.ly/2uJW3ZV>.
- Savina, M. y col. (2012). «Comparison of a tipping-bucket and electronic weighing precipitation gauge for snowfall». En: *Atmospheric Research. Elsevier B.V.* 103, 45-51. Online: <https://bit.ly/2UYs4rD>.
- Seo, B. y col. (2015). «Comparison of Single- and Dual-Polarization-Based Rainfall Estimates Using NEXRAD Data for the NASA Iowa Flood Studies Project». En: *Journal of Hydrometeorology*, Online: <https://bit.ly/3bN3MqL>.
- Sevruk, B. y W. R. Hamon (1984). «International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge». En: *WMO Instrument and Observing Methods Report, No.17* 111, Online: <https://bit.ly/323uoPz>.
- Sevruk, B., M. Ondrás y B. Chvíla (2009). «The WMO precipitation measurement intercomparisons». En: *Atmospheric Research. Elsevier B.V.* 92.3, 376-380. Online: <https://bit.ly/37CEyrH>.
- Sucozhañay, A. y R. Célleri (2018). «Impact of Rain Gauges Distribution on the Runoff Simulation of a Small Mountain Catchment in Southern Ecuador». En: *Water*, Online: <http://bit.ly/2veA7q1>.
- Tokay, A., P. G. Bashor y V. L. McDowell (2010). «Comparison of Rain Gauge Measurements in the Mid-Atlantic Region». En: *Journal of Hydro-meteorology* 11.2, 553-565. Online: <https://bit.ly/2UYPbCs>.
- Tokay, A. y col. (2003). «Rain gauge and disdrometer measurements during the Keys Area Microphysics Project (KAMP)». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20, 1460-1477. Online: <https://bit.ly/38Em5wm>.
- Vacher, J., E. Imaña y E. Canqui (1994). «Las características radiativas y la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano». En: *Revista de Agricultura* 1, 4-12. Online: <https://bit.ly/2SBpeYc>.
- Vasvári, V. (2005). «Calibration of tipping bucket rain gauges in the Graz urban research area». En: *Atmospheric research* 77.1-4, 18-28. Online: <https://bit.ly/2SUXX1x>.
- Vuerich, E. y col. (2009). «WMO Field Intercomparison of rainfall intensity gauges». En: *WMO Instruments and Observing Methods Report No. 99* 1504, Online: <https://bit.ly/37zqorn>.
- WMO (2008). «Guide of Meteorological Instruments and Methods of Observation». En: *No. 8*.
- Wang, J., B. L. Fisher y D. B. Wolff (2008). «Estimating Rain Rates from Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements». En: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 25.1, 43-56. Online: <https://bit.ly/2UY26ED>.



CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN LOS ACADÉMICOS ECUATORIANOS - PERCEPCIONES VERSUS HECHOS

CLIMATE CHANGE ACCORDING TO ECUADORIAN ACADEMICS—PERCEPTIONS VERSUS FACTS

Theofilos Toulkeridis*¹ , Elizabeth Tamayo² , Débora Simón-Baile³ , María
J. Merizalde-Mora⁴ , Diego F. Reyes –Yunga⁴ , Mauricio Viera-Torres⁴ y
Marco Heredia³

¹ Geología y Geoquímica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, Sangolquí, Ecuador.

² Geología. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, Sangolquí, Ecuador.

³ Ciencias Ambientales. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, Sangolquí, Ecuador.

⁴ Geografía y Ciencias Ambientales. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, Sangolquí, Ecuador.

*Autor para correspondencia: ttoulkeridis@espe.edu.ec

Manuscrito recibido el 25 de julio de 2019. Aceptado, tras revisión, el 16 de enero de 2020. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

El cambio climático se ha convertido en uno de los temas principales en las agendas en diferentes países. Los efectos actuales requieren de acciones climáticas efectivas ya establecidas en el Acuerdo de París con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, los principales cambios para enfrentar y reducir el cambio climático dependen de las decisiones de cada país y no sólo de los acuerdos mundiales, ya que los impactos y magnitudes varían localmente. Uno de los componentes clave para una mejora efectiva es el papel que el comportamiento de la población puede tener sobre la política nacional y las decisiones posteriores. Por esta razón, el nivel de conciencia y conocimiento sobre el cambio climático es vital. El objetivo de la investigación fue comparar la percepción de los académicos ecuatorianos sobre el cambio climático global y nacional con la evidencia científica y los hechos históricos, y cómo su vulnerabilidad puede afectar a los efectos del cambio climático. Los resultados muestran que los académicos ecuatorianos están conscientes de los hechos ocurridos mundialmente sobre el cambio climático, como la existencia, la gravedad y la responsabilidad de los seres humanos. Sin embargo, hay un conocimiento limitado sobre el origen del problema, ya que el 67,2% cree que este es el primer cambio climático en la historia de la humanidad. Los principales efectos del cambio climático en Ecuador presentan percepciones heterogéneas, como sequías más frecuentes (34,36%) y lluvias escasas pero intensas (21,41%) como sus mayores preocupaciones. En cuanto a las regiones más afectadas en Ecuador, las sierra y los valles interandinos representan el 45,6%, mientras que Galápagos sólo alcanza 1,6% a pesar de ser una insignia ecológica con alta vulnerabilidad climática. Parece que los encuestados carecen de conocimiento

sobre la situación en otras regiones y creen que su propio entorno se ve más afectado.

Palabras clave: cambio climático, calentamiento global, vulnerabilidad, desastres, ecosistemas, paleoclimatología.

Abstract

Climate change has become one of the main issues in the countries government agendas. The current effects demand effective climate actions which were set out in the Paris Agreement with the global goal of reducing greenhouse gas emissions. However, the main changes to face and mitigate climate change depend on each countrys decisions and not only on global agreements as the impacts and its magnitudes vary locally. One of the key components for an effective adaption and mitigation is the role that the behavior of the population may have over national politics and subsequent decisions. For this reason, the level of awareness and knowledge about climate change is vital. . The objective of the current study was to compare the perception of Ecuadorian academics regarding global and national climate change with the scientific evidence and historical facts, and how it may affect their vulnerability to the climate change effects. The results show that Ecuadorian academics are well aware of globally known facts of climate change such as existence, gravity and responsibility of humans. However, there is limited awareness about the origin, since 67.2% believes that this is the first climate change in human history. The main effects of climate change in Ecuador exhibit heterogeneous perceptions, with the more frequent droughts (34.36%) and rarer but more intense rains (21.41%) as their greater concerns. Regarding the regions more affected in Ecuador, highlands and Inter-Andean valleys sum up 45.6% while Galapagos only reaches 1.6% despite being an ecological flagship with high climate vulnerability. It seems that respondents lack knowledge about the situation in other regions, and believe that their own environment is more impacted.

Keywords: climate change, global warming, vulnerability, disasters, ecosystems, paleoclimatology

Forma sugerida de citar: Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón, D., Merizalde, M.J., Reyes, D.F., Viera, M. and Heredia, M. (2020). Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):21-46. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>.

IDs Orcid:

Theofilos Toulkeridis: <http://orcid.org/0000-0003-1903-7914>

Elizabeth Tamayo: <http://orcid.org/0000-0002-7354-9227>

Débora Simón-Baile: <http://orcid.org/0000-0002-8398-9883>

María J. Merizalde-Mora: <http://orcid.org/0000-0001-9686-5436>

Diego Reyes: <http://orcid.org/0000-0002-7792-395X>

Mauricio Viera-Torres: <http://orcid.org/0000-0001-8888-1866>

Marco Heredia: <http://orcid.org/0000-0002-6039-3411>

1 Introducción

Los impactos que el cambio climático tiene sobre la naturaleza y las sociedades lo han convertido en un tema complejo en abordar cuando no existe una vinculación entre la investigación y la cooperación institucional (Luterbacher y col., 2004). Aunque las causas del cambio climático son promediadas globalmente por el sistema climático, en realidad estas son locales y dependen en gran medida del nivel de industrialización y hábitos de consumo de cada país. Con frecuencia se informa de los datos de diversos países teniendo en cuenta los emisores más altos de dióxido de carbono. Considerando los datos más recientes disponibles de 2016 (Agency, 2018), los principales emisores del CO_2 total son China con 9056,8 megatonnes métricos (MT), con una diferencia significativa que casi duplica los Estados Unidos con unos 4833,1 MT, India, Rusia y Japón. Sin embargo, si los países se clasifican en términos de las emisiones de dióxido de carbono per cápita en lugar de las emisiones totales, los resultados cambian drásticamente y China, la principal economía emergente y el país más poblado, ya no lidera el rango. Para 2016, los cinco países principales de la lista de emisores de CO_2 per cápita son Arabia Saudita, Australia, Estados Unidos, Canadá y Corea del Sur, con valores que oscilan entre 16,3 y 11,6 toneladas métricas (T). Por lo tanto, China ocupa el 12mo lugar en emisiones per cápita, con aproximadamente 6,4 T, mientras que la India ocupa el puesto 20 con 1,6 T, diez veces menos que el ciudadano promedio de Arabia Saudita o Australia y sólo el 40% de la media mundial.

Durante mucho tiempo se ha discutido acerca del cambio climático (Rajamani, 2000; Page, 2008; Müller, Höhne y Ellermann, 2009; Baatz, 2013; Friman y Hjerpe, 2015), y los desafíos a los que se enfrenta el mundo para alcanzar acuerdos y lograr compromisos en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. En un estudio adicional se ha debatido el tema más controvertido de la propuesta brasileña, que ha llevado a una metodología de cálculo de las acciones de responsabilidad en comparación con las acciones en la contribución causal, teniendo en cuenta dos conceptos de responsabilidad "estricto" o "limitado" (Müller, Höhne y Ellermann, 2009). Otros estudios se centraron en opciones políticas específicas para compensar a las personas vulnerables al cambio climático en

los países en desarrollo, analizando la aplicabilidad del Principio de pagos del beneficiario en lugar del Principio de quien contamina paga (Baatz, 2013).

En cualquier caso, esos compromisos deben adaptarse a nivel nacional y los países en desarrollo deben respaldar una participación significativa y asumir su participación, al tiempo que reclaman la justicia climática y la compensación por pérdidas y daños (Calliari, 2018; Page y Heyward, 2017). De hecho, los países en desarrollo y los más pobres se enfrentan a mayores pérdidas y daños por el cambio climático, ya que corren mayores riesgos (Zengheli, 2006; Mertz y col., 2009; Hedlund y col., 2018). Se ha demostrado que el aumento del deterioro ambiental mediante el uso de los recursos naturales está indirectamente relacionado con la cultura, la educación, las decisiones políticas, los movimientos sociales y los ingresos económicos de cada país (Luterbacher y col., 2004). Las personas económicamente desfavorecidas tienden a vivir en zonas de mayor riesgo, reforzando la afirmación de que la vulnerabilidad está correlacionada con la pobreza. Por esta razón, la desigualdad socioeconómica y la inestabilidad política a la que se enfrenta América Latina, sumada a una ubicación geográfica de múltiples peligros y al continuo deterioro ambiental en su intento de alcanzar el desarrollo, sólo aumenta los riesgos de vulnerabilidad de estas regiones. Por lo tanto, la mitigación de los efectos del cambio climático global y local coincide con la reducción de la pobreza y las desigualdades sociales, la aplicación de la regulación sostenible de los recursos naturales, y una planificación en profundidad que promueva el desarrollo y reduzca los riesgos (Rojas, 2016; Goworek y col., 2018; Furley y col., 2018). El Ecuador, en particular, se ve afectado por los aspectos regionales sudamericanos anteriormente mencionados y otros temas específicos, como las diferencias socioeconómicas entre las regiones de la Costa, la Sierra y las Amazonas, y la forma en que se utilizan la energía y el suelo. Por lo tanto, estos aspectos amenazan los intentos de reducción y adaptación que el Ecuador está implementando para hacer frente al cambio climático y reducir sus impactos (Reuveny, 2007; Buytaert y col., 2010; Luque, Edwards y Lande, 2013; Luterbacher y col., 2004).

Se ha informado por medio de investigaciones sobre los impactos que nuestras actividades han tenido en todo el planeta durante las últimas décadas.

El monitoreo de diferentes sustancias comenzó hace unos 32 años con la firma del primer protocolo después de que los líderes de los principales países desarrollados se dieran cuenta del impacto que la humanidad tuvo en desencadenar un cambio climático irreversible. El primer acuerdo mundial fue el Protocolo de Montreal, firmado en 1987, que tuvo como objetivo proteger la capa de ozono, reduciendo y deteniendo el uso de los principales gases que reducen la capa (Ibárcena y Scheelje, 2003). Estos gases incluían el clorofluorocarbono (CFC) y el hidroclorofluorocarbono (HCFC) (Manzer, 1990; Prather y Spivakovsky, 1990). El segundo acuerdo importante fue el Protocolo de Kioto, que fue adoptado en 1997 pero que sólo entró en vigor en 2005, y cuyo objetivo era reducir los gases de efecto de invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el hidrofluorocarbono (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF_6) (Prather y Spivakovsky, 1990). Por último, el protocolo más reciente es el Acuerdo de París, firmado en 2015 y con 185 estados hasta la fecha. El Acuerdo de París tuvo como objetivo reducir las emisiones de carbono con el fin de mantener el próximo aumento de la temperatura global por debajo de $2^\circ C$ (Ibárcena y Scheelje, 2003; Enkvist, Naucal y Rosander, 2007; Van Vuuren y col., 2007; Friel y col., 2009; Hoegh-Guldberg y col., 2018).

Debido a que el logro de un compromiso y apoyo mundial requiere una fuente confiable de información sobre los cambios en curso en todo el mundo, la Agencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial crearon el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio de Clima (IPCC) en 1988. La investigación que el IPCC ha estado realizando en los últimos 25 años ha confirmado la gravedad y los efectos innegables del cambio climático en todo el mundo. Algunos de estos efectos incluyen: el aumento de la temperatura de $0,85^\circ C$ entre 1880 – 2014, un aumento del nivel del mar de 19 cm entre 1901 y 2010, la disminución de $1,07$ a $106 km^2$ del hielo ártico cada 10 años, la absorción de la energía térmica por los océanos, el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, el aumento del 40% de la concentración de CO_2 , la acidificación de los océanos debido a la mayor absorción de CO_2 , la pérdida de ecosistemas, sequías más largas y precipitaciones intensas (Doney, 2006; McNeil

y Matear, 2008; Knapp y col., 2008; Frank y col., 2015; Hoegh-Guldberg y col., 2018). El último informe especial presentado por el IPCC en 2018 confirma que el principal motor del cambio climático actual es el desarrollo antropogénico insostenible, por lo que proponen una reducción inmediata de las emisiones de CO_2 para mantener la temperatura mundial por debajo de los $1,5^\circ C$ (Hoegh-Guldberg y col., 2018).

Por otro lado, según el informe más reciente del Consejo Mundial de la Biodiversidad (IPBES), un millón de especies de extinción se verán amenazadas en los próximos años si no se implementan cambios importantes en el uso de la tierra, la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático (Biodiversity y Services, 2019). Por lo tanto, el informe nombra los efectos de la agricultura como el factor más importante en la extinción de especies. El informe detallado indica que a) alrededor del 85 por ciento de los humedales ya están destruidos; b) desde finales del siglo XIX, alrededor de la mitad de todos los arrecifes de coral han desaparecido; c) El nueve por ciento de todas las razas ganaderas están extintas; d) entre 1980 y 2000 se talaron 100 millones de hectáreas de selva tropical y otros 32 millones de hectáreas sólo entre 2010 y 2015; e) el 23 por ciento de la tierra en el planeta se considera ecológicamente degradada y ya no puede ser utilizada; e) la pérdida de polinizadores amenaza a la producción de alimentos en un valor de 235 a 577 mil millones de dólares al año; y f) la destrucción de zonas costeras como los bosques de manglares amenaza la vida en hasta 300 millones de personas (Biodiversity y Services, 2019).

Los efectos locales del cambio climático implican que cada país tiene que enfrentarlos de diferentes maneras en comparación con otros países. El riesgo que el Ecuador tiene que afrontar no sólo se debe a los peligros vinculados a su ubicación geográfica a lo largo de la línea ecuatorial, sino también a su vulnerabilidad económica y cultural, su preparación para los próximos desastres y la importancia del cambio climático para la sociedad (O'Brien y Wolf, 2010). Con el fin de implementar planes eficaces de mitigación y adaptación contra el cambio climático, se necesita cooperación y compromiso entre múltiples actores, principalmente el gobierno como legisladores y ejecutores, la industria, las corporaciones y la población como principales emi-

sores de GEI, y la academia como productores de conocimiento. En el caso del Ecuador, el gobierno ratificó el Acuerdo de París en 2017 y, más tarde en marzo de 2019, presentó sus primeras contribuciones determinadas a nivel nacional a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Si bien los PND no son jurídicamente vinculantes, están sujetos a las normativas requeridas (Rajamani y Brunnée, 2017) y a la evaluación de su progreso por parte de expertos técnicos para evaluar el logro hacia el NDC, que es el plan nacional para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los impactos del cambio climático.

En particular, la NDC de Ecuador se ha fijado el objetivo de reducir las emisiones de GEI en un 9% en los sectores de energía, industria, residuos y agricultura. Además, Ecuador planea reducir un 4% adicional de las emisiones de GEI en el cambio de uso de la tierra, es decir, la deforestación y la degradación de la tierra. En cuanto a la adaptación al cambio climático, el Ministerio de Medio Ambiente incorporará acciones en siete sectores naturales e hídricos, la salud, la producción, los asentamientos humanos y la agricultura (MAE, 2019). El período de aplicación de la NDC es 2020-2025, por lo tanto, aún no ha comenzado. Luego, en 2025, se realizará una evaluación para supervisar en qué medida se alcanzaron los objetivos. El gobierno ecuatoriano considera que, al ser un país en desarrollo con muchas necesidades socioeconómicas, su NDC es un plan ambicioso, pero es el indicado para hacer frente al cambio climático. Sin embargo, la implementación exitosa de la NDC ecuatoriana requiere la generación de alianzas estratégicas y el apoyo financiero, especialmente del sector privado y la cooperación internacional.

Uno de los principales desafíos es sin duda alcanzar el compromiso de la industria en los planes de CC, sin embargo, estas políticas deben incorporar a la industria como un elemento clave de aplicación, identificando las oportunidades económicas y movilizándolo los beneficios conjuntos vinculados al clima como los planes de mitigación y adaptación, los riesgos de cambio climático, los tipos de incentivos y motivar a las partes interesadas (Huang-Lachmann, Hannemann y Guenther, 2018; Helgenberger y Jänicke, 2017). Para hacer frente a la crisis climática actual con la participación activa de los diferentes actores es necesario cambiar los pa-

radigmas: de compartir la carga a compartir oportunidades. En todos los casos, como las políticas eficientes requieren bases científicas, los diferentes actores necesitan información clara y precisa de los académicos.

Por lo tanto, se realizó una encuesta preguntando a académicos ecuatorianos sobre sus percepciones y conocimientos sobre los procesos de cambio climático y las vulnerabilidades asociadas en el territorio ecuatoriano con el objetivo de comparar los hechos y las evidencias sobre la ocurrencia del cambio climático global en Ecuador. El objetivo o la intención a largo plazo es que los resultados ayuden a determinar el grado de preparación de una comunidad de académicos sobre el cambio climático, y cómo esto podría contribuir a la implementación de medidas de mitigación y adaptación al clima, cuyo éxito dependería de sus hábitos diarios. Aún falta el vínculo entre una comunidad bien informada y una implementación adecuada de las políticas. En los países donde existe una interrelación limitada entre la academia y las instituciones gubernamentales, el indicador de "comunidad bien informada" puede ser inadecuado.

2 Metodología y recopilación de la información

Debido a que hay poca investigación en Ecuador sobre las percepciones del cambio climático (Valdivia y col., 2010; Crona y col., 2013) y existen conceptos erróneos, el primer objetivo para llevar a cabo esta encuesta (Anexo1) fue recopilar datos cuantitativos de referencia de una población relativamente homogénea. La segunda razón fue probar o refutar la hipótesis de que las personas con educación superior tienen un conocimiento más preciso sobre el cambio climático, y son más propensas a compartir percepciones comunes sobre el cambio climático, como lo mencionó Crona y col., (2013). La tercera razón fue utilizar los resultados de esta primera encuesta para monitorear los cambios en las percepciones a lo largo del tiempo. La encuesta se llevó a cabo en la Sierra ecuatoriana con el objetivo de identificar y medir posibles diferencias geográficas, y evaluar si están relacionadas al grado de afectación. Teniendo en cuenta que el presente estudio se centra en las percepciones, los posibles enfoques metodológicos fueron una encuesta, un estudio de

caso a través de entrevistas cualitativas con énfasis en preguntas abiertas, o un método que mezcla ambas.

La investigación cualitativa se utiliza a menudo para explorar temas poco conocidos o entendidos o para aclarar problemas de significado, que no es el caso del cambio climático. Por lo tanto, se optó por la encuesta ya que el objetivo era llevar a cabo una investigación cuantitativa que incluye la medición, comparación y pruebas de hipótesis. Las estimaciones estadísticas dentro de la investigación cuantitativa requieren un gran número de muestras o individuos encuestados; por lo tanto, con el fin de llegar a un público más amplio, se consideró la encuesta simple y corta como el enfoque más adecuado para maximizar la tasa de respuesta y analizar una gran cantidad de datos.

La encuesta consistió en 14 preguntas cerradas en una sola hoja, que se basaron en las apariencias globales y locales del cambio climático y sus respectivos peligros. Las universidades consultadas se encuentran en cuatro sitios de la sierra ecuatoriana (Figura 1). Se administraron un total de 7803 preguntas a estudiantes y profesores, de las cuales el 56% son de la capital, Quito. Las catorce preguntas se han dividido en dos grupos principales, el global y el efecto local. El grupo de preguntas sobre el cambio climático global consiste en antecedentes de conocimiento sobre el origen de los fenómenos, el alcance y las manifestaciones mundiales. Mientras tanto, el segundo grupo consiste en preguntas relacionadas con el Ecuador, las vulnerabilidades y los problemas locales.

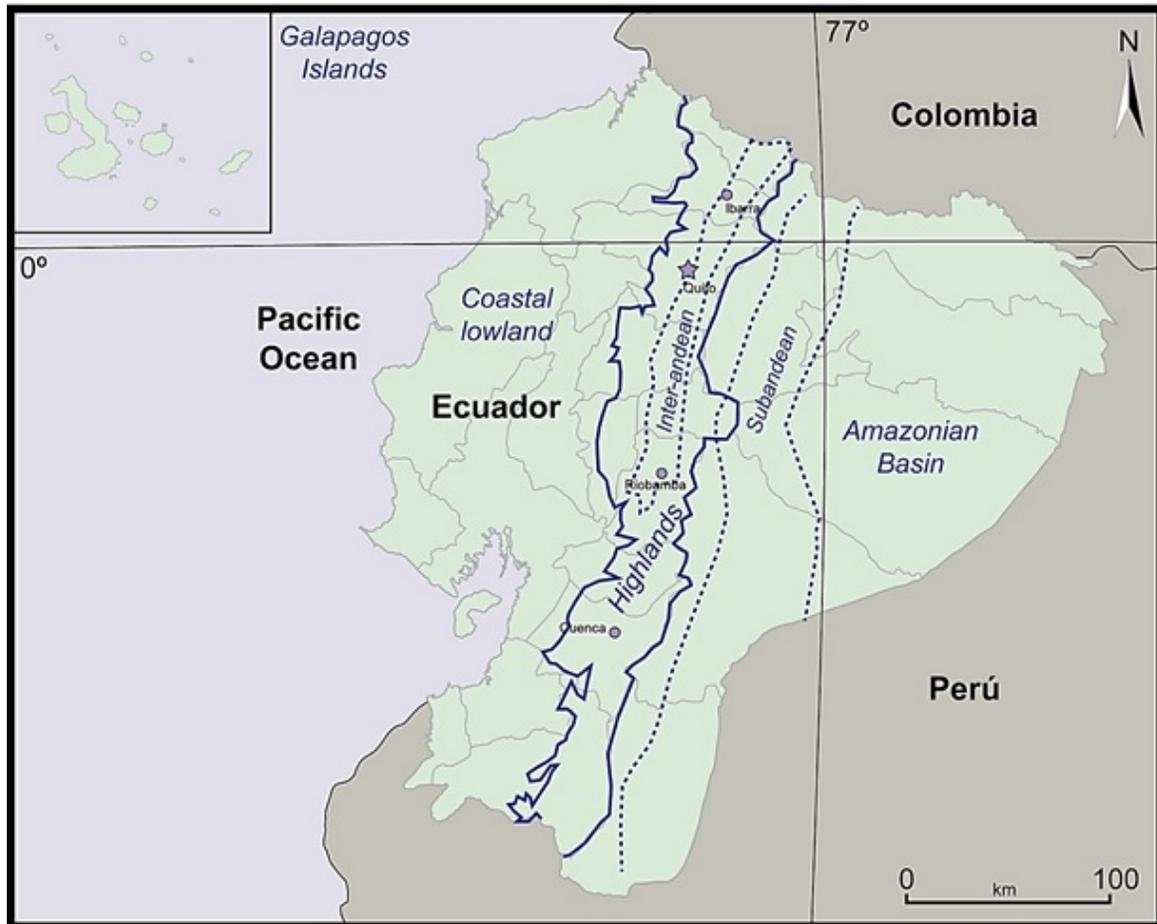


Figura 1. Mapa del Ecuador con las zonas más importantes y los sitios donde se ha realizado la encuesta.

3 Resultados y discusión

A) La perspectiva global. Las tres primeras preguntas de la encuesta (#1, 2 y 3) se centraron en temas globales al preguntar sobre la existencia y la gravedad del cambio climático, así como la participación o no de los seres humanos en la aparición de este fenómeno. Los resultados de estas tres preguntas fueron afirmativos y más del 75% estuvo de acuerdo sobre la existencia real y la gravedad del cambio climático y la participación o responsabilidad de los seres humanos. Esos temas son normalmente investigados en el mundo y se observan en las noticias. Según el UNDP, (2009), la gran importancia del cambio climático se debe a los riesgos a los que se enfrentará la humanidad con la tendencia actual de las concentraciones de CO_2 . Los riesgos incluyen: 1) reducción de la productividad agrícola, 2) aumento del estrés hídrico y la inseguridad alimenticia, (3) aumento del nivel del mar y exposición a desastres climáticos, (4) colapso de ecosistemas, (5) aumento de los riesgos para la salud, (6) inundaciones y (7) hambre.

Aunque todavía no hay una cuantificación fiable de los impactos acumulativos del cambio climático en la productividad agrícola a nivel mundial, no cabe duda de que existen efectos negativos directos de un aumento del CO_2 en la fisiología vegetal y el aumento en el uso de los recursos (Olesen y Bindi, 2002; Battisti y Naylor, 2009; Gornall y col., 2010). Por lo tanto, lo más probable es que la inseguridad alimentaria aumente debido al cambio climático actual, especialmente si las sociedades no pueden hacer frente rápidamente a los acontecimientos en curso (Lobell y col., 2008; Brown y Funk, 2008). En total, la biota local y los medios de vida humanos se ven amenazados por los cambios climáticos y los cambios asociados en los ecosistemas terrestres (Verchot y col., 2007).

El recurso de agua limpia es esencial para el hombre, la sociedad, su sistema de soporte vital y su desarrollo industrial (Sullivan, 2002; Milly, Dunne y Vecchia, 2005; Falkenmark, 2013). Sin embargo, el aumento de las temperaturas hace hincapié en los recursos hídricos existentes y en los ecosistemas que proporcionan este importante elemento. La reducción de los glaciares, la evaporación de los depósitos de agua y el alto uso de los recursos hídricos subterráneos han llevado a la reducción general del agua en zonas áridas y semiáridas (Messerli,

Viviroli y Weingartner, 2004; Greenwood, 2014; Zografos, Goulden y Kallis, 2014). Un aumento de esa vulnerabilidad puede causar importantes problemas sociales y territoriales entre las sociedades o incluso entre los países (Allouche, 2011; Adano y col., 2012; Gleick, 2014).

El incremento de la temperatura media mundial resulta en el aumento del nivel del mar (Harley y col., 2006). Estos cambios inducidos por el clima conducen a condiciones de inundación más perjudiciales en las zonas costeras, así como en otras zonas vulnerables cerca del nivel del mar (Watson y col., 1998; Berz y col., 2001; Hoegh-Guldberg y col., 2007). Además, los desastres hidrometeorológicos como huracanes o ciclones tienden a una mayor duración y una mayor intensidad correlacionada con el aumento de las temperaturas de la superficie del mar en las últimas décadas, incluso en regiones que no se habían visto afectadas antes (Climate Change, 2007; Dasgupta y col., 2011; Brecht y col., 2012). Además, el aumento del nivel medio del mar también puede dar lugar al colapso directo de una variedad de ecosistemas (Worm y col., 2006; MacDougall y col., 2013). Estos efectos dramáticos se observan especialmente en las regiones insulares o estados como los de las zonas del Caribe y el Pacífico meridional, donde las condiciones ambientales y las comunidades costeras son iguales (Pelling y Uitto, 2001; Dolan y Walker, 2006). Una consecuencia del calentamiento de los océanos es el fenómeno de la atmósfera-océano impulsado por la circulación oceánica, como la ENSO y los ciclones. Ejemplo de esto parece ser el fenómeno de El Niño 2015/16 registrado como uno de los más fuertes de la historia, aunque también ha sido interpretado de forma diferente (L'Heureux 2017; Mato y Toulkeridis, 2017; Brainard y col., 2018). El fenómeno de El Niño 2015/16 coincide con la temperatura media mundial en 2015, que alcanzó valores por encima de 1°C por primera vez en el nivel preindustrial, calificándose ese año como el más cálido hasta ahora (P. y col., 2016).

El cambio climático puede afectar a la salud a través de diferentes formas como olas de calor más intensas y más frecuentes, así como los cambios en la distribución de enfermedades transmitidas por vectores, entre otras (Patz y col., 2005; Haines y col., 2006). Se han observado los efectos del calentamiento global en el aumento temporal de las temperaturas que se producen con mayor frecuencia y por las

posteriores ondas calientes, así como en el aumento de las temperaturas en los océanos (Meehl y Tebaldi, 2004). Así, las olas de calor de larga duración que ocurrieron en 1995 en Chicago, Estados Unidos y en 2003 en París, Francia causaron 35.000 muertes (Karl y Knight, 1997; Luterbacher y col., 2004; Stott, Stone y Allen, 2004). Se esperan más olas de calor en regiones de todo el planeta, basadas en varios escenarios modelados (Lhotka, K. y F., 2018; Frölicher y Laufkötter, 2018; Guo y col., 2018). Además, hay muchas evidencias científicas que afirman que la variabilidad climática de las últimas décadas ha dado lugar a enfermedades transmitidas por vectores, como resultado de sequías e inundaciones, y ha producido muchos incendios (Martens y col., 1995; Githeko y col., 2000; Amiro y col., 2001; Flannigan y col., 2009; Moritz y col., 2012; El Universo, 2018).

Los cambios climáticos en diferentes regiones permiten la migración de una gran variedad de especies de insectos y aves, que pueden llevar consigo varias enfermedades infecciosas vectoriales y emergentes (Patz y col., 1996; Kovats y Hajat, 2008; Tol y Dowlatabadi, 2001; Epstein, 2001; Jones y Mann, 2004; Wu y col., 2016). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), el actual cambio climático mundial puede causar hasta 150.000 muertes al año (Cifuentes Lira, 2008). Además, se prevé que la temperatura mundial aumente de 1,5 a 4,5 °C, lo cual provocará el derretimiento de muchos glaciares, y un aumento del nivel del mar de 50 cm, impactando los sistemas biológicos como los arrecifes de coral, causando daños adicionales o una recuperación más lenta de la capa de ozono, y la propagación de enfermedades tropicales como la malaria y el paludismo (Ibárcena y Scheelje, 2003). El aumento de la temperatura y las fuertes lluvias son las principales causas de propagación de enfermedades. Por ejemplo, el modelo de distribución del paludismo se basa en las temperaturas (Rogers y Randolph, 2000). Los efectos sobre la salud de las personas debido al cambio climático incluyen desnutrición y enfermedades infecciosas (McMichael y Haines, 1997), ejemplos de esto son los impactos en la salud, como las epidemias y la diarrea, ocurridos después del fenómeno de El Niño en el sur (ENSO) (Patz y col., 2005).

Las respuestas a la pregunta #4, que considera el nivel que tienen los académicos sobre la ocurrencia o no del cambio climático, indican que el

60% cree que existe un acuerdo en la comunidad científica. A partir de la investigación realizada, la mayoría de los científicos están de acuerdo con los efectos inminentes y en su mayoría peligrosos del cambio climático y el calentamiento global. Ambos procesos han sido acelerados por los seres humanos y su actividad industrial, además coinciden en los efectos que la contaminación y el calentamiento global han tenido y tendrán sobre el ecosistema y la atmósfera, que incluye el derretimiento de los polos de hielo, la ENSO mejorada, las sequías, las inundaciones, el blanqueo de los arrecifes de coral y la extinción de algunas especies (Timmermann y col., 1999; Clauer y col., 2000; Walther y col., 2002; Thomas y col., 1999; Cazenave, 2006; Brook, Sodhi y Bradshaw, 2008; Markus, Stroeve y Miller, 2009; Ibárcena y Scheelje, 2003; Chen y col., 2013; McClanahan, Weil y Baird, 2018; Cai y col., 2019).

La pregunta #5 se centra en los cambios climáticos vividos durante la historia de la humanidad, con el propósito de encontrar los antecedentes de la variabilidad climática por parte de los académicos del Ecuador. Sobre la base de estudios científicos, ha habido varios cambios climáticos y de temperatura desde la existencia de los seres humanos, y también cambios climáticos rápidos significativos durante el actual Holoceno (Mayewski y col., 2004). Tales fluctuaciones climáticas, incluso las abruptas, parecen haber sido desencadenadas por cambios en la insolación orbital de la tierra, los aerosoles volcánicos y los procesos de retroalimentación de albedo, en lugar de un aumento significativo de los gases de efecto invernadero antropogénicos (Crowley, Criste y Smith, 1993; Rampino y Self, 1993; Overpeck y col., 1997; Crowley, 2000; Atwell, 2001; Bay, Bramall y Price, 2004; Christensen y col., 2019; Guanochanga y col., 2018; Fuertes y col., 2019).

En un enfoque más detallado, se puede recordar que desde la aparición de los homínidos hace más de 2.000.000 años, la historia de la evolución humana ha estado intrínsecamente ligada a las fluctuaciones climáticas de la Tierra, que han ayudado a dar forma a nuestra especie. Los orígenes del bipedalismo se hallan en un período de transición climático, y el *Homo erectus* surgió de la época más fría del Pleistoceno y sobrevivió a varios ciclos de glaciares-interglaciares (Menocal, 1995; Rightmire, 2008). La dominación del *Homo sapiens* se inició durante el último período glacial y se aceleró durante

la última transición glacial-interglacial (Groucutt y col., 2015; Williams y col., 2016; Asrat y col., 2018; Skillington, 2018). La especie humana moderna ha experimentado con éxito casi dos ciclos glaciales-interglaciales completos debido a su distribución geográfica mundial, a la amplia expansión de la población y a la dominación ecológica global junto con una tecnología superior y relaciones sociales más dinámicas (Shea, 2008; Schramski, Gattie y Brown, 2015).

Estos cambios climáticos han impactado la evolución y la dispersión humana, y se cree que incluso han estimulado el surgimiento de la agricultura. La domesticación de animales parece haber comenzado en Asia occidental hace unos 11.000 años, cuando las cabras y las ovejas fueron rebaños por primera vez, mientras que la domesticación de las plantas comenzó unos 2000 años más tarde, cuando el trigo, las lentejas y el centeno se cultivaban por primera vez (Diamond, 2002; Terrell y col., 2003). Este cambio de un estilo de vida nómada cazador-recolector a asentamientos agrarios tuvo lugar durante una fase de transición climática después del último período glacial (Richerson, Boyd y Bettinger, 2001). Parece que, aunque el cambio climático afectó a las sociedades nómadas al causar drásticos descensos en los recursos naturales, también trajo oportunidades a medida que se extendieron o aparecieron nuevas plantas y animales. Aunque ciertas civilizaciones pudieron haber colapsado debido a cambios climáticos abruptos e intensos, los seres humanos se han adaptado y han sobrevivido a las variaciones climáticas a través de la historia. Estos cambios climáticos van desde variaciones decenales a centenarias y milenarias, y han sido bien documentados a través de registros históricos, particularmente por medio de anillos de crecimiento anual en los árboles, estalagmitas de cuevas, corales, núcleos de lagos y sedimentos de aguas profundas y núcleos de hielo (McManus y col., 1994; Jones y col., 2009; Esper, Cook y Schweingruber, 2002). Las oscilaciones climáticas interanuales y decenales incluyen la Oscilación del Sur de El Niño, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación decadal del Pacífico o la Oscilación multidecadal atlántica (Henley y col., 2015; Geng y col., 2017; Kayano, Andreoli y Souza, 2019). También se han asociado con el colapso de la civilización maya en Mesoamérica entre los siglos VIII y VII, lo que sugiere que las sequías intensas pueden haber ocasionado tensiones sociales

(Hodell, Curtis y Brenner, 1995; Haug y col., 2003; Douglas y col., 2015; Beach y col., 2016). En cuanto a las escalas de tiempo centenarias, la Pequeña Edad de Hielo (EH) fue un período de enfriamiento relativo que se extendió desde principios del siglo XIV hasta mediados del siglo XIX (Jones y Mann, 2004; Rubino y col., 2016), y se caracteriza por una expansión de los glaciares de montaña en regiones como los Alpes europeos, Nueva Zelanda y los Andes patagónicos, y una disminución de $0,6^{\circ}\text{C}$ en las temperaturas medias anuales en todo el hemisferio norte (Svarva y col., 2018). Los efectos de EH incluyen malas cosechas y hambrunas en la mayor parte de Europa debido al aumento de la lluvia durante los veranos (Appleby, 1980), así como el colapso de las pesquerías de bacalao en el Atlántico Norte como resultado de una pronunciada disminución de las temperaturas del mar. La EH comenzó después del Período Cálido Medieval (950-1100 D.C.) (Cronin y col., 2010), cuyos inviernos y veranos más cálidos dieron lugar a buenos rendimientos de cosechas en la mayor parte de Europa, con trigo y viñedo que se cultivan en regiones más frías que en la actualidad. En el hemisferio norte, el período comprendido entre 1000 y 1100 AD presentó altas temperaturas similares a las registradas entre 1961 y 1990, mientras que las temperaturas mínimas de aproximadamente $0,7^{\circ}\text{C}$ por debajo del promedio de 1961-90 pudieron haber ocurrido alrededor de 1600 AD (Moberg y col., 2005). Sin embargo, ni la Pequeña Edad de Hielo ni el Período Cálido Medieval fueron períodos climáticamente homogéneos ni mostraron temperaturas uniformes en todas las partes de la Tierra. En su lugar, presentaron patrones de lluvia espacial complejos, regionalmente complejos y calentamiento asincrónico, probablemente como resultado de procesos acoplados del océano-atmósfera (Cronin y col., 2010). Por ejemplo, durante la EH, las temperaturas de zonas como el este de China o los Andes del Norte no experimentaron un descenso significativo. Sin embargo, los anteriores cambios climáticos han sido diferentes en comparación con los recientes (Neukom y col., 2019a; Neukom y col., 2019b; Brönnimann y col., 2019).

A este respecto, y sobre la base de los estudios antes mencionados, las percepciones registradas en la encuesta no se ajustan a los hechos, ya que la mayoría de los académicos investigados (67,2 %) cree que el cambio climático actual es el primer cambio

climático que los seres humanos están experimentando. Por lo tanto, no ha habido un conocimiento claro de los cambios climáticos anteriores desde la aparición de los seres humanos (Fig. 2). Las opciones de “totalmente de acuerdo” o “mayormente de acuerdo” obtienen una media del 39,77% de los resultados, mientras que las opciones de “totalmente en desacuerdo” o “mayormente en desacuerdo” suman sólo el 32% en promedio, además, el 27,42% de las respuestas corresponden a la opción “probablemente”. Sin embargo, entre las cuatro ciudades encuestadas, Ibarra y Riobamba son las que

tienen un porcentaje más alto (38 %) en las respuestas “totalmente en desacuerdo” o “mayormente en desacuerdo”, por lo tanto, con un mejor conocimiento de los hechos, mientras que Quito es la ciudad con el porcentaje más bajo (20,5 %) en estas opciones, demostrando una peor correspondencia con la realidad. Independientemente de la ciudad, los resultados indican que la percepción de este tema es variada, probablemente debido a una falta de conocimiento o a la falta de acceso a información sobre paleoclimatología.

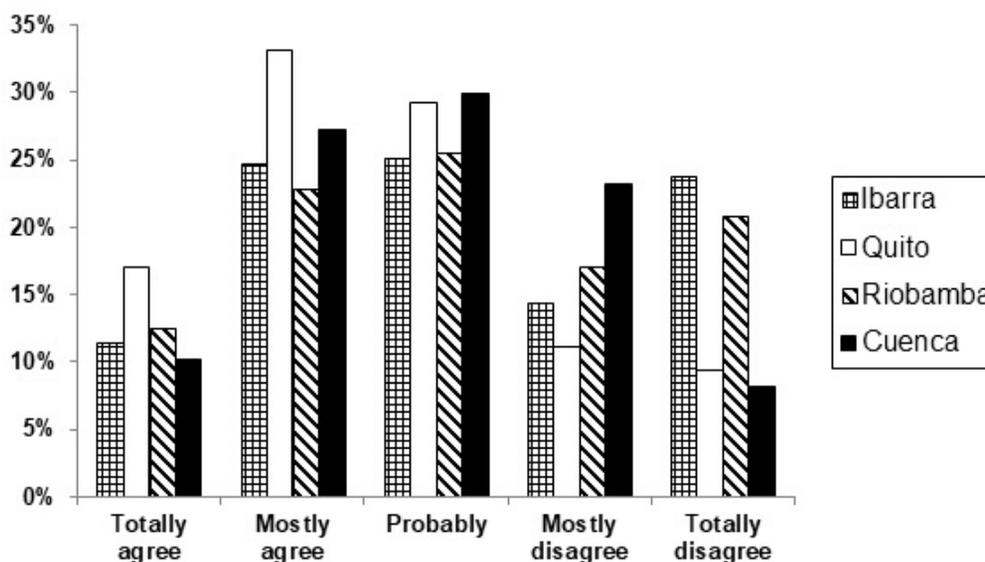


Figura 2. Histograma de la pregunta #5 de la encuesta que habla de la existencia de la historia humana (humanidad) y si es la primera vez que existe un cambio climático que impacta en el planeta.

B) La perspectiva ecuatoriana

La segunda parte de la encuesta tiene como objetivo evaluar los conocimientos y percepciones de los académicos ecuatorianos sobre los cambios visibles o percibidos en el clima de su propio país. Por lo tanto, el primer tema de la segunda parte (#6) ha sido si las personas piensan que Ecuador experimenta un cambio climático. El 60% y 80% de las respuestas indican una percepción simultánea en los cuatro sitios de la encuesta. De eventos pasados, se sabe comúnmente que la ubicación geográfica de Ecuador lo convierte en un país vulnerable al cambio climático debido a los efectos que la ENSO tiene sobre las costas latinoamericanas, pero tam-

bién más hacia el interior, en la sierra e incluso en la Amazonía, aunque con efectos opuestos desde miles de años (Rodbell y col., 1999; Riedinger y col., 2002; Terneus y Gioda, 2006). Estos efectos, junto con las observaciones de una tendencia creciente de la temperatura y el aumento de las variaciones intra e interanuales, pueden ser algunas de las principales razones para acordar que se está produciendo un cambio climático en Ecuador.

En Ecuador se destacan los impactos del cambio climático. En primer lugar, se intensifican los fenómenos climáticos extremos, como los que ocurrieron como resultado del fenómeno de ENSO; específicamente los eventos de El Niño de 1982-83

y 1997-98 y en años posteriores, causando daños significativos a los medios de subsistencia, la agricultura y la infraestructura (Rossel y Cadier, 2009; Aceituno y col., 2009; Bendix y col., 2011). En segundo lugar, se ha determinado un cierto aumento del nivel del mar durante las variaciones climáticas antes mencionadas (Cucalon, 1987; Rodbell y col., 1999). También el aumento del nivel del mar que ha causado inundaciones en las ciudades cercanas a la costa y otras ciudades, ya que también se agudizó el efecto de la ENSO. En tercer lugar, la retirada de los glaciares que es más visible particularmente en verano (Francou y col., 2000; Jordan y col., 2005; Francou y col., 2005). En cuarto lugar, una disminución de la escorrentía anual, como se indica en diferentes estudios (Yates, 1997; Poulénard y col., 2001; Laraque y col., 2007; Zubieta, Getirana y Espinoza, 2015). Además, en Ecuador se ha producido un aumento en el surgimiento del dengue, el paludismo y otras enfermedades tropicales (Gueri, González y Morin, 1986; Ruiz y Roeger, 1994; Kovats y col., 2001; Gabastou y col., 2002; Stewart-Ibarra y Lowe, 2013; Stewart-Ibarra y col., 2014; Padilla y col., 2017), como consecuencia del aumento de la temperatura y la humedad, creando mayores áreas adecuadas para la proliferación de enfermedades tropicales (Reguero y col., 2015; Ibárcena y Scheelje, 2003). Además, la expansión de las poblaciones de especies invasoras en Galápagos y otros ecosistemas sensibles del Ecuador continental (Schofield, 1989; Mauchamp, 1997; Roque Albelo y Causton, 1999; Wikelski y col., 2004; Chaves, 2018; Rueda y col., 2019; Urquía y col., 2019) y finalmente la extinción de varias especies (Haase, 1997; Bataille y col., 2009; Moret y col., 2016).

En cuanto a la pregunta #7 relacionada al cambio climático global, se pueden destacar algunos aspectos. La ubicación geográfica del Ecuador permite una mayor radiación solar, y aunado a un aumento de la temperatura global también puede representar una amenaza para la salud humana de esta región, tal como el cáncer de piel (Farmer y col., 1996; Duro Mota, Campillos Páez y Causín Serrano, 2003; Torre y col., 2015; Echegaray-Aveiga y col., 2018). El calentamiento global además de afectar a los cultivos y la vegetación también contribuye al aumento del nivel del mar debido a la expansión térmica en el océano y los glaciares (Solomon y col., 2009). La elevación de los glaciares en Ecuador es mayor que en otros países, por esta razón, un cambio en la Altitud

de la Línea de Equilibrio (ELA) puede tener impactos críticos en la regresión de los glaciares e incluso su desaparición. Muchas provincias del Ecuador, como Pichincha y Cotopaxi obtuvieron parte del agua de los glaciares, de ahí que su reducción cause graves problemas sociales (Rojas, 2016). Algunos de los problemas que Ecuador tendría que enfrentar con un cambio climático continuo y el aumento de las temperaturas promedio sería la escasez de agua en algunas ciudades como Quito, similar a Lima, Perú, donde el suministro de agua deriva predominantemente de los glaciares (Buytaert y col., 2017; Beeman y Hernández, 2018; Johansen y col., 2018). Los glaciares en América Latina, como casi todos los glaciares del mundo, están en constante reducción (La Frenierre y Mark, 2017; Milner y col., 2017). Varios estudios han concluido que los glaciares tropicales por debajo de una altitud de 5500 metros sobre el nivel del mar desaparecerán en menos de una década (Chadwell y col., 2016; Veettil y col., 2017; Wu y col., 2019). Varios glaciares ya se han reducido drásticamente o han desaparecido por completo, como los de Bolivia y un tercio de la capa de hielo del Quelccaya en Perú (Miranzo, 2015; Veettil y col., 2016; Yarleque y col., 2018). En Ecuador sus efectos también se observan en la sequía de la Cordillera de los Andes y la inundación de la zona costera (MAE, 2017). Además, los impactos o problemas de la naturaleza en Ecuador incluyen la expansión de las especies invasoras en las islas Galápagos y otras áreas protegidas, una disminución de los ecosistemas y la extinción de especies (Díaz, 2012).

Por otro lado, también pueden surgir temas positivos por las condiciones de cambio climático que aparecen en todo el mundo, así como en Ecuador (Bonan, 2008; Wassmann y col., 2009). Existen áreas donde las precipitaciones han sido muy bajas y la población ha luchado durante décadas para beneficiarse de mayores precipitaciones para lograr futuras explotaciones agrícolas (Cassman, 1999; Barrow, 2012; Junk, 2013). Esto también permitiría que una variedad de plantas y animales prosperen en estos nuevos nichos ecológicos más cálidos (Warren y col., 2013). Los agricultores pueden sembrar a principios de año, teniendo la oportunidad de obtener más cosecha que antes (Grau y Aide, 2008; Sissoko y col., 2011). Los árboles pueden ser plantados en altitudes más altas debido a las condiciones más cálidas, y esto puede permitir a los agricultores utilizar altitudes más altas para pastos y ganado

(Grace, Berninger y Nagy, 2002; Hemery, 2008; Hemery y col., 2010; Mathisen y col., 2014). Sobre la base de temperaturas más altas en todo el mundo, hay una menor necesidad de cortar árboles o incluso bosques enteros para obtener leña, lo que posteriormente conducirá a una evolución desacelerada del calentamiento global con menos quema de madera (Herrero, Ürge-Vorsatz y Petrichenko, 2013; Rahn y col., 2014). Las condiciones más cálidas conducen a un menor uso de combustibles fósiles usados para calentar los hogares (Edwards y col., 2004; Sathre y Gustavsson, 2011). Además, los ambientes más cálidos ayudan a la salud humana contra las enfermedades relacionadas con la salud de los climas fríos (Kalkstein y Greene, 1997; Khasnis y Nettleman, 2005; Epstein, 2000; Kovats y Hajat, 2008; Séguin y col., 2008; Wilke, Beier y Benelli, 2019).

Al comparar los hechos científicos y las percepciones registradas en la encuesta sobre la pregunta #7 "el cambio climático sólo genera desastres para Ecuador", se observa una correlación bastante buena entre los hechos y las percepciones, ya que la mayoría de los académicos encuestados (55 %) eligió las opciones de "mayormente de acuerdo" y "probablemente". Por lo tanto, existe una creencia general de que el cambio climático causa principalmente desastres o efectos negativos al Ecuador, aunque, al mismo tiempo, también reconocieron que el cambio climático puede tener algunos efectos positivos en su país, información que coincide con los

La pregunta #8 de la encuesta señaló las características más notables del calentamiento global y el cambio climático en Ecuador. La NOAA en 2015 determinó que se alcanzó un nuevo récord en emisiones de gases de invernadero y un aumento de las temperaturas a nivel mundial. Como resultado, los impactos en el agua y los ecosistemas terrestres se observan en todas las regiones del mundo. Ecuador ha sufrido varios cambios a lo largo del tiempo debido al cambio climático, lo que es evidente en las inundaciones cada vez más intensas, la erosión de las playas, la disminución de la biodiversidad en los páramos andinos, la retirada de los glaciares, la reducción de la productividad agrícola y los suministros de agua dulce. La ciudad de Quito ha experimentado un aumento de 1.1 °C de 1880 a 2017. Los efectos colaterales de este aumento han produ-

hechos expuestos anteriormente (Fig. 3). Los resultados se distribuyen entre todas las categorías con cada opción, alcanzando más del 10% de las respuestas. Las opciones de "totalmente de acuerdo" y "mayormente de acuerdo" coinciden en 44,08% de los resultados, mientras que las opciones "totalmente en desacuerdo" y "mayormente en desacuerdo" suman sólo el 27,35% en promedio, además, el 26,66 % de las respuestas corresponde a la opción "probablemente". Un análisis de las respuestas de las cuatro localidades encuestadas muestra que tres de las cuatro ciudades, Ibarra, Quito y Riobamba, tienen su mayor porcentaje en la opción "mayormente de acuerdo", el 32,3% de los académicos de Quito eligieron esta opción, demostrando un mejor conocimiento de los hechos. Por otro lado, Ibarra y Cuenca exhiben patrones diferentes: Ibarra es la ciudad con mayor porcentaje de estar "totalmente de acuerdo" y "totalmente en desacuerdo", revelando percepciones más extremistas, mientras que Cuenca es la ciudad con el porcentaje más bajo de "totalmente de acuerdo" y "totalmente en desacuerdo", y el mayor porcentaje de "probablemente", lo que indica un enfoque conservador con respecto al tema de los efectos del cambio climático en Ecuador. En general, los diversos resultados indican una falta de consenso en la percepción de esta cuestión, por lo tanto, la necesidad de tener conocimientos o evidencias más detallados sobre los efectos negativos y positivos del cambio climático en el país.

cido intensas estaciones invernales que han aumentado en los últimos 30 años (García-Garizábal y col., 2017).

En cuanto a las percepciones (Fig. 4), los académicos creen que la característica más notable del cambio climático en Ecuador es que las sequías alcanzan el 34,36% de las respuestas, las cuatro ciudades coincidieron en esta respuesta. La segunda característica es la precipitación más escasa pero más intensa con el 21,41%. Estas dos opciones pueden parecer opuestas, sin embargo, como Martín, (2018) explica, cuando se calienta, el vapor de agua se acumulará en la atmósfera, por lo que cuando llueve ocurre en grandes cantidades, pero habrá períodos más largos entre la época de lluvia, así que las sequías empeorarán y serán más frecuentes.

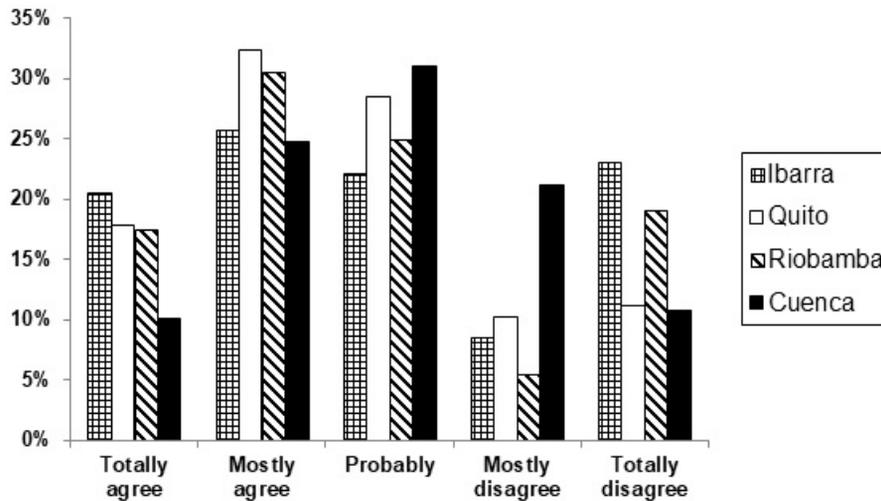


Figura 3. Histograma con los resultados basados en la pregunta #7 de la encuesta con la pregunta sobre si el cambio climático global sólo genera desastres para Ecuador.

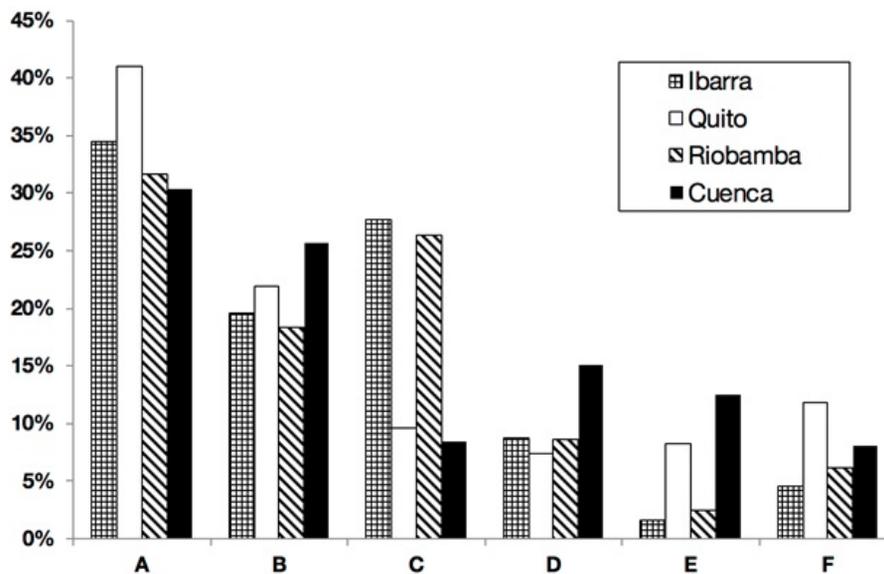


Figura 4. Histograma con los resultados basados en la pregunta #8 de la encuesta con las respuestas de opción múltiple sobre cuáles pueden ser los principales efectos del cambio climático en Ecuador. A = sequía más frecuente; B = lluvias escasas, pero más intensas; C = aumento de la temperatura; D - retiro del glaciar; E - aumento del nivel del mar; F - falta de agua.

Contrario a lo esperado, sólo el 18% de los académicos encuestados eligió la opción de aumento de la temperatura, lo que indica que los ecuatorianos no perciben la temperatura como la variable más afectada; por el contrario, creen que la lluvia es la característica principal. Sin embargo, esta opción presenta resultados diferentes entre las ciuda-

des. Ibarra y Riobamba muestran valores altos en 26-27%, mientras que Quito y Cuenca reportan valores muy bajos de 9,6 y 8,4%, respectivamente. Un 9,98% optó por la característica de retiro de glaciares, pero con marcadas diferencias entre 7,4% en Quito, y Cuenca que duplica el porcentaje de Quito (15%). Aunque la reducción de las capas de hie-

lo es una realidad visible en Ecuador, parece que el papel de los glaciares no se considera tan relevante, especialmente en Ibarra, Quito y Riobamba. Estos resultados son más sorprendentes teniendo en cuenta que Quito y Riobamba son dos ciudades que obtienen parte de su agua de los glaciares, mientras que Cuenca no depende del agua de los glaciares.

El aumento del nivel del mar fue la opción con el porcentaje más bajo (6,22%) ya que es más difícil de observar en Ecuador. Sin embargo, los resultados muestran una gran variedad, es decir, valores más altos para Cuenca (12,45%) y Quito (8,3%), y valores muy bajos para Riobamba (2,5%) e Ibarra (1,63%), a pesar de ser todas ellas ciudades de la sierra con distancias similares de la costa. En cuanto a la falta de agua, Quito muestra el porcentaje más alto con 11,78%, probablemente porque tiene mayor población. Por lo tanto, la diversidad en las investigaciones demostró una coincidencia con la heterogeneidad de los hechos. En general, la lluvia, debido a sus tendencias cambiantes de frecuencia e intensidad, parece ser la característica que más preocupa a los académicos.

A principios de 2015, el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador realizó visitas técnicas para demostrar los efectos del cambio climático en la Laguna Cuyabeno y el retiro del glaciar Chimborazo. Durante estas visitas, se confirmó la relación directa entre el bajo caudal de esta laguna y el glaciar. En este estudio se determinó que una de las causas de este fenómeno es la deforestación, pues altera el ciclo hidrológico que influye en el flujo de fuentes de agua cercanas. Se concluyó que el cambio climático afecta directamente a la ecología en una disminución del 10% junto con la reducción de la biodiversidad en estos sitios. Además, se verificó que el glaciar Chimborazo se ha deshecho un 58,9% entre 1962 y 2010, con registros inusuales de deslizamientos de tierra y material de piedra debido al aumento de la temperatura en esa zona (Telégrafo, 2016).

En la región sur del país, se han realizado estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y los posibles impactos en los ecosistemas, la producción de biomasa y la producción de agua. Es evidente que Ecuador tiene un alto índice de vul-

nerabilidad a los cambios ambientales relacionados con el cambio climático global debido a factores antropogénicos y climáticos, ya que cuenta con una diversidad de ecosistemas. El área estudiada consta de 41 ecosistemas, todos ellos están fuertemente amenazados por la explotación de recursos y cambios en todo el mundo (Aguirre y col., 2015). Del mismo modo, el efecto en El Oro incluye niveles más altos de precipitación, mientras que en Zamora Chinchipe incluye un aumento de la temperatura. Estos patrones de aumento de temperatura y precipitación en el área de estudio podrían afectar la fisiología, la fenología, la dinámica, la estructura, la productividad de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas. Esta evolución demostró la sensibilidad de la zona a la actividad antropogénica y su efecto negativo (Aguirre y col., 2015).

En un estudio reciente realizado en la provincia de Santa Elena se determinaron predicciones de aumento de temperatura en la zona costera del 2,7% para finales del siglo XXI. Los resultados se basaron en modelos teóricos y datos históricos sobre clima. Un aumento del 8,2% podría conducir a una reducción del grado de aridez de la región, pasando de un semidesierto árido a un semiárido mediterráneo, y de semiárido mediterráneo a subhúmedo (García-Garizábal y col., 2017).

La pregunta final #9 se centra más detalladamente en el área de Ecuador que muestra más los efectos del calentamiento global y el cambio climático. Un porcentaje relativamente alto ha indicado la zona costera (29%) y también la sierra (28,35%) con valores similares, cercanos al Valle Interandino con el 17,26%, que son aparentemente las regiones donde pueden haber ocurrido los efectos más fuertes del calentamiento global (Fig. 5). Si bien las personas consultadas de Cuenca optaron también por la región sub-andina (23%), este sitio con el 12,37% así como la cuenca amazónica con un 10,07% han sido menos afectados por calentamiento global según la mayoría de las personas. Las Islas Galápagos obtienen sólo el 1,6% en promedio, demostrando que los académicos de la sierra no las consideran afectadas por el calentamiento global, probablemente debido a su distancia, a pesar de ser un punto de acceso a la biodiversidad con alta vulnerabilidad climática.

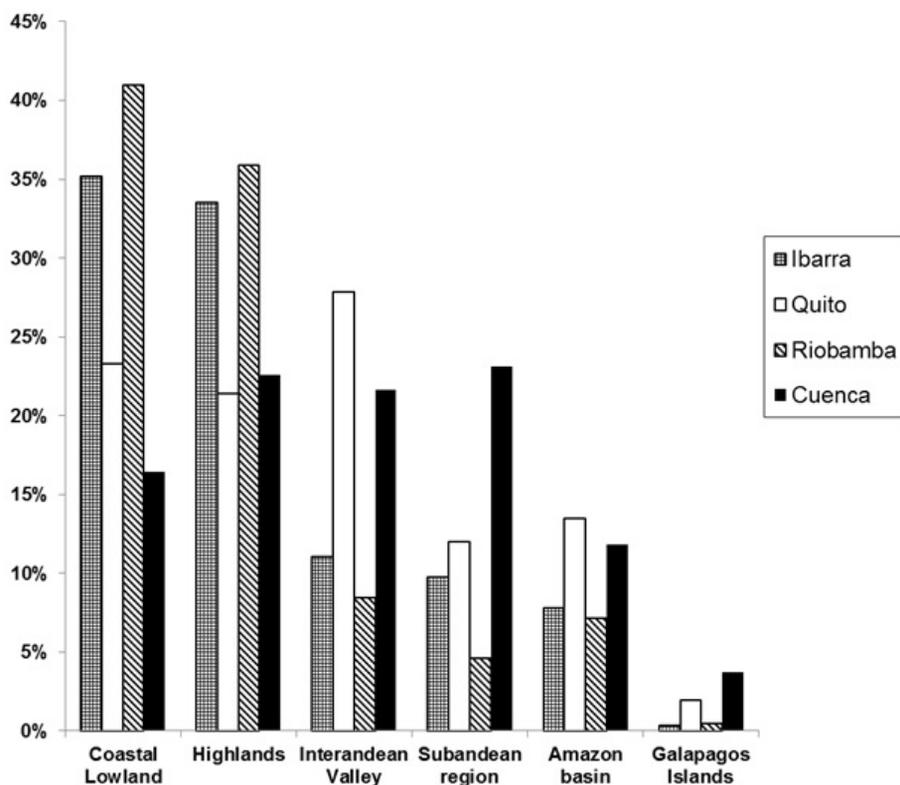


Figura 5. Histograma con los resultados basados en la pregunta #9 de la encuesta sobre qué regiones de Ecuador están más afectadas por el cambio climático.

Los resultados indican que las personas están conscientes que su propio entorno está teniendo algunos efectos graves, como se demostró con la pregunta #8 de la encuesta (Fig. 4). Esto permite interpretar que la gente probablemente no conoce bien o visita con poca frecuencia otras regiones, razón por la cual no tienen una mejor visión y una mejor evaluación de los efectos potenciales del calentamiento global y también otros efectos atmosféricos basados en el cambio climático. Sin embargo, la costa, especialmente en Ibarra y Riobamba, fue una excepción con el porcentaje más alto (35,2 y 41 %), ya que generalmente se percibía como altamente afectada por el cambio climático por los habitantes de la sierra, que ven a menudo en la televisión los efectos de El Niño y las inundaciones recurrentes en la costa ecuatoriana.

Por último, una visión general basada en la encuesta muestra que ha habido una tendencia a elegir las opciones 'b' = mayormente de acuerdo' y 'c' = probablemente, y que son ambiguas entre sí, y sólo

en preguntas específicas como 1 y 10 las opciones 'a' = Totalmente de acuerdo' o 'e' = Totalmente en desacuerdo' fueron escogidas. Estas dos preguntas son bastante comentadas en los medios de comunicación y los institutos; por lo tanto, es una elección clara. Sin embargo, esta "probabilidad" depende de información amplia e imprecisa cuando no se hace referencia a documentos científicos o a la fuente primaria. La omisión de la fuente sobre el cambio climático en las publicaciones de algunos diarios en Ecuador se verificó en 18 noticias. Se observa que las respuestas de los académicos estuvieron de acuerdo con la investigación científica realizada en todo el mundo; sin embargo, la mayor parte de este conocimiento carece de profundidad. Además, alrededor del otro 50% indica duda, lo cual está relacionado con la falta de información y poca investigación y datos sobre el cambio climático en todo el mundo y particularmente en Ecuador.

4 Conclusiones

Se necesita una perspectiva más amplia, la discusión de la intervención del gobierno, las corporaciones, los académicos y la comunidad en la implementación de políticas de emisión, mitigación y adaptación.

La comunidad académica ecuatoriana de la sierra está consciente de muchos acontecimientos conocidos a nivel mundial sobre el calentamiento global y el cambio climático, que incluye los posibles daños y desastres en diferentes entornos. Sin embargo, existe una clara falta de profundidad del origen y alcance de estos temas climáticos. También existe una evidente reducción de la concienciación sobre temas de adaptación, así como la mitigación y la preparación personal frente a posibles desastres como resultado del cambio climático.

Tales condiciones aumentan la vulnerabilidad de Ecuador a los efectos de cambio climático, ya que sólo existen algunas investigaciones orientadas a los impactos reales y cómo afectarán el futuro del país. Hay una falta de pensamiento en la planificación, como se demuestra en los resultados obtenidos de la encuesta. Sin embargo, los efectos del cambio climático en Ecuador son innegables, y se perciben principalmente en las inundaciones y sequías más frecuentes e intensas, y la retirada de los glaciares en la sierra.

Apéndice

La figura A1 muestra las preguntas correspondientes a la encuesta realizada para generar el levantamiento de la información desarrollado en la Sección 2.

Referencias

- Aceituno, P. y col. (2009). «The 1877–1878 el Niño episode: associated impacts in south America». En: *Climatic Change* 92.3-4, 389-416. Online: <https://bit.ly/38ael47>.
- Adano, W. R. y col. (2012). «Climate change, violent conflict and local institutions in Kenya's drylands». En: *Journal of Peace Research* 49.1, 65-80. Online: <https://bit.ly/32BKNUV>.
- Agency, IEA: International Energy (2018). *The CO2 Emissions from Fuel Combustion*. Online: <https://bit.ly/32x5TdW>.
- Aguirre, N. y col. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica*. Online: <http://bit.ly/2wKK4vv>.
- Allouche, J. (2011). «The sustainability and resilience of global water and food systems: Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade». En: *Food Policy* 36, S3-S8. Online: <https://bit.ly/3afnlke>.
- Amiro, B. D. y col. (2001). «Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest». En: *International Journal of Wildland Fire* 10.4, 405-413. Online: <https://bit.ly/2wdrRqf>.
- Appleby, A. B. (1980). «Epidemics and famine in the little ice age». En: *The Journal of interdisciplinary history* 10.4, 643-663. Online: <https://bit.ly/32DbPSU>.
- Asrat, A. y col. (2018). «Paleoclimate change in Ethiopia around the last interglacial derived from annually-resolved stalagmite evidence». En: *Quaternary Science Reviews* 202, 197-210. Online: <https://bit.ly/2uDarmr>.
- Atwell, W. S. (2001). «Volcanism and short-term climatic change in East Asian and world history, c. 1200-1699». En: *Journal of World History* 12.1, 29-98. Online: <https://bit.ly/39kTywd>.
- Baatz, C. (2013). «Responsibility for the Past? Some Thoughts on Compensating Those Vulnerable to Climate Change». En: *Developing Countries, Ethics, Policy & Environment*, 16.1, 94-110. Online: <https://bit.ly/2vcHqP1>.
- Barrow, C. J. (2012). «Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture». En: *Applied Geography* 34, 21-28. Online: <https://bit.ly/32yw1Fk>.
- Bataille, A. y col. (2009). «Natural colonization and adaptation of a mosquito species in Galápagos and its implications for disease threats to endemic wildlife». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.25, 10230-10235. Online: <https://bit.ly/2VtnYIw>.
- Battisti, D. S. y R. L. Naylor (2009). «Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat». En: *Science* 323.5911, 240-244. Online: <https://bit.ly/3co6ljk>.

- Bay, R. C., N. Bramall y P. B. Price (2004). «Bipolar correlation of volcanism with millennial climate change». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101.17, 6341-6345. Online: <https://bit.ly/2Tl27A3>.
- Beach, T. y col. (2016). «Climatic changes and collapses in Maya history». En: *Past Global Changes Magazine* 24.2, 66-67. Online: <https://bit.ly/2To0d1w>.
- Beeman, J. C. y J. C. R. Hernández (2018). «Understanding Global Climate Change from Andean Glaciers». En: *ReVista (Cambridge)* 18.3, 42-82. Online: <https://bit.ly/2T38j0Q>.
- Bendix, J. y col. (2011). «El Niño meets La Niña—anomalous rainfall patterns in the "traditional" Niño region of southern Ecuador». En: *Erdkunde*, 151-167. Online: <https://bit.ly/2PwVU2S>.
- Berz, G. y col. (2001). «World map of natural hazards—a global view of the distribution and intensity of significant exposures». En: *Natural hazards* 23.2-3, 443-465. Online: <https://bit.ly/3amati3>.
- Biodiversity, IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Ecosystem Services (2019). «Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services – unedited advance version». En: *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany.
- Bonan, G. B. (2008). «Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests». En: *science* 320.5882, 1444-1449. Online: <https://bit.ly/393TAIs>.
- Brainard, R. E. y col. (2018). «Ecological impacts of the 2015/16 El Niño in the central equatorial Pacific». En: *Bulletin of the American Meteorological Society* 99.1, S21-S26. Online: <https://bit.ly/2T5pX48>.
- Brecht, H. y col. (2012). «Sea-level rise and storm surges: High stakes for a small number of developing countries». En: *The Journal of Environment & Development* 21.1, 120-138. Online: <https://bit.ly/3cgl6Dm>.
- Brönnimann, S. y col. (2019). «Last phase of the Little Ice Age forced by volcanic eruptions». En: *Nature geoscience* 12.8, 650-656. Online: <https://bit.ly/2T71s6x>.
- Brook, B. W., N. S. Sodhi y C. J. A. Bradshaw (2008). «Synergies among extinction drivers under global change». En: *Trends in ecology & evolution* 23.8, 453-460. Online: <https://nus.edu/2VrOyl6>.
- Brown, M. E. y C. C. Funk (2008). «Food security under climate change». En: *Science* 319.5863, 580-581. Online: <https://bit.ly/2I4ZM72>.
- Buytaert, W. y col. (2010). «Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management». En: *Hydrology and Earth System Sciences* 14.7, 1247. Online: <https://bit.ly/2T5Cp3V>.
- Buytaert, W. y col. (2017). «Glacial melt content of water use in the tropical Andes». En: *Environmental Research Letters* 12.11, 114014. Online: <https://bit.ly/397g8rJ>.
- Cai, W. y col. (2019). «Pantropical climate interactions». En: *Science* 363.6430, eaav4236. Online: <https://bit.ly/381FyFX>.
- Calliari, E. (2018). «Loss and damage: a critical discourse analysis of Parties' positions in climate change negotiations». En: *Journal of Risk Research* 21.6, 725-747. Online: <https://bit.ly/3caydHD>.
- Cassman, K. G. (1999). «Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96.11, 5952-5959. Online: <https://bit.ly/3ac3msm>.
- Cazenave, A. (2006). «How fast are the ice sheets melting?». En: *Science* 314.5803, 1250-1252. Online: <https://bit.ly/39ap7sk>.
- Chadwell, C. D. y col. (2016). «Thinning of the Quelccaya Ice Cap over the last thirty years». En: *2016 Cryosphere Discuss*.
- Chaves, J. A. (2018). «Genetic Consequences of Invasive Species in the Galapagos Islands». En: *Understanding Invasive Species in the Galapagos Islands*. Springer, 19-32. Online: <https://bit.ly/32y2ono>.
- Chen, J. L. y col. (2013). «Rapid ice melting drives Earth's pole to the east». En: *Geophysical Research Letters* 40.11, 2625-2630. Online: <https://bit.ly/2PwnEol>.
- Christensen, T. R. y col. (2019). «Tracing the climate signal: Mitigation of anthropogenic methane emissions can outweigh a large Arctic natural emission increase». En: *Scientific reports* 9.1, 1-8. Online: <https://go.nature.com/3a39EKK>.
- Cifuentes Lira, L. A. (2008). «Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile». En: *2008 Temas de la agenda pública*. 19. Centro Interdiscipli-

- nario de Cambio Global (CICG-UC), 6-22. Online: <https://bit.ly/2vd3Pf5>.
- Clauer, N. y col. (2000). «Fluctuations of Caspian Sea level: Beyond climatic variations?» En: *Geology* 28.11, 1015-1018. Online: <https://go.aws/2vd2xkf>.
- Climate Change, IPCC – Intergovernmental Panel on (2007). «Climate change». En: *2007 The physical science basis. Agenda*. Vol. 6. 07, pág. 333.
- Crona, B. y col. (2013). «Perceptions of climate change: Linking local and global perceptions through a cultural knowledge approach». En: *Climatic change* 119.2, 519-531. Online: <https://bit.ly/3cbt41L>.
- Cronin, T. M. y col. (2010). «The medieval climate anomaly and little ice age in Chesapeake Bay and the North Atlantic Ocean». En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297.2, 299-310. Online: <https://bit.ly/397DE7Z>.
- Crowley, T. J. (2000). «Causes of climate change over the past 1000 years». En: *Science* 289.5477, 270-277. Online: <https://bit.ly/39ayBnq>.
- Crowley, T. J., T. A. Criste y N. R. Smith (1993). «Reassessment of Crete (Greenland) ice core acidity/volcanism link to climate change». En: *Geophysical Research Letters* 20.3, 209-212. Online: <https://bit.ly/32zCYpO>.
- Cucalon, E. (1987). «Oceanographic variability off Ecuador associated with an El Niño event in 1982–1983». En: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 92.C13, 14309-14322. Online: <https://bit.ly/2w7YC8r>.
- Dasgupta, S. y col. (2011). «Exposure of developing countries to sea-level rise and storm surges». En: *Climatic Change* 106.4, 567-579. Online: <https://bit.ly/2VEnklj>.
- Diamond, J. (2002). «Evolution, consequences and future of plant and animal domestication». En: *Nature* 418.6898, 700-707. Online: <https://go.nature.com/2I30To0>.
- Diaz, G. (2012). «El cambio climático». En: *Ciencia y Sociedad*, págs. 2-15.
- Dolan, A. H. e I. J. Walker (2006). «Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks». En: *Journal of Coastal Research*, 1316-1323. Online: <https://bit.ly/2Vuovdc>.
- Doney, S. C. (2006). «The dangers of ocean acidification». En: *Scientific American* 294.3, 58-65. Online: <https://bit.ly/3831pNq>.
- Douglas, P. M. J. y col. (2015). «Drought, agricultural adaptation, and sociopolitical collapse in the Maya Lowlands». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112.18, 5607-5612. Online: <https://bit.ly/3960Ljf>.
- Duro Mota, E., M. T. Campillos Páez y S. Causín Serrano (2003). «El sol y los filtros solares». En: *Medifam* 13.3, 39-45. Online: <https://bit.ly/2Vv9eIP>.
- Echegaray-Aveiga, R. C. y col. (2018). «Solar Energy Potential in Ecuador». En: *2018 International Conference on Democracy & Government (ICE-DEG)*. IEEE, 46-51. Online: <https://bit.ly/2uF6NbS>.
- Edwards, R. D. y col. (2004). «Implications of changes in household stoves and fuel use in China». En: *Energy policy* 32.3, 395-411. Online: <https://bit.ly/3abKVUx>.
- El Universo (2018). *El calentamiento global favorece aumento de incendios forestales*. URL: <https://bit.ly/32yKBg4>.
- Enkvist, P., T. Naucér y J. Rosander (2007). «A cost curve for greenhouse gas reduction». En: *McKinsey Quarterly* 1, 34. Online: <https://bit.ly/2T33NPV>.
- Epstein, P. R. (2000). «Is global warming harmful to health?» En: *Scientific American* 283.2, 50-57. Online: <https://bit.ly/395i83L>.
- (2001). «Climate change and emerging infectious diseases». En: *Microbes and infection* 3.9, 747-754. Online: <https://bit.ly/2w9tJAK>.
- Esper, J., E. R. Cook y F. H. Schweingruber (2002). «Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability». En: *science* 295.5563, 2250-2253. Online: <https://bit.ly/2HZlZ6v>.
- Falkenmark, M. (2013). «Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security». En: *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 371.2002, 20120410. Online: <https://bit.ly/391B9nP>.
- Farmer, K. C. y col. (1996). «Sun exposure, sunscreens, and skin cancer prevention: a year-round concern». En: *Annals of Pharmacotherapy* 30.6, 662-673. Online: <https://bit.ly/2TIQOYv>.
- Flannigan, M. y col. (2009). «Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest». En: *Global change biology* 15.3, 549-560. Online: <https://bit.ly/2T4Np19>.

- Francou, B. y col. (2000). «Glacier evolution in the tropical Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador». En: *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 29.7, 416-422. Online: <https://bit.ly/2Tjr3be>.
- Francou, B. y col. (2005). «Glaciers of the tropical Andes: indicators of global climate variability». En: *Global change and mountain regions*. Springer, 197-204. Online: <https://bit.ly/2TpHrXG>.
- Frank, D. y col. (2015). «Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts». En: *Global Change Biology* 21.8, 2861-2880. Online: <https://bit.ly/3cdKwMr>.
- Friel, S. y col. (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture». En: *The Lancet* 374.9706, 2016-2025. Online: <https://bit.ly/381VJTT>.
- Friman, M. y M. Hjerpe (2015). «Agreement, significance, and understandings of historical responsibility in climate change negotiations». En: *Climate Policy* 15.3, 302-320. Online: <https://bit.ly/3aakWgb>.
- Frölicher, T. L. y C. Laufkötter (2018). «Emerging risks from marine heat waves». En: *Nature communications* 9.1, 650. Online: <https://go.nature.com/32yyfVh>.
- Fuertes, W. y col. (2019). «Data Analytics on Real-Time Air Pollution Monitoring System Derived from a Wireless Sensor Network». En: *International Conference on Information Technology & Systems*. Springer, Cham, 57-67. Online: <https://bit.ly/395mOXn>.
- Furley, T. H. y col. (2018). «Toward sustainable environmental quality: Identifying priority research questions for Latin America». En: *Integrated environmental assessment and management* 14.3, 344-357. Online: <https://bit.ly/2PvnLQZ>.
- Gabastou, J. M. y col. (2002). «Characteristics of the cholera epidemic of 1998 in Ecuador during El Niño». En: *Revista panamericana de salud pública= Pan American journal of public health* 12.3, 157-164. Online: <https://bit.ly/2T5noyT>.
- García-Garizábal, I. y col. (2017). «Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático». En: *Dyna* 84.203. Online: <https://bit.ly/2PvPVf0>.
- Geng, X. y col. (2017). «Decadal modulation of the ENSO–East Asian winter monsoon relationship by the Atlantic Multidecadal Oscillation». En: *Climate Dynamics* 49.7-8, 2531-2544. Online: <https://bit.ly/2wdpEuO>.
- Githeko, A. K. y col. (2000). «Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis». En: *Bulletin of the World Health Organization* 78, 1136-1147. Online: <https://bit.ly/3a773PK>.
- Gleick, P. H. (2014). «Water, drought, climate change, and conflict in Syria». En: *Weather, Climate, and Society* 6.3, 331-340. Online: <https://bit.ly/2uxYaj8>.
- Gornall, J. y col. (2010). «Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century». En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2973-2989. Online: <https://bit.ly/2waIIKs>.
- Goworek, H. y col. (2018). «Scaling sustainability: Regulation and resilience in managerial responses to climate change». En: *British Journal of Management* 29.2, 209-219. Online: <https://bit.ly/2VuhCZq>.
- Grace, J., F. Berninger y L. Nagy (2002). «Impacts of climate change on the tree line». En: *Annals of Botany* 90.4, 537-544. Online: <https://bit.ly/2PxIpA5>.
- Grau, H. R. y M. Aide (2008). «Globalization and land-use transitions in Latin America». En: *Ecology and society* 13.2. Online: <https://bit.ly/3893hnE>.
- Greenwood, S. (2014). «Water insecurity, climate change and governance in the Arab world». En: *Middle East Policy* 21.2, 140-156. Online: <https://bit.ly/3af6rb9>.
- Groucutt, H. S. y col. (2015). «Rethinking the dispersal of Homo sapiens out of Africa». En: *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 24.4, 149-164. Online: <https://bit.ly/2T35k8u>.
- Guanochanga, B. y col. (2018). «Real-time air pollution monitoring systems using wireless sensor networks connected in a cloud-computing, wrapped up web services». En: *Proceedings of the Future Technologies Conference*. Vol. 880. Springer, 171-184. Online: <https://bit.ly/2I0EmYK>.
- Gueri, M., C. González y V. Morin (1986). «The effect of the floods caused by “El Niño” on health». En: *Disasters* 10.2, 118-124. Online: <https://bit.ly/3ad0cEI>.
- Guo, Y. y col. (2018). «Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study». En: *PLoS medicine* 15.7, e1002629.

- Haase, B. (1997). «The impact of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) on birds: update from Ecuador 1997». En: *Cotinga* 8, 64-65. Online: <https://bit.ly/3cf11P7>.
- Haines, A. y col. (2006). «Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health». En: *Public health* 120.7, 585-596. Online: <https://bit.ly/2wf1gcA>.
- Harley, C. D. G. y col. (2006). «The impacts of climate change in coastal marine systems». En: *Ecology letters* 9.2, 228-241. Online: <https://bit.ly/394PD6k>.
- Haug, G. H. y col. (2003). «Climate and the collapse of Maya civilization». En: *Science* 299.5613, 1731-1735. Online: <https://bit.ly/3abdDEX>.
- Hedlund, J. y col. (2018). «Quantifying transnational climate impact exposure: New perspectives on the global distribution of climate risk». En: *Global environmental change* 52, 75-85. Online: <https://bit.ly/396MIKx>.
- Helgenberger, S. y M. Jänicke (2017). *Mobilizing the co-benefits of climate change mitigation*. Inf. téc. IASS Working Paper. Online: <https://bit.ly/3af90tN>.
- Hemery, G. E. y col. (2010). «Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities». En: *Forestry* 83.1, 65-81. Online: <https://bit.ly/2VvAven>.
- Hemery, G.E. (2008). «Forest management and silvicultural responses to projected climate change impacts on European broadleaved trees and forests». En: *International Forestry Review* 10.4, 591-607. Online: <https://bit.ly/38bK0Cl>.
- Henley, B. J. y col. (2015). «A tripole index for the interdecadal Pacific oscillation». En: *Climate Dynamics* 45.11-12, 3077-3090. Online: <https://bit.ly/39iEwXq>.
- Herrero, S. T., D. Üрге-Vorsatz y K. Petrichenko (2013). «Fuel poverty alleviation as a co-benefit of climate investments: evidence from Hungary». En: *European Council for an Energy Efficient Economy Summer Study (ECEEE) Summer Study Proceedings*, 1605-1616. Online: <https://bit.ly/2VzYCJ3>.
- Hodell, D. A., J. H. Curtis y M. Brenner (1995). «Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization». En: *Nature* 375.6530, 391-394. Online: <https://go.nature.com/2I1qmht>.
- Hoegh-Guldberg, O. y col. (2007). «Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification». En: *Science* 318.5857, 1737-1742. Online: <https://bit.ly/39c2eVp>.
- Hoegh-Guldberg, O. y col. (2018). «Global warming of 1.5C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty». En: ed. por V. Masson-Delmotte y col. Press. Cap. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems.
- Huang-Lachmann, J. T., M. Hannemann y E. Guenther (2018). «Identifying links between economic opportunities and climate change adaptation: empirical evidence of 63 cities». En: *Ecological Economics* 145, 231-243. Online: <https://bit.ly/3acfObm>.
- Ibárcena, M. y J. M. Scheelje (2003). «El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados». En: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Quebec Canada.
- Johansen, K. S. y col. (2018). *The Andean glacier and water atlas: the impact of glacier retreat on water resources*. UNESCO Publishing.
- Jones, P. D. y M. E. Mann (2004). «Climate over past millennia». En: *Reviews of Geophysics* 42.2. Online: <https://bit.ly/2I0X42z>.
- Jones, P. D. y col. (2009). «High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects». En: *The Holocene* 19.1, 3-49. Online: <https://bit.ly/2TqJn26>.
- Jordan, E. y col. (2005). «Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997/Estimation par photogrammétrie de la récession glaciaire sur le Volcan Cotopaxi (Equateur) entre 1956 et 1997». En: *Hydrological Sciences Journal* 50.6. Online: <https://bit.ly/2v1vqk>.
- Junk, W. J. (2013). «Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change». En: *Aquatic Sciences* 75.1, 113-131. Online: <https://bit.ly/2Tlp8Dd>.
- Kalkstein, L. S. y J. S. Greene (1997). «An evaluation of climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change». En: *Environmental health perspectives* 105.1, 84-93. Online: <https://bit.ly/2Tm7A9N>.

- Karl, T. R. y R. W. Knight (1997). «The 1995 Chicago heat wave: how likely is a recurrence?» En: *Bulletin of the American Meteorological Society* 78.6, 1107-1120. Online: <https://bit.ly/3ceE9iK>.
- Kayano, M. T., R. V. Andreoli y R. A. F. D. Souza (2019). «El Niño–Southern Oscillation related teleconnections over South America under distinct Atlantic Multidecadal Oscillation and Pacific Interdecadal Oscillation backgrounds: La Niña». En: *International Journal of Climatology* 39.3, 1359-1372. Online: <https://bit.ly/2vox3HF>.
- Khasnis, A. A. y M. D. Nettleman (2005). «Global warming and infectious disease». En: *Archives of medical research* 36.6, 689-696. Online: <https://bit.ly/2vqOeIP>.
- Knapp, A. K. y col. (2008). «Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems». En: *Bioscience* 58.9, 811-821. Online: <https://bit.ly/3adEnW>.
- Kovats, R. S. y S. Hajat (2008). «Heat stress and public health: a critical review». En: *Annu. Rev. Public Health* 29, 41-55. Online: <https://bit.ly/2Py5PVU>.
- Kovats, R. S. y col. (2001). «Early effects of climate change: do they include changes in vector-borne disease?» En: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 356.1411, 1057-1068. Online: <https://bit.ly/2vnerYK>.
- La Frenierre, J. y B.G. Mark (2017). «Detecting patterns of climate change at Volcán Chimborazo, Ecuador, by integrating instrumental data, public observations, and glacier change analysis». En: *Annals of the American Association of Geographers* 107.4, págs. 979-997.
- Laraque, A. y col. (2007). «Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon basin». En: *Journal of hydro-meteorology* 8.6, 1364-1381. Online: <https://bit.ly/386YQd8>.
- Lhotka, O., J. K. y A. F. (2018). «Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties». En: *Theoretical and applied climatology* 131.3-4, 1043-1054. Online: <https://bit.ly/32zZyOX>.
- Loell, D. B. y col. (2008). «Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030». En: *Science* 319.5863, 607-610. Online: <https://bit.ly/2TjSH89>.
- Luque, A., G. A. S. Edwards y C. Lalande (2013). «The local governance of climate change: new tools to respond to old limitations in Esmeraldas, Ecuador». En: *Local Environment* 18.6, 738-751. Online: <https://bit.ly/2HYLlIc>.
- Luterbacher, J. y col. (2004). «European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500». En: *Science* 303, 1499-1503. Online: <https://bit.ly/2T82NtJ>.
- MAE (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Inf. téc. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- (2019). *NDC: Nationally determined contribution. Primera contribución determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático*. Inf. téc. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MacDougall, A. S. y col. (2013). «Diversity loss with persistent human disturbance increases vulnerability to ecosystem collapse». En: *Nature* 494.7435, 86-89. Online: <https://go.nature.com/383wpwv>.
- Manzer, L. E. (1990). «The CFC-ozone issue: progress on the development of alternatives to CFCs». En: *Science* 249.4964, 31-35. Online: <https://bit.ly/3cerL2f>.
- Markus, T., J. C. Stroeve y J. Miller (2009). «Recent changes in Arctic sea ice melt onset, freezeup, and melt season length». En: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 114.C12. Online: <https://bit.ly/2wS0tyl>.
- Martens, W. J. M. y col. (1995). «Climate change and vector-borne diseases: a global modelling perspective». En: *Global environmental change* 5.3, 195-209. Online: <https://bit.ly/32wVclC>.
- Martin, E. R. (2018). «Future projections of global pluvial and drought event characteristics». En: *Geophysical Research Letters* 45.21, 913-920. Online: <https://bit.ly/32z8XWO>.
- Mathisen, I. E. y col. (2014). «Fifty years of tree line change in the Khibiny Mountains, Russia: advantages of combined remote sensing and dendroecological approaches». En: *Applied Vegetation Science* 17.1, 6-16. Online: <https://bit.ly/2T4yNiw>.
- Mato, F. y T. Toulkeridis (2017). «The missing Link in El Niño's phenomenon generation». En: *Science of tsunami hazards* 36, 128-144. Online: <https://bit.ly/2TnFE5C>.
- Mauchamp, A. (1997). «Threats from alien plant species in the Galápagos Islands». En: *Conserva-*

- tion Biology 11.1, 260-263. Online: <https://bit.ly/3a9y7xW>.
- Mayewski, P. A. y col. (2004). «Holocene climate variability». En: *Quaternary research* 62.3, 243-255. Online: <https://bit.ly/2we0JY2>.
- McClanahan, T. R., E. Weil y A. H. Baird (2018). «Consequences of coral bleaching for sessile reef organisms». En: *Coral bleaching*. Springer, 231-263. Online: <https://bit.ly/2Vvb6Bq>.
- McManus, J. F. y col. (1994). «High-resolution climate records from the North Atlantic during the last interglacial». En: *Nature* 371.6495, 326-329. Online: <https://go.nature.com/3cpurdw>.
- McMichael, A. J. y A. Haines (1997). «Global climate change: the potential effects on health». En: *Bmj: British Medical Journal* 315.7111, 805. Online: <https://bit.ly/386Luh9>.
- McNeil, B. I. y R. J. Matear (2008). «Southern Ocean acidification: A tipping point at 450-ppm atmospheric CO₂». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105.48, 18860-18864. Online: <https://bit.ly/2VxE6Zl>.
- Meehl, G. A. y C. Tebaldi (2004). «More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century». En: *Science* 305.5686, 994-997. Online: <https://bit.ly/2VARhO9>.
- Menocal, P. B. de (1995). «Plio-pleistocene African climate». En: *Science* 270.5233, 53-59. Online: <https://bit.ly/2VtRE8o>.
- Mertz, O. y col. (2009). «Adaptation to climate change in developing countries». En: *Environmental management* 43.5, 743-752. Online: <https://bit.ly/399cIVo>.
- Messerli, B., D. Viviroli y R. Weingartner (2004). «Mountains of the world: vulnerable water towers for the 21st century». En: *Ambio*, 29-34. Online: <https://bit.ly/2TfQaLW>.
- Milly, P. C., K. A. Dunne y A. V. Vecchia (2005). «Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate». En: *Nature* 438.7066, 347. Online: <https://go.nature.com/3806Uwg>.
- Milner, A. M. y col. (2017). «Glacier shrinkage driving global changes in downstream systems». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.37, 9770-9778. Online: <https://bit.ly/3chokrF>.
- Miranzo, M. (2015). «Las consecuencias del cambio climático en el MAGREB». En: *UNISCI discussion papers*, 127-150. Online: <https://bit.ly/2TljUau>.
- Moberg, A. y col. (2005). «Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data». En: *Nature* 433.7026, 613-617. Online: <https://go.nature.com/2ve9IZt>.
- Moret, P. y col. (2016). «Climate warming effects in the tropical Andes: first evidence for upslope shifts of Carabidae (Coleoptera) in Ecuador». En: *Insect Conservation and Diversity* 9.4, 342-350. Online: <https://bit.ly/3agoMVf>.
- Moritz, M. A. y col. (2012). «Climate change and disruptions to global fire activity». En: *Ecosphere* 3.6, 1-22. Online: <https://bit.ly/2T7Y23e>.
- Müller, B., N. Höhne y C. Ellermann (2009). «Differentiating (historic) responsibilities for climate change». En: *Climate Policy* 9.6, 593-611. Online: <https://bit.ly/2w87FpL>.
- Neukom, R. y col. (2019a). «Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era». En: *Nature Geoscience* 12.7. Online: <https://bit.ly/2Vuk2XZ>.
- Neukom, R. y col. (2019b). «No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era». En: *Nature Geoscience* 12.7.
- O'Brien, K. L. y J. Wolf (2010). «A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change». En: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1.2, 232-242. Online: <https://bit.ly/2wboOPu>.
- Olesen, J. E. y M. Bindi (2002). «Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy». En: *European journal of agronomy* 16.4, 239-262. Online: <https://bit.ly/2PwbifT>.
- Overpeck, J. y col. (1997). «Arctic environmental change of the last four centuries». En: *Science* 278.5341, 1251-1256. Online: <https://bit.ly/211jv7E>.
- P., Zhai. y col. (2016). «The strong El Niño of 2015/16 and its dominant impacts on global and China's climate.» En: *Springer link* 30, 283-29. Online: <https://bit.ly/2waLLpF>.
- Padilla, O. y col. (2017). «Modeling of the ecological niches of the anopheles spp in Ecuador by the use of geo-informatic tools». En: *Spatial and spatio-temporal epidemiology* 21, 1-11. Online: <https://bit.ly/32z5TtP>.

- Page, E. A. (2008). «Distributing the burdens of climate change». En: *Environmental Politics* 17.4, 556-575. Online: <https://bit.ly/2wUzu5m>.
- Page, E. A y C. Heyward (2017). «Compensating for climate change loss and damage». En: *Political Studies* 65.2, 356-372. Online: <https://bit.ly/2VwfKPE>.
- Patz, J. A. y col. (1996). «Global climate change and emerging infectious diseases». En: *Jama* 275.3, 217-223. Online: <https://bit.ly/2wfGwkY>.
- Patz, J. A. y col. (2005). «Impact of regional climate change on human health». En: *Nature* 438.7066, 310. Online: <https://go.nature.com/2VtjXne>.
- Pelling, M. y J. I. Uitto (2001). «Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change». En: *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 3.2, 49-62. Online: <https://bit.ly/2TqDGBz>.
- Poulenard, J. y col. (2001). «Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning». En: *Catena* 45.3, 185-207. Online: <https://bit.ly/32Gdsza>.
- Prather, M. y C. M. Spivakovsky (1990). «Tropospheric OH and the lifetimes of hydrochlorofluorocarbons». En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 95.D11, 18723-18729. Online: <https://bit.ly/2PxgekI>.
- Rahn, E. y col. (2014). «Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies?». En: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19.8, 1119-1137. Online: <https://bit.ly/2T84wiA>.
- Rajamani, L. (2000). «The principle of common but differentiated responsibility and the balance of commitments under the climate regime». En: *Rev. Eur. Comp. & Int'l Envtl. L.* 9, 120. Online: <https://bit.ly/3abnQkN>.
- Rajamani, L. y J. Brunnée (2017). «The Legality of Downgrading Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement: Lessons from the US Disengagement». En: *Journal of Environmental Law* 29.3, 537-551. Online: <https://bit.ly/2HZhfOx>.
- Rampino, M. R. y S. Self (1993). «Climate-volcanism feedback and the Toba eruption of 74,000 years ago». En: *Quaternary Research* 40.3, 269-280. Online: <https://bit.ly/2T5btRy>.
- Reguero, B. G. y col. (2015). «Effects of climate change on exposure to coastal flooding in Latin America and the Caribbean». En: *PLoS One*, 1-9. Online: <https://bit.ly/2TkkWnb>.
- Reuveny, R. (2007). «Climate change-induced migration and violent conflict». En: *Political Geography* 26.6, 656-673. Online: <https://bit.ly/2T5HIQx>.
- Richerson, P. J., R. Boyd y R. L. Bettinger (2001). «Was agriculture impossible during the Pleistocene but mandatory during the Holocene? A climate change hypothesis». En: *American Antiquity* 66.3, 387-411. Online: <https://bit.ly/2T5tSxA>.
- Riedinger, M. A. y col. (2002). «A 6100 14 C yr record of El Niño activity from the Galápagos Islands». En: *Journal of Paleolimnology* 27.1, 1-7. Online: <https://bit.ly/2T4NOko>.
- Rightmire, G. P. (2008). «Homo in the Middle Pleistocene: hypodigms, variation, and species recognition». En: *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews: Issues, News, and Reviews* 17.1, 8-21. Online: <https://bit.ly/2T7li1s>.
- Rodbell, D. T. y col. (1999). «An 15,000-year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador». En: *Science* 283.5401, 516-520. Online: <https://bit.ly/39dCR5O>.
- Rogers, D. J. y S. E. Randolph (2000). «The global spread of malaria in a future, warmer world». En: *Science* 289.5485, 1763-1766. Online: <https://bit.ly/398IFxl>.
- Rojas, J. (2016). «Society, Environment, Vulnerability, and Climate Change in Latin America: Challenges of the Twenty-first Century». En: *Latin American Perspectives* 43.4, 29-42. Online: <https://bit.ly/2I1xvOT>.
- Roque Albelo, L. y C. Causton (1999). «El Niño and introduced insects in the Galapagos Islands: different dispersal strategies, similar effects». En: *Noticias de Galápagos* 60, 30-36. Online: <https://bit.ly/2I5suFc>.
- Rossel, F. y E. Cadier (2009). «El Niño and prediction of anomalous monthly rainfalls in Ecuador». En: *Hydrological Processes: An International Journal* 23.22, 3253-3260. Online: <https://bit.ly/2Tqkhk7>.
- Rubino, M. y col. (2016). «Low atmospheric CO2 levels during the Little Ice Age due to cooling-induced terrestrial uptake». En: *Nature Geoscience* 9.9, 691-694. Online: <https://go.nature.com/2TmQ859>.
- Rueda, D. y col. (2019). «Preventing extinctions: planning and undertaking invasive rodent era-

- dication from Pinzon Island, Galapagos». En: *Island invasives: scaling up to meet the challenge* 62, 51. Online: <https://bit.ly/2VpHQMy>.
- Ruiz, W. y A. Roeger (1994). «The socioeconomic impact of malaria in Colombia and Ecuador». En: *Health Policy and Planning* 9.2, 144-154. Online: <https://bit.ly/3c9Ywxz>.
- Sathre, R. y L. Gustavsson (2011). «Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels». En: *Biomass and Bioenergy* 35.7, 2506-2516. Online: <https://bit.ly/2PyrYUu>.
- Schofield, E. K (1989). «Effects of introduced plants and animals on island vegetation: examples from Galápagos Archipelago». En: *Conservation Biology* 3.3, 227-239. Online: <https://bit.ly/2VAU4lk>.
- Schramski, J. R., D. K. Gattie y J. H. Brown (2015). «Human domination of the biosphere: Rapid discharge of the earth-space battery foretells the future of humankind». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112.31, 9511-9517. Online: <https://bit.ly/2T4QiPK>.
- Séguin, J. y col. (2008). «Human health in a changing climate: a Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity». En: *Human health in a changing climate*, pág. 1.
- Shea, J. J. (2008). «Transitions or turnovers? Climatically-forced extinctions of *Homo sapiens* and Neanderthals in the east Mediterranean Levant». En: *Quaternary Science Reviews* 27.23-24, 2253-2270. Online: <https://bit.ly/2TlbCPL>.
- Sissoko, K. y col. (2011). «Agriculture, livelihoods and climate change in the West African Sahel». En: *Regional Environmental Change* 11.1, 119-125. Online: <https://bit.ly/3chAJfd>.
- Skillington, T. (2018). *Climate change and intergenerational justice*. Routledge.
- Solomon, S. y col. (2009). «Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions». En: *Proceedings of the national academy of sciences* 106.6, 1704-1709. Online: <https://bit.ly/2wNaywq>.
- Stewart-Ibarra, A. M. y R. Lowe (2013). «Climate and non-climate drivers of dengue epidemics in southern coastal Ecuador». En: *The American journal of tropical medicine and hygiene* 88.5, 971-981. Online: <https://bit.ly/2whE651>.
- Stewart-Ibarra, A. M. y col. (2014). «Spatiotemporal clustering, climate periodicity, and social-ecological risk factors for dengue during an outbreak in Machala, Ecuador, in 2010». En: *BMC infectious diseases* 14.1, 610. Online: <https://bit.ly/3ceKPxl>.
- Stott, P. A., D. A. Stone y M. R. Allen (2004). «Human contribution to the European heatwave of 2003». En: *Nature* 432.7017, 610-614. Online: <https://go.nature.com/2wekgYm>.
- Sullivan, C. (2002). «Calculating a water poverty index». En: *World development* 30.7, 1195-1210. Online: <https://n9.cl/te0u>.
- Svarva, H. L. y col. (2018). «Little Ice Age summer temperatures in western Norway from a 700-year tree-ring chronology». En: *The Holocene* 28.10, 1609-1622. Online: <https://n9.cl/mmk4>.
- Telégrafo, El (2016). «Cambio Climático: acercamiento a sus efectos en Ecuador». En: *PUNTO DE VISTA*. 05 October 2016. El Telégrafo.
- Terneus, A. y A. Gioda (2006). «In search of colonial El Niño events and a brief history of meteorology in Ecuador». En: *Advances in Geosciences*. Online: <https://bit.ly/2Vtxjpw>.
- Terrell, J. E. y col. (2003). «Domesticated landscapes: The subsistence ecology of plant and animal domestication». En: *Journal of Archaeological Method and Theory* 10.4, 323-368. Online: <https://bit.ly/2wPCSOM>.
- Thomas, C. D. y col. (1999). «Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming». En: *Nature* 398.6729, pág. 694.
- Timmermann, A. y col. (1999). «Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming». En: *Nature* 398.6729, 694-697. Online: <https://go.nature.com/2PuSeyG>.
- Tol, R. S. y H. Dowlatabadi (2001). «Vector-borne diseases, development & climate change». En: *Integrated Assessment* 2.4, 173-181. Online: <https://bit.ly/3ceQqnl>.
- Torre, L. A. y col. (2015). «Global cancer statistics, 2012». En: *CA: a cancer journal for clinicians* 65.2, 87-108. Online: <https://bit.ly/2VtdlFn>.
- UNDP (2009). *Informe sobre desarrollo humano, 2007-2008: El desafío climático del siglo XXI*. Inf. téc. Santiago: United Nations Development Program.
- Urquía, D. y col. (2019). «*Psidium guajava* in the Galapagos Islands: population genetics and history of an invasive species». En: *PloS one* 14.3, e0203737. Online: <https://bit.ly/2Ta2nmR>.
- Valdivia, C. y col. (2010). «Adapting to climate change in Andean ecosystems: Landscapes, capitals,

- and perceptions shaping rural livelihood strategies and linking knowledge systems». En: *Annals of the Association of American Geographers* 100.4, 818-834. Online: <https://bit.ly/3ait7ax>.
- Van Vuuren, D. P. y col. (2007). «Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs». En: *Climatic change* 81.2, 119-159. Online: <https://bit.ly/2Vvd1WU>.
- Veettil, B. K. y col. (2016). «Influence of ENSO and PDO on mountain glaciers in the outer tropics: case studies in Bolivia». En: *Theoretical and applied climatology* 125.3-4, 757-768. Online: <https://bit.ly/2uC4CFU>.
- Veettil, B. K. y col. (2017). «Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review». En: *Journal of South American Earth Sciences* 77, 218-246. Online: <https://bit.ly/2wgx8x6>.
- Verchot, L. V. y col. (2007). «Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry». En: *Mitigation and adaptation strategies for global change* 12.5, 901-918. Online: <https://bit.ly/2wgxx2A>.
- Walther, G. R. y col. (2002). «Ecological responses to recent climate change». En: *Nature* 416.6879, 389. Online: <https://go.nature.com/381TvUo>.
- Warren, R. y col. (2013). «Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss». En: *Nature Climate Change* 3.7, 678-682. Online: <https://go.nature.com/386VLtB>.
- Wassmann, R. y col. (2009). «Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies». En: *Advances in agronomy* 101, 59-122. Online: <https://bit.ly/3a876uE>.
- Watson, R. T. y col. (1998). *The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability*. Inf. téc. A Special Report of IPCC Working Group II, 517.
- Wikelski, M. y col. (2004). «Galápagos birds and diseases: invasive pathogens as threats for island species». En: *Ecology and Society* 9.1. Online: <https://bit.ly/2veumZu>.
- Wilke, A. B., J. C. Beier y G. Benelli (2019). «Complexity of the relationship between global warming and urbanization—an obscure future for predicting increases in vector-borne infectious diseases». En: *Current opinion in insect science*. Online: <https://bit.ly/32AMetF>.
- Williams, M. y col. (2016). «The Anthropocene: a conspicuous stratigraphical signal of anthropogenic changes in production and consumption across the biosphere». En: *Earth's Future* 4.3, 34-53. Online: <https://bit.ly/2PtYab5>.
- Worm, B. y col. (2006). «Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services». En: *science* 314.5800, 787-790. Online: <https://bit.ly/2T8Y1fD>.
- Wu, K. y col. (2019). «Glacier mass balance over the central Nyainqentanglha Range during recent decades derived from remote-sensing data». En: *Journal of Glaciology* 65.251, 422-439. Online: <https://bit.ly/2veBtkD>.
- Wu, X. y col. (2016). «Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation». En: *Environment international* 86, 14-23. Online: <https://bit.ly/3abzdJx>.
- Yarleque, C. y col. (2018). «Projections of the future disappearance of the Quelccaya Ice Cap in the Central Andes». En: *Scientific reports* 8.1, 1-11. Online: <https://go.nature.com/39at00y>.
- Yates, D. N. (1997). «Climate change impacts on the hydrologic resources of South America: an annual, continental scale assessment». En: *Climate research* 9.1-2, 147-155. Online: <https://bit.ly/2uGSnYO>.
- Zenghelis, D. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Ed. por HM Treasury. London, England.
- Zografos, C., M. C. Goulden y G. Kallis (2014). «Sources of human insecurity in the face of hydro-climatic change». En: *Global environmental change* 29, 327-336. Online: <https://bit.ly/2PxCOVC>.
- Zubieta, R., A. Getirana y W. Espinoza J. C. and Lavado (2015). «Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador». En: *Journal of Hydrology* 528, 599-612. Online: <https://bit.ly/3ai1bDD>.



Encuesta sobre el nivel de percepción e información de académicos / as en el Ecuador sobre el Cambio Climático y Calentamiento Global
 Responsable Prof. Dr. Theofilos Toulkeridis Grupo de Investigación GEO1 del DECTC-ESPE y RED ECUATORIANA DE CAMBIO CLIMÁTICO
MARQUE SOLAMENTE UNA RESPUESTA POR PREGUNTA
EDAD:
CIUDAD:

- 1) Actualmente si tenemos un cambio climático en el mundo
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 2) El cambio climático es generado de las actividades de seres humanos
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 3) El cambio climático es un problema serio
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 4) Los científicos unánimemente son de acuerdo que existe el cambio climático
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 5) Desde que existe la humanidad es la primera vez que ocurre un cambio climático en la Tierra
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 6) Actualmente tenemos un cambio climático en el Ecuador
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 7) El cambio climático trae solo desastres para el Ecuador
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 8) El cambio climático y calentamiento global se nota en el Ecuador mas
 - a) Con la falta de agua potable
 - b) Con sequías mas frecuentes
 - c) Con lluvias escasas pero mas torrenciales
 - d) Con la reducción de los glaciares
 - e) Con el aumento del nivel del mar
 - f) Con el aumento de la temperatura cada año
- 9) El cambio climático y calentamiento global se nota en el Ecuador mas en
 - a) La Amazonía
 - b) La Sierra Montañosa
 - c) El Valle interandino
 - d) La región subandina
 - e) La Costa
 - f) Galápagos
- 10) La causa principal de cambio climático y calentamiento global es / son
 - a) El aumento de dióxido de carbono en la atmósfera
 - b) El aumento de vapor de agua en la atmósfera
 - c) Explosiones Solares
 - d) El aumento de metano en la atmósfera
 - e) Generado de la constelación astronómica
 - f) Generado de la fuerza magnética de la tierra
- 11) El reciclaje de basura ayudaría para el frenar el cambio climático
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 12) Los incendios forestales aceleran el cambio climático en el Ecuador
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 13) El cambio climático está acelerando la destrucción paulatina de la capa de ozono
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo
- 14) Hay cambios a nivel genético en los humanos por el calentamiento global
 - a) absolutamente de acuerdo
 - b) muy probablemente
 - c) puede ser
 - d) muy probablemente no
 - e) totalmente en desacuerdo

Figura 1. A. Encuesta sobre percepción del cambio climático en Ecuador.



ECOFISIOLOGÍA DE LA GERMINACIÓN DE TRES MALEZAS EFÍMERAS PERIURBANAS EN MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

GERMINATION ECOPHYSIOLOGY FOR THREE PERI-URBAN EPHEMERAL WEEDS FROM MORELIA, MICHOACÁN, MEXICO

D. Nayeli Martínez^{1,2}  y Erick de la Barrera*² 

¹ Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 72000, México.

² Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán, 58190, México.

*Autor para correspondencia: delabarrera@unam.mx

Manuscrito recibido el 29 de abril de 2019. Aceptado, tras revisión, el 10 de diciembre de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Se determinaron las características ambientales que conducen a la germinación de tres especies comunes encontradas durante la temporada de lluvias entre junio-octubre de 2009 en un área periurbana de Morelia, Michoacán, México, donde se llevaba a cabo la construcción de un campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En particular, se evaluaron en el laboratorio las respuestas a la estratificación a baja temperatura, la temperatura del aire en el día/noche y el potencial de agua para los nativos *Onagraceae Lopezia racemosa* y *Ludwigia octovalvis*, y las exóticas *Polygonaceae Rumex crispus*. La estratificación a baja temperatura no tuvo ningún efecto sobre la germinación por *L. racemosa*, para lo cual la germinación máxima promedio 88% fue óptima a 25/15 y 30/20 °C. La germinación a 21 d se redujo a la mitad a -0,5 MPa e inhibió por completo a -1,0 MPa. Las semillas de *L. octovalvis* tampoco mostraron sensibilidad a la estratificación a baja temperatura y su germinación nunca superó el 70%, siendo las dos temperaturas más altas de 30/20 y 35/25 °C las óptimas. Para esta especie la germinación fue máxima a 0,0 MPa, disminuyendo significativamente bajo cada tratamiento con una germinación mínima del 21% para las semillas incubadas a -0,1 MPa. La germinación para *R. crispus* se retrasó por la estratificación a baja temperatura, aunque todas sus semillas germinaron independientemente de la temperatura o el tratamiento potencial de agua. Si bien los requisitos ambientales para la germinación de especies efímeras a menudo coinciden con el clima típico de su temporada de crecimiento, las respuestas diferenciales encontradas para las especies consideradas en el presente estudio proporcionan una cierta visión de los mecanismos que conducen a cambios en la composición de las especies para las comunidades de ambientes perturbados, incluyendo el desplazamiento de especies nativas y la proliferación de plantas exóticas y potencialmente invasoras.

Palabras clave: Especies invasoras, ecofisiología reproductiva, estratificación, temperatura, ecología urbana, potencial hídrico.

Abstract

The environmental requirements leading to germination were determined by three common species found during the June-October 2009 rainy season in a peri-urban site from Morelia, Michoacán, Mexico, where the construction of a campus of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) was underway. In particular, we evaluated responses in the laboratory to low-temperature stratification, day/night air temperature, and water potential for the native Onagraceae *Lopezia racemosa* and *Ludwigia octovalvis*, and the exotic Polygonaceae *Rumex crispus*. Low-temperature stratification had no effect on germination by *L. racemosa*, for which maximum germination averaging 88% was optimal at 25/15 and 30/20 °C. Germination at 21 d was halved at -0.5 MPa and completely inhibited at -1.0 MPa. The seeds of *L. octovalvis* were also insensitive to low temperature stratification and their germination never exceeded 70%, with the two highest temperatures of 30/20 and 35/25 °C being the optimum. For this species germination was maximal at 0.0 MPa, decreasing significantly under every treatment with a minimum germination of 21% for seeds incubated at -0.1 MPa. Germination for the exotic *R. crispus* was delayed by low-temperature stratification, although all its seeds germinated regardless of the temperature or water potential treatment. While the environmental requirements for germination of ephemeral species often match the typical climate of their growing season, the differential responses found for the species considered in the present study provide some insight into the mechanisms leading to changes in species composition for communities from disturbed environments, including the displacement of native species and the proliferation of exotic, potentially invasive plants.

Keywords: Invasive species, reproductive ecophysiology, stratification, temperature, urban ecology, water potential.

Forma sugerida de citar: Martínez, D.N. y De la Barrera, E. (2020). Ecofisiología de la germinación de tres malezas efímeras periurbanas en Morelia, Michoacán, México. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 31(1):47-55. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.03>.

IDs Orcid:

D. Nayeli Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-5927-4781>

Erick de la Barrera: <http://orcid.org/0000-0002-0073-3410>

1 Introducción

La composición de las especies de las comunidades vegetales anuales y efímeras puede cambiar sustancialmente de un año a otro (Cousens y Mortimer, 2009; Chaideftou y col., 2012). Las identidades de las especies observadas en una determinada temporada de crecimiento dependen de las especies que están presentes en el banco de semillas o que tienen estructuras de regeneración latentes en el suelo, pero su aparición se modula en gran medida por sus interacciones con el ambiente.

De hecho, la temperatura prevalente y el agua disponible pueden desencadenar la germinación en varios momentos durante la temporada de crecimiento de un año en particular o a lo largo de varios años (De la Barrera, Pimienta-Barríos y Schöndube, 2009), mediado por características estructurales (como una testa gruesa) (Debeaujon, Léon-Kloosterziel y Koornneef, 2000; Dübbern de Souza y Marcos-Filho, 2001; Rowarth, Hampton e Hill, 2007) o rasgos fisiológicos de las semillas (como la necesidad de vernalización en frío) (Larcher, 2001; Fenner y Thompson, 2005) que determinan tanto el momento como la tasa de germinación.

En este sentido, las condiciones ambientales creadas en hábitats resultantes de la tala con fines agrícolas, viales, urbanísticos, etc., pueden restringir la persistencia de especies autóctonas en las comunidades vegetales, el establecimiento de especies, nativas o no, que puedan tolerar e incluso prosperar bajo condiciones adversas (Cousens y Mortimer, 2009; Dekker, 2016). De hecho, la modificación del ambiente por acciones humanas es una amenaza importante para la biodiversidad mundial (Sala y col., 2000; Rockström y col., 2009).

Este es un tema de especial preocupación en México, uno de los doce países de mayor diversidad, y el cual está experimentando una rápida pérdida de cobertura vegetal. De hecho, mientras que en 1976 el 62 % de la superficie del país contaba con cobertura vegetal, en el 2002 apenas el 38 % tenía vegetación (De la Barrera y Andrade, 2005; Challenger y Dirzo, 2009).

Tres especies que se encuentran comúnmente en áreas perturbadas en México son las nativas Onagraceae *Lopezia racemosa* y *Ludwigia octovalvis*,

y la exótica Polygonaceae *Rumex crispus* (Calderón y Rzedowski, 2004; Vibrans y Tenorio-Lezama, 2012). *Lopezia racemosa* en varios tipos de vegetación, incluyendo bosques de coníferas, robles y bosques nublados, además de pastizales y matorrales de espinas.

Ludwigia octovalvis se limita principalmente a sitios con alta humedad del suelo como ecosistemas ribereños y a lo largo de los canales de riego. A su vez, *R. crispus*, que es nativa de Eurasia, se ha convertido en una maleza común en todo el mundo, especialmente en las zonas templadas del hemisferio norte. Estas tres especies fueron elementos abundantes y comunes de la flora efímera de nuestro campus universitario, durante la temporada de crecimiento de verano de 2009 (observaciones inéditas).

Situado en un sitio periurbano, el campus se construyó en 2005 en una antigua plantación de eucaliptos y ha estado en construcción para albergar diversas entidades académicas, lo que hace de su flora efímera un tema interesante de investigación a medida que cambia a lo largo de los años. Con el fin de determinar las condiciones ambientales que conducen a la germinación de semillas por *L. racemosa*, *L. octovalvis*, y *R. crispus*, se seleccionaron tres plantas efímeras de un sitio periurbano con diferentes nichos ecológicos, para llevar a cabo una serie de experimentos de ambiente controlado con el propósito de determinar las relaciones de temperatura y la influencia del potencial hídrico en el tiempo y la tasa de germinación.

2 Materiales y Métodos

Se recolectaron las semillas de *Lopezia racemosa* Cav. (Onagraceae; en adelante denominada *Lopezia*), *Ludwigia octovalvis* (Jacq.) Raven (Onagraceae; *Ludwigia*), y *Rumex crispus* L. (Polygonaceae; *Rumex*) durante la temporada de crecimiento de junio-octubre de 2009 de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus de Morelia (19°38'55.9" N; 101°13'45" O; 1967 m), donde la falta de construcción y jardinería permitió el establecimiento de la vegetación.

Se recolectaron las semillas de al menos 7 individuos por especie agitando el tallo principal de

las plantas. Las semillas liberadas se colocaron en bolsas de tela y se mezclaron en una muestra compuesta, luego se guardaron en bolsas de papel negro y se almacenaron en el Laboratorio de Ecofisiología Agraria, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM (en la oscuridad a 23 °C, 40% de humedad relativa) hasta que se utilizaron en un plazo de 6 meses. Las semillas se enjuagaron con agua corriente durante 48 horas inmediatamente antes del comienzo de cada experimento.

La germinación se estudió en unidades experimentales compuestas por 25 semillas colocadas en cajas petri de plástico (55 mm de diámetro, 15 mm de alto) a los que se colocaron dos capas de papel de filtro estéril como sustrato. Por lo general, se añadieron 5 ml de agua destilada estéril a cada caja petri, con agua adicional que se añadió en el transcurso de los experimentos para mantener el papel del filtro.

Las cajas petri se colocaron en una cámara de germinación I-35LL equipada con tubos de luz fluorescentes (Percival Scientific, Boone, Iowa, EE.UU.) bajo un fotoperiodo de 12 h, generalmente a una temperatura diurna/noche de 20/10 °C. La germinación, que se registró como semillas con protrusión del radio, se evaluó diariamente hasta que no se produjo ninguna germinación adicional.

Las respuestas de germinación de la estratificación a baja temperatura se evaluaron colocando una muestra de semillas a 8 °C durante 3 meses y su germinación se comparó con la de un control de las semillas no tratadas. El efecto de la temperatura del aire en la germinación se evaluó para las semillas incubadas bajo temperaturas de aire diurna/noche de 20/10, 25/15, 30/20 o 35/25 °C. A su vez, se evaluó el efecto del potencial hídrico en la germinación para semillas incubadas en potenciales hídricos de 0,00, -0,01, -0,05 y -0,1 MPa que se crearon con soluciones acuosas de polietilenglicol (PEG; peso molecular de 20.000) de diversas concentraciones que se determinaron siguiendo lo expresado por Michel y Radcliffe, 1985.

Se utilizaron doce réplicas de 25 semillas cada una para cada medición. Los análisis estadísticos para la aparición de la germinación, es decir, el primer día significativamente superior al 0%, consistieron en una prueba de Mann-Whitney U (alfa

0,05) para la estratificación y una prueba Kruskal-Wallis (alfa 0,05) para la temperatura y el potencial de agua, los cuales se realizaron con Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Además, el proceso de germinación se analizó con una prueba de Friedman, seguida de pruebas *post hoc* de Tukey (alfa 0,05) realizadas con SigmaStat 3.5 (Systat Software, Richmond, California, EE. UU.).

3 Resultados

3.1 *Lopezia racemosa*

La estratificación a baja temperatura no tuvo ningún efecto sobre la germinación de *Lopezia* (Tabla 1; Fig. 1A). Tanto para el control como para las semillas tratadas, el inicio de la germinación promedió de 6,2 a 0,7 días después del inicio del experimento. A su vez, la germinación máxima de esta especie promedió 78,7 ± 1,6% después de 21 días del inicio del experimento.

El régimen de temperatura, a su vez, tuvo un efecto significativo en la germinación de *Lopezia* (Tabla 1; Fig. 1D). Por ejemplo, el inicio de la germinación se produjo después de un día de haber iniciado el experimento para las semillas incubadas por debajo de 25/15 °C, después de dos días para la temperatura de 30/20 y 35/25 °C, y seis días para desencadenar la germinación de las semillas de *L. racemosa* incubadas por debajo de 20/10 °C. La germinación final promedió 87,7 ± 2,7% para las semillas incubadas por debajo de 25/15 y 30/20 °C y fue 79,0 ± 2,0 y 76,0 ± 1,3% menos para las que fueron incubadas bajo los tratamientos extremos de 20/10 y 35/25 °C, respectivamente.

La germinación de *Lopezia* respondió al potencial hídrico (Tabla 1; Fig. 1G). El inicio de la germinación se produjo 2 días después de haber iniciado el experimento para semillas incubadas bajo 0,0 MPa, al día siguiente para las de 0,01 MPa, y en el día seis para los de -0,05 MPa, mientras que las semillas incubadas por debajo de -0,10 MPa no pudieron germinar. La germinación final fue 91,33 ± 1,69% observada después del 21 d de iniciado el experimento fue la mayor para las semillas incubadas por debajo de 0,00 MPa, disminuyendo bajo potenciales hídricos cada vez más negativos hasta obtener un mínimo de 41,67 ± 1,94% para las semillas incubadas a -0,05 MPa.

Tabla 1. Parámetros de germinación para las malezas efímeras *Lopezia racemosa*, *Ludwigia octovalvis* y *Rumex crispus*. El inicio de la germinación (primer día estadísticamente diferente a cero) se evaluó con pruebas de Mann-Whitney U (alfa = 0,05), y los experimentos de la temperatura y potencial de agua con las pruebas de estratificación y Kruskal-Wallis (alfa = 0,05). A su vez, la germinación final se evaluó con pruebas de Tukey después de una prueba de medidas repetidas de Friedman. Los datos se muestran como medias \pm S.E. (n =12 platos de petri con 25 semillas cada uno).

	Germinación de la semilla			
	Inicio (días luego de haber iniciado el experimento)		Máximo porcentaje de germinación	
<i>Lopezia racemosa</i>				
Control de la estratificación	6,5 \pm 0,31	a	79,0 \pm 1,98	a
	6,0 \pm 0,0	a	77,3 \pm 2,62	a
20/10°C	6,5 \pm 0,31	a	79,0 \pm 1,98	a
25/15°C	1,0 \pm 0,0	b	85,3 \pm 2,48	b
30/20°C	2,3 \pm 0,14	c	90,0 \pm 3,53	b
35/25°C	2,0 \pm 0,0	c	76,0 \pm 1,3	c
-0,00 MPa	2,3 \pm 0,14	a	91,3 \pm 1,69	a
-0,01 MPa	3,0 \pm 0,0	a	88,0 \pm 1,78	b
-0,05 MPa	6,1 \pm 0,47	b	41,7 \pm 1,94	c
-0,10 MPa	11,0 \pm 0,58	b	1,0 \pm 0,52	d
<i>Ludwigia octovalvis</i>				
Control de la estratificación	11,1 \pm 0,74	a	40,3 \pm 3,46	a
	8,8 \pm 0,65	b	41,3 \pm 3,28	b
20/10°C	11,1 \pm 0,74	a	40,3 \pm 3,46	a
25/15°C	4,6 \pm 0,15	ab	43,7 \pm 2,85	b
30/20°C	3,8 \pm 0,11	bc	61,7 \pm 4,52	c
35/25°C	2,0 \pm 0,0	c	68,0 \pm 2,99	d
-0,00 MPa	3,2 \pm 0,24	a	76,0 \pm 3,38	a
-0,01 MPa	3,8 \pm 0,17	ab	64,0 \pm 1,97	b
-0,05 MPa	5,2 \pm 0,24	bc	47,3 \pm 2,73	c
-0,10 MPa	7,2 \pm 0,41	c	20,7 \pm 1,08	d
<i>Rumex crispus</i>				
Control de la estratificación	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	a
	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	b
20/10°C	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	a
25/15°C	1,0 \pm 0,0	a	100,0 \pm 0,0	b
30/20°C	1,8 \pm 0,37	a	99,3 \pm 0,45	a
35/25°C	1,1 \pm 0,08	a	99,7 \pm 0,33	b
-0,00 MPa	2,2 \pm 0,17	a	100,0 \pm 0,0	a
-0,01 MPa	2,4 \pm 0,15	a	100,0 \pm 0,0	ab
-0,05 MPa	2,8 \pm 0,11	ab	99,7 \pm 0,33	b
-0,10 MPa	3,2 \pm 0,11	b	100,0 \pm 0,0	c

3.2 *Ludwigia octovalvis*

La estratificación a baja temperatura favoreció la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1B). De hecho, el inicio de la germinación se observó 11,1 \pm 0,7 días después del inicio del experimento para el control, mientras que las semillas tratadas germinaron 2,3 días antes. Además,

mientras que la germinación final después de 21 días de incubación fue similar para ambos grupos de semillas, ésta ocurrió a un ritmo más rápido para las semillas estratificadas.

El régimen de temperatura tuvo un efecto significativo en la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1E).

En particular, el inicio de la germinación aumentó con la temperatura del aire y osciló entre 2,0 días después de iniciado el experimento para las semillas incubadas a 35/25 °C, y 9 días más tarde para las semillas bajo el régimen de temperatura más baja de 20/10 °C. La germinación final a los 21 días después de iniciado el experimento también fue mayor y se produjo a un ritmo más rápido con el aumento de la temperatura; por ejemplo, el 68,0 ± 3,0% de las semillas germinadas cuando se incuban por debajo de 35/25 °C, mientras que apenas un 40,3 ± 3,5% germinó por debajo de 20/10 °C.

El potencial hídrico afectó significativamente la germinación de *Ludwigia* (Tabla 1; Fig. 1H). La aparición de la germinación, que se produjo a los 3,5 ± 1,6 en las semillas expuestas a 0,0 o -0,01 MPa, se retrasó hasta 4 días con menor potencial de agua. A su vez, la germinación final a los 21 días posteriores de haber iniciado el experimento también fue más alta y más rápida con menores potenciales de agua, oscilando entre el 76,0 ± 3,4% para las semillas incubadas a 0,0 MPa y 20,7 ± 1,1% para aquellas incubadas a -0,1 MPa.

3.3 *Rumex crispus*

La estratificación a baja temperatura retardó la germinación en *Rumex* (Tabla 1; Fig. 1C). El inicio de la germinación se produjo el primer día de haber iniciado el experimento, independientemente de si las semillas habían estado expuestas o no a una temperatura del aire de 8 °C durante tres meses. La germinación máxima después de 21 días de incubación tampoco se vio afectada, alcanzando el 100,0 ± 0,0%. Sin embargo, la germinación máxima se alcanzó más rápido en semillas no tratadas.

La temperatura de incubación no afectó el inicio de la germinación de *Rumex*, que se produjo entre 1,2 ± 0,1 días después de iniciado el experimento, independientemente del tratamiento; o la germinación final a los 21 días de la incubación, alcanzando el 99,7 ± 0,2% (Tabla 1; Fig. 1F). Sin embargo, las temperaturas más altas llevaron a una tasa de germinación más rápida, ya que las semillas incubadas a 25/15 y 35/25 °C alcanzaron la máxima de germinación antes que las expuestas a 20/10 °C.

El inicio de la germinación de *Rumex* fue a los 2,5 ± 0,1 días de haber iniciado el experimento, y sólo se retrasó significativamente para las semillas incubadas bajo un potencial hídrico de -0,1 MPa, demorando hasta un día más (Tabla 1; Fig. 1I). La germinación final de 99,9 ± 0,1

% después de 21 días de incubación tampoco se vio afectada por los potenciales hídricos evaluados, pero la tasa fue más lenta bajo los potenciales de hídricos más negativos. Por ejemplo, se necesitaron entre 3 y 5 días para alcanzar la germinación final de semillas expuestas a 0,0 o -0,01 MPa y hasta 12 días para las incubadas por debajo de -0,10 MPa.

4 Discusión

La identidad de las especies que cohabitan en una comunidad sometida a perturbaciones depende de las especies que se encontraban originalmente presentes en el banco de semillas y cómo responden a las nuevas condiciones ambientales. De hecho, es probable que la germinación de especies con preferencia a los sitios abiertos por la perturbación (Grime, 2006; Del-Val y col., 2015; Gorgone-Barbosa y col., 2016). En el presente estudio, tanto la maleza exótica *Rumex* como la nativa *Lopezia* germinaron bajo todas las condiciones experimentales, aunque su germinación se retrasó o disminuyó bajo los tratamientos más extremos. Por el contrario, la germinación de *Ludwigia*, especialista en ambientes de alta humedad, sólo superó el 50% bajo los tratamientos más benignos. Las distintas respuestas observadas en especies que habitan el mismo lugar, permiten identificar posibles tendencias en la composición de comunidades vegetales expuestas a la perturbación.

Las especies de regiones con marcada estacionalidad, es decir, con estaciones secas y húmedas o con períodos prolongados de sub-congelación, a menudo muestran una latencia embrionaria que puede retrasar el inicio de la germinación hasta la siguiente temporada, favorable al establecimiento de plántulas (Donohue y col., 2010). Para estas plantas, la germinación normalmente se mejora al exponer las semillas a bajas temperaturas durante varias semanas, evitando la germinación durante el invierno cuando las bajas temperaturas pueden ser letales para las plántulas, incluso si se produce alguna precipitación.

Este parece ser el caso de *Ludwigia* cuyas semillas estratificadas germinaron 2 días más rápido que las semillas no tratadas, de acuerdo con estudios previos con *L. alternifolia* y *L. decurrens* (Baskin y Baskin, 1988). Sin embargo, este no fue el caso de *Lopezia* ni de *Rumex*, lo que sugiere que carecen de latencia primaria o que se había superado durante el almacenamiento (Totterdell y Roberts, 1979; Chi, 2006; Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

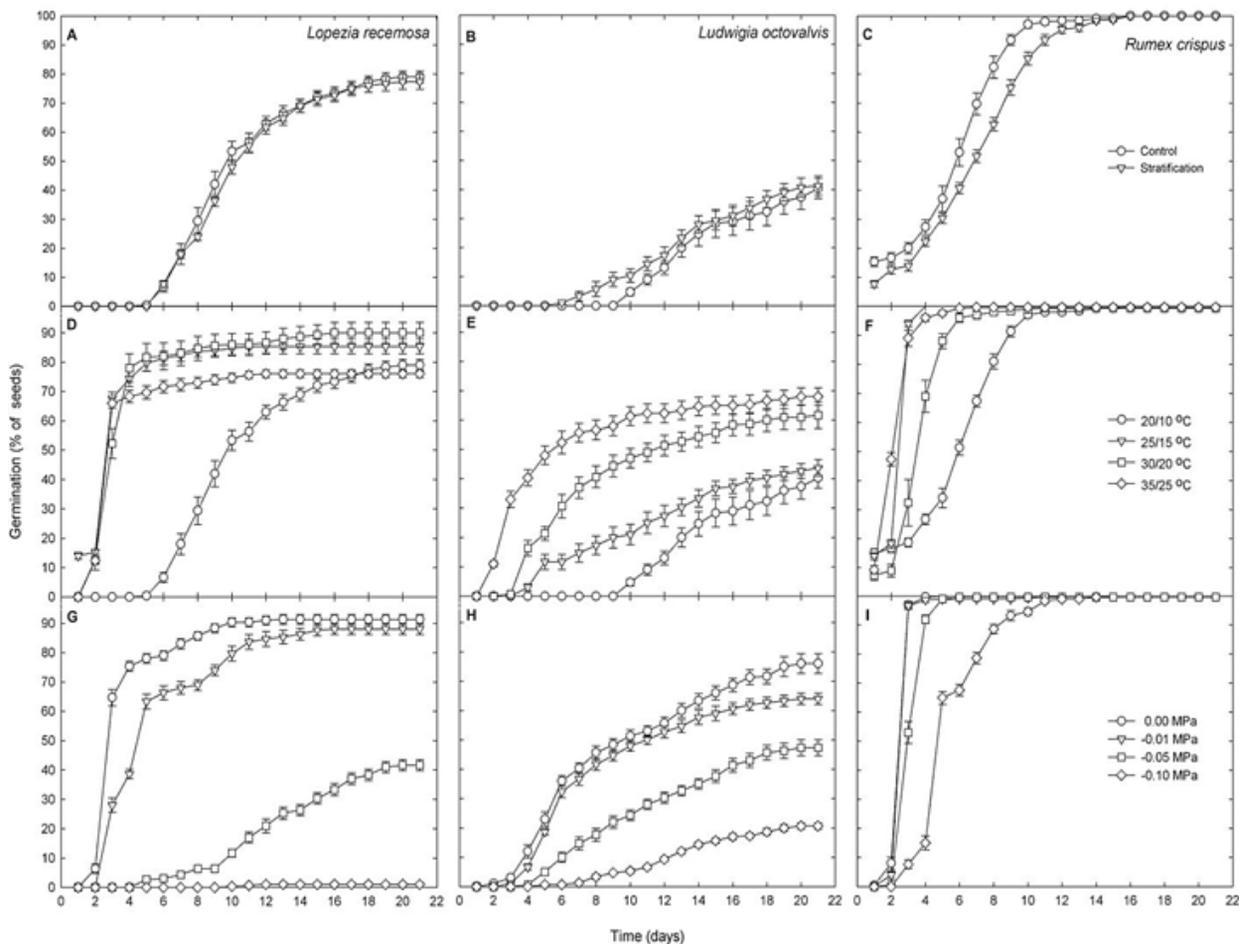


Figura 1. Germinación para las malezas efímeras *Lopezia racemosa* (A, D, G), *Ludwigia octovalvis* (B, E, H) y *Rumex crispus* (C, F, I), en respuesta a la estratificación a baja temperatura (A-C), la temperatura del aire día/noche (D-F) y el potencial del agua (G-I). Los datos se muestran como medias \pm SE (n = 12 platos de petri con 25 semillas cada uno).

Las temperaturas más altas aceleraron y aumentaron la germinación final de las especies consideradas en el presente trabajo. Sin embargo, la temperatura más alta condujo a la germinación más baja en *Lopezia*. Se observó una respuesta similar en las semillas de *Ludwigia* que fueron las más sensibles, cuya germinación mejoró con la temperatura hasta que alcanzó un óptimo seguido de una inhibición de la germinación. A su vez, la exótica *Rumex* alcanzó la máxima germinación independientemente de la temperatura de incubación, confirmando que muchas malezas son capaces de tolerar e incluso prosperar bajo altas temperaturas, un rasgo ventajoso para la supervivencia condiciones ambientales extremas del suelo desnudo (Dahlquist, Prather y Stapleton, 2007; Baskin y Baskin, 2014).

La germinación tendió a disminuir a medida que los potenciales hídricos de incubación se volvían más negativos, especialmente por debajo de $-0,05$ MPa, lo que es similar a las respuestas de otras especies como *Campsis radicans* (Chachalis y Reddy, 2000). Por el contrario, la germinación de *Rumex* fue máxima, independientemente del potencial hídrico, en comparación con el comportamiento de germinación de *R. acetosella*, que alcanzó el 90% de germinación por debajo de $-0,1$ MPa (Fani y col., 2013). Teniendo en cuenta que se requieren grandes cantidades de agua para mantener el alargamiento celular de las plantas después de la germinación, especialmente para las especies que escapan o evitan la sequía completando su ciclo de vida durante la temporada de lluvias, podría resultar ventajoso restringir la germinación a tiempos en que un potencial de agua adecuadamente alto indique que la

temporada de lluvias está en marcha o que al menos se almacena suficiente agua en el suelo, lo cual permitirá el desarrollo de la plántula (De la Barrera, Pimienta-Barrios y Schondube, 2009). Sin embargo, los potenciales hídricos evaluados en este estudio corresponden a una cantidad aproximada de 7 días después de suspender el riego en un suelo arenoso-limoso, muy por encima del punto de marchitamiento permanente de $-1,5$ MPa, lo que resalta la sensibilidad de la germinación (Young y Nobel, 1986; Nobel, 2009).

5 Conclusiones

Los requerimientos ambientales para la germinación de especies efímeras a menudo con aquellos del clima típico de su temporada de crecimiento (De la Barrera y Nobel, 2003; Donohue y col., 2010; Baskin y Baskin, 2014). Sin embargo, las diferencias interespecíficas, por pequeñas que sean, pueden determinar las identidades de las plantas que crecen en una comunidad durante un año determinado, contribuyendo a la alta variación interanual de las especies observadas en las floras efímeras y anuales (Cousens y Mortimer, 2009; Chaideftou y col., 2012; Dekker, 2016; Gorgone-Barbosa y col., 2016). Las respuestas diferenciales encontradas en el presente estudio ilustran estas diferencias interespecíficas y proporcionan información sobre los mecanismos que permiten a las especies exóticas convertirse en dominantes o para que las especies nativas sean desplazadas. La aparición de nuevos ambientes resultantes de las intervenciones humanas supone un riesgo para la prevalencia de floras autóctonas. Se requieren más estudios que consideren subconjuntos comunitarios más grandes o incluso comunidades enteras, incluyendo observaciones a largo plazo, destinadas a caracterizar la velocidad a la que las floras nativas pueden estar cambiando en respuesta a los cambios ambientales antrópicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del IIES, Jardín Botánico de la UNAM, especialmente a Nidia Pérez-Nasser, por su apoyo técnico y por el acceso a las cámaras ambientales, así como a las conversaciones con los doctores M. Camacho y E.A. Díaz. Esta obra fue financiada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT IN221407 e IN211519), y por la beca de investigación de pregrado otorgada a DNM.

Referencias

- Baskin, C. C. y J. M. Baskin (1988). «Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region». En: *American Journal of Botany* 75.2, 286-305. Online: <https://bit.ly/2tHFEnA>.
- (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. 2.ª ed. Elsevier. Online: <https://bit.ly/2QWLM3A>.
- Calderón, R. G. y J. Rzedowski (2004). *Manual de Malezas de la Región de Salvatierra, Guanajuato*. Mexico: Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XX. Instituto de Ecología, A.C., Online: <https://bit.ly/2sNls3T>.
- Chachalis, D. y K. N. Reddy (2000). «Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence». En: *Weed Science* 48, 212-216. Online: <https://bit.ly/37RIMvV>.
- Chaideftou, E. y col. (2012). «How does plant species composition change from year to year? A case study from the herbaceous layer of a submediterranean oak woodland». En: *Community Ecology* 13, 88-96. Online: <https://bit.ly/2N4PR4j>.
- Challenger, A. y R. Dirzo (2009). «Factores de cambio y estado de la biodiversidad». En: *Capital Natural de México. Estado de Conservación y Tendencias de Cambio 2*. Ed. por J. Sarukhán, 37-73. Online: <https://bit.ly/35AgQLJ>.
- Chi, B. J. (2006). «Efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas de *Lopezia racemosa* Cav. B.S». Mexico: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cousens, R. y M. Mortimer (2009). *Dynamics of weed populations*. 1.ª ed. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Dahlquist, R. M., T. S. Prather y J. J. Stapleton (2007). «Time and temperature requirements for weed seed thermal death». En: *Weed Science* 55, 619-625. Online: <https://bit.ly/2QUn6sm>.
- De la Barrera, E. y J. L. Andrade (2005). «Challenges to plant megadiversity: How environmental physiology can help». En: *New Phytologist* 167, 5-8. Online: <https://bit.ly/2N4TgQD>.
- De la Barrera, E. y P. S. Nobel (2003). «Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*». En: *Journal of Arid Environments* 53.3, 297-306. Online: <https://bit.ly/303kPz7>.
- De la Barrera, E., E. Pimienta-Barrios y J. E. Schondube (2009). «Reproductive ecophysiology». En: *Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology: A Tribute to Park S. Nobel*, págs. 301-335.
- Debeaujon, I., K. M. Léon-Kloosterziel y M. Koornneef (2000). «Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*». En: *Plant Physiology* 122, 403-414. Online: <https://bit.ly/2QXoTNt>.

- Dekker, J. (2016). *Evolutionary Ecology of Weeds*. 2.^a ed. USA: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Del-Val, E. y col. (2015). «Identifying areas of high invasion risk: a general model and an application to Mexico». En: *Revista mexicana de biodiversidad* 86, 208-216. Online: <https://bit.ly/36Hyq1S>.
- Donohue, K. y col. (2010). «Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges». En: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41, 293-319. Online: <https://bit.ly/2N8XQh0>.
- Dübbern de Souza, F. H. y J. Marcos-Filho (2001). «The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae». En: *Brazilian Journal of Botany* 24.4, 365-375. Online: <https://bit.ly/35C3q1R>.
- Fani, F. Y. S. y col. (2013). «Factors affecting seed germination and seedling emergence of sheep sorrel (*Rumex acetosella*)». En: *Romanian agricultural research* 30, 373-380. Online: <https://bit.ly/2tGdPMJ>.
- Fenner, M. y K. Thompson (2005). *The Ecology of Seeds*. U.K.: Cambridge University Press.
- Finch-Savage, W. y G. Leubner-Metzger (2006). «Seed dormancy and the control of germination». En: *New Phytologist* 171, 501-523. Online: <https://bit.ly/2N5ZY92>.
- Gorgone-Barbosa, E. y col. (2016). «Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna». En: *Acta Botanica Brasílica* 30, 131-137. Online: <https://bit.ly/2N5V1gy>.
- Grime, J. P. (2006). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2.^a ed. U.S.A.: Wiley.
- Larcher, W. (2001). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4.^a ed. U.S.A.: Springer.
- Michel, B. E. y D. Radcliffe (1985). «A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes». En: *Agronomy Journal* 87, págs. 126-130.
- Nobel, P. S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. 4.^a ed. U.S.A.: Academic Press.
- Rockström, J. y col. (2009). «A safe operating space for humanity». En: *Nature* 461, 472-475. Online: <https://bit.ly/2N8VDlx>.
- Rowarth, J. S., J. G. Hampton y M. J. Hill (2007). «New Zealand native seed germination requirements: A review». En: *New Zealand Journal of Botany* 45, 485-501. Online: <https://bit.ly/35G8NgB>.
- Sala, O. E. y col. (2000). «Global biodiversity scenarios for the year 2100». En: *Science* 287, 1770-1774. Online: <https://bit.ly/2QydZi1>.
- Totterdell, S. y E. H. Roberts (1979). «Effects of low temperatures on the loss of innate dormancy and the development of induced dormancy in seeds of *Rumex obtusifolius* L. and *Rumex crispus* L». En: *Plant Cell and Environment* 2, 131-137. Online: <https://bit.ly/35z1oQ6>.
- Vibrans, H. y P. Tenorio-Lezama (2012). *Malezas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. URL: <https://bit.ly/2T4RWRL>.
- Young, D. R. y P. S. Nobel (1986). «Predictions of soil-water potentials in the North-Western Sonoran Desert». En: *Journal of Ecology* 74, págs. 143-154.



VERIFICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRA DE CACAO (*Theobroma cacao*)

VERIFICATION OF THE ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY WITH GRAPHITE FURNACE ANALYTICAL METHOD FOR QUANTIFICATION OF CADMIUM IN COCOA ALMONDS (*Theobroma cacao*)

Salomé Araujo-Abad*¹ , Wilson Tapia² y Adrián Villamarín-Ortiz³

¹ Centro de Biotecnología. Universidad Nacional de Loja, 110111, Loja, Ecuador.

² Departamento de Química. Universidad de las Américas, 170503, Quito, Ecuador.

³ Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica Particular de Loja, 1101608, Loja, Ecuador.

*Autor para correspondencia: lourdes.araujo@unl.edu.ec

Manuscrito recibido el 19 de agosto de 2019. Aceptado, tras revisión, el 16 de enero de 2020. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

El método de espectroscopía de absorción atómica (AA) de llama para la determinación de cadmio (Cd) en almendra de cacao (*Theobroma cacao*) utilizado por Agrocalidad es tóxico para el ser humano y el ambiente; por ello, se pretende utilizar el método de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS) por ser más confiable y seguro. Así, se realizó la verificación de cuatro parámetros de desempeño del método GFAAS para cuantificar Cd en almendra de cacao utilizando material de referencia certificado (MRC) y muestras provenientes de cuatro fincas (A, B, C, D) ubicadas en la zona cacaotera de Ecuador, cantón Flavio Alfaro, provincia de Manabí. Se realizó una prueba inter-laboratorios y finalmente se elaboró el protocolo (PEE/B/14). Sobre el MRC (Cód. 07206B y 07167A) se verificó: linealidad, precisión, veracidad e incertidumbre de acuerdo con la *Guía Eurachem* de Eurolab España y Morillas (2016), y con el estándar IRAM 35050 (2001) se encontró linealidad entre 0 y 8 ppb con $R^2 = 0,9988$; desviación estándar de 0,0005 y 0,0022 respectivamente; sesgo en 0,007 y porcentaje de recuperación de 109,75; la incertidumbre estándar de 0,00013 y 0,00082. El contenido de Cd en las muestras de la finca A con 0,54 ppm, las Fincas B-D con 0,26 ppm y 0,15 ppm en la finca C. En la prueba inter-laboratorios se estableció la misma concentración de cadmio para la muestra C3 y, de acuerdo con lo estipulado por la Unión Europea, el cacao de las cuatro fincas podría ser exportado sin restricciones.

Palabras clave: Cadmio, cacao, verificación, análisis, método

Abstract

The flame atomic absorption (AA) spectroscopy method for the determination of cadmium (Cd) in cocoa almond (*Theobroma cacao*) used by Agrocalidad is toxic to humans and the environment, reason for which the atomic absorption spectroscopy method with graphite furnace (GFAAS) was used, because it is more reliable and safer. Thus, four performance parameters of GFAAS method were used to quantify Cd in cocoa almond, by using certified reference material (MRC) and samples from four farms (A, B, C, D) located in the most important cocoa area of Ecuador, Flavio Alfaro city, province of Manabi. An interlaboratory test was performed and finally a protocol (PEE/B/14) was developed. Using the MRC (Code 07806B and 07167) was verified: linearity, precision, veracity and uncertainty in accordance with international standards, *Eurachem Guide* of Eurolab Spain and Morillas (2016), and with the standard IRAM 35050 (2001) were found linearity between 0 and 8 ppb with $R^2 = 0,9988$; standard deviation 0.0005 and 0.0022, respectively; slant was 0.007 and the recovery percentage was 109.75; standard uncertainty was 0.00013 and 0.00082. The content of Cd in samples from farm A was 0.54 ppm, B and D farms 0.26 ppm and 0.15 ppm in farm C. In the interlaboratory test, the same concentration of Cd was established for simple C3 and, in accordance with the stipulated by the European Union, cocoa from the four farms could be exported without restrictions.

Keywords: Cadmium, cocoa, verification, analysis, method.

Forma sugerida de citar: Araujo-Abad, L.S., Tapia, W. y Villamarín-Ortiz, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*). La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):56-70. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.04>.

IDs Orcid:

Lourdes Salomé Araujo Abad: <https://orcid.org/0000-0001-7387-0363>

Wilson Fabián Tapia Hernández: <https://orcid.org/0000-0002-7010-6324>

Marcos Adrián Villamarín Ortiz: <https://orcid.org/0000-0003-2768-9162>

1 Introducción

Los granos de cacao son las semillas del árbol de *Theobroma cacao* (nativo de la Región amazónica de América del Sur), que se consumen ampliamente en todo el mundo (Almeida y Valle, 2007). Es un cultivo neotropical, perenne importante que crece a 20° norte y 20° sur de la línea ecuatorial aproximadamente (Shavez Beg y col., 2017). Se cultiva a una altura de menos de 400 msnm; el rango óptimo de temperaturas oscila entre 22^{circ}C y 30° C, dependiendo de la variedad (Damatta y col., 2018), y la lluvia debe ser de al menos 1500 a 2500 mm de agua al año.

Las almendras son de color marrón y están cubiertas en el exterior por un mucílago blanco y dulce que es comestible (Waizel-Haiat y col., 2012), que se procesan para obtener licor de chocolate, cacao en polvo y manteca de cacao que son los principales ingredientes del chocolate y una amplia gama de productos como bebidas de cacao, helados, productos de panadería que otorgan un sabor característico y distintivo a sus productos derivados (Dasgupta y Klein, 2014). Los granos de cacao son la materia prima para la industria multimillonaria que produce chocolate y productos de confitería. La importancia económica de la industria del chocolate en el mercado mundial se ha revisado recientemente (Squicciarini y Swinnen, 2016) subiendo un 13 % desde 2010 hasta alcanzar los USD \$ 101 mil millones en 2015, con Suiza como el país con el índice de consumo más alto (Wickramasuriya y Dunwell, 2018).

Ecuador, por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia de cacao fino de aroma (63 % de la producción mundial) proveniente de la variedad nacional, cuyo sabor ha sido reconocido durante siglos en el mercado internacional. Este tipo de grano es utilizado en todos los chocolates refinados. Del total de la exportación ecuatoriana se estima que, un 75 % es cacao fino de aroma, mientras que el restante 25 % pertenece a otras variedades como el CCN51. Ecuador se posiciona como el país más competitivo de América Latina en este campo, seguido por Venezuela, Panamá y México, que son países que poco a poco han incrementado su participación en el mercado mundial (Anecacao, 2019).

Varios atributos de la calidad del grano, tanto físicos como químicos, son requeridos por los fabricantes, compradores de cacao y organismos de control para alentar a la comunidad del cacao hacia una producción de mejor calidad (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015). Estas características de calidad incluyen el sabor, pureza y salubridad (p. ej., libre de bacterias, infestación, alérgenos, micotoxinas, metales pesados y residuos de plaguicidas), características físicas (p. ej., consistencia, rendimiento de material comestible del grano, tamaño y uniformidad, contenido de cáscara, contenido de grasa y contenido de humedad) y las características de la manteca de cacao (p. ej., libre de ácidos grasos) (Dasgupta y Klein, 2014). Algunos de los atributos de la calidad de grano como el contenido total de grasa, acidez, fenoles totales, ácidos orgánicos, metales pesados, aminoácidos, cafeína, teobromina, pH, azúcares, contenido de macro y micronutrientes, han sido considerados en la propuesta de índice de calidad del cacao (CQI) para algunos tipos de grano (Araujo y col., 2014).

Los metales pesados se definen como elementos con una densidad superior a 5 g/cm³ (Navarro-Aviñó, Aguilar Alonso y López-Moya, 2007). El cobre, hierro, magnesio y cinc en bajas concentraciones son esenciales para los procesos bioquímicos y fisiológicos en las plantas, mientras que arsénico, cadmio y plomo no tienen un papel conocido en ellas (Ali, Khan y Anwar Sajad, 2013). La acumulación de metales pesados en las plantas se ve afectada por varios factores como el pH, el contenido de materia orgánica y la textura del suelo, el genotipo de la planta y el contenido de metales pesados en el medio de crecimiento. América Latina posee los niveles más altos de metales pesados en los granos de cacao, especialmente de cadmio y plomo (Bertoldi y col., 2016), en comparación con otros productores en el mundo. La presencia de metales pesados en los granos de cacao representa una amenaza para los productores de cacao, ya que un alto contenido de metales pesados podría afectar la exportación de los granos.

Al chocolate se le ha atribuido el logro de una salud y desarrollo de seres humanos óptimos, debido a su alto contenido de flavonoides que son cruciales para reducir el riesgo o a su vez retrasar el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, cáncer y otras relacionadas con la edad (Cooper y col.,

2007).

En 2014, la Unión Europea anunció, mediante el Reglamento (UE) No 488/2014, planes para complementar regulaciones acerca de los productos de chocolate y cacao que contienen niveles excesivos de cadmio (Cd), que entraron en vigor el 1 de enero de 2019 (Comission Regulation EU, 2014). El incumplimiento de las regulaciones tendría importantes consecuencias económicas y sociales para los países productores de cacao, como el Ecuador, a partir de la fecha de entrada en vigor de dicho reglamento. El Cd ha recibido atención en la última década debido a su importancia en la calidad/seguridad de los alimentos, y en la salud humana, ya que el consumo de alimentos con alto contenido de este metal pesado podría conducir a disfunción tubular renal, formación de cálculos renales, alteración del metabolismo del calcio y defectos esqueléticos, endocrinos, reproductivos y respiratorios (Järup y Akesson, 2009).

Las técnicas analíticas para la determinación de Cd se basan en el uso de reactivos que actúan sobre la digestión del grano y que son altamente peligrosas. Uno de los reactivos de uso frecuente es el *Agua Regia* (HCl:HNO₃), que se somete a calor dando como resultado vapores irritantes y corrosivos; el protocolo utilizado corresponde a una adaptación del método oficial AOAC: 999.11 (AOAC, 2005).

Por ser un método analítico más eficaz y menos tóxico para el ser humano y el ambiente, en el presente trabajo se verificó el desempeño del método de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS) en la determinación de Cd en almendra de cacao (*Theobroma cacao*), mediante la determinación de linealidad, precisión y veracidad (Eurolab España y col., 2016) e incertidumbre (IRAM 35050, 2001) sobre material de referencia certificado, y se validó el protocolo analítico para la determinación de la concentración de Cd en muestras de almendra de cacao; adicionalmente, se realizó una prueba de comparación inter laboratorios.

2 Materiales y Métodos

Primera fase: se realizó la verificación del método analítico evaluando los parámetros de linealidad, precisión, veracidad e incertidumbre, a partir de

material certificado MRC 07206B y 07167A.

Segunda fase: se recolectaron las muestras de cacao (mazorcas) por personal designado de AGROCALIDAD, en cuatro fincas de la zona cacaotera del país: Flavio Alfaro–Manabí, Ecuador, denominadas como A, B, C, D. Posteriormente, en los laboratorios de Bromatología y Microbiología de AGROCALIDAD se analizaron las muestras correspondientes para determinar su contenido en Cd, previa verificación de estado de calibración de los instrumentos y materiales volumétricos a utilizar.

Tercera fase: se elaboró el protocolo PEE/B/14 para la determinación de Cd en la almendra de cacao por GFAAS, que contiene el proceso de preparación de las muestras (mazorca de cacao) desde su recepción, secado, homogenización, digestión por microondas y posterior lectura en el espectrómetro con horno de grafito.

2.1 Verificación del método analítico

Para la verificación del método analítico se tomó como referencia a la Guía Eurachem de Eurolab España y col., (2016), y al estándar IRAM 35050, (2001), siguiendo el protocolo PEE/B/14.

2.1.1 Linealidad

Se elaboró una curva con 10 concentraciones a partir del estándar de Cd de 20 ppb. Las concentraciones utilizadas fueron de 0 a 18 ppb. En la curva se expresó en el eje de las “x” la concentración teórica en $\mu\text{g/L}$ y en el eje de las “y” la concentración calculada en $\mu\text{g/L}$. A partir de la curva resultante se escogió el rango lineal y se elaboró una nueva curva. En este intervalo lineal se midió por triplicado un blanco, seis diluciones diferentes del estándar de 20 ppb y finalmente los MRC 07206B y 07167A.

2.1.2 Precisión

Se realizaron quince lecturas de cada MRC 07206B y 07167A y se calculó la desviación estándar (s) de cada material, usando la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Desviación estándar (s)

Donde:

n = número de mediciones totales del material de referencia.

\bar{x} = promedio de las lecturas.

x = cada medición realizada.

2.1.3 Veracidad

Se realizaron diez lecturas para MRC 07206B, diez lecturas para tres blancos digestados y diez lecturas para tres blancos adicionados con 2, 3 y 4 ppb de Cd. Además; también se realizaron diez lecturas sobre tres muestras analizadas, en primera instancia, por el método que normalmente usaba el laboratorio, en el que se emplea una digestión ácida con *Agua Regia* (HCl : HNO₃), seguida de una lectura mediante espectroscopía de absorción atómica (AA) de llama y, en segunda instancia, por el método GFAAS verificado y el protocolo de análisis propuesto en esta investigación.

Con los datos obtenidos para el MRC 07206B se procedió a realizar los cálculos con las siguientes fórmulas proporcionadas por Eurolab España y col., (2016):

$$b = \bar{x} - x_{ref} \quad (2)$$

Sesgo

$$b(\%) = \frac{\bar{x} - x_{ref}}{x_{ref}} \times 100 \quad (3)$$

Sesgo Relativo en Porcentaje

$$R(\%) = \frac{\bar{x}}{x_{ref}} \times 100 \quad (4)$$

Recuperación relativa

Donde:

\bar{x} = media de las lecturas del MRC 07206B.

x_{ref} = valor teórico que el certificado otorga al material de referencia.

Con los valores calculados se obtuvo una medida del sesgo tomando en cuenta los efectos del laboratorio comparado con los datos del sesgo del método.

Para el análisis de los datos obtenidos de las mediciones de blancos digestados y blancos adicionados, se usó la siguiente fórmula Eurolab España y col., (2016):

$$R'(\%) = \frac{\bar{x}' - \bar{x}}{x_{adición}} \times 100 \quad (5)$$

Recuperación relativa de adiciones

Donde:

\bar{x}' = valor medio de los blancos adicionados.

\bar{x} = valor medio de los blancos digestados.

$x_{adición}$ = valor de concentración añadida.

Finalmente, con los datos obtenidos de la lectura de muestras por el método normalmente usado en el laboratorio, el método GFAAS verificado y el protocolo de análisis propuesto, se realizaron los cálculos en base a las siguientes ecuaciones Eurolab España y col., (2016):

$$b = \bar{x} - \bar{x}_{ref} \quad (6)$$

Sesgo

$$b(\%) = \frac{\bar{x} - \bar{x}_{ref}}{\bar{x}_{ref}} \times 100 \quad (7)$$

Sesgo Relativo en Porcentaje

$$R(\%) = \frac{\bar{x}}{\bar{x}_{ref}} \times 100 \quad (8)$$

Recuperación relativa

Donde:

\bar{x} = media de las lecturas de las muestras por el método antiguo.

\bar{x}_{ref} = media de las lecturas de las muestras por el método nuevo propuesto.

Con los valores calculados se obtuvo la medida del sesgo, en función al método GFAAS verificado y el protocolo de análisis propuesto, para así demostrar su eficacia y sustituir al método normalmente utilizado por AGROCALIDAD.

2.1.4 Incertidumbre

Se realizaron 10 lecturas de la concentración del material de referencia y se calcularon los valores de incertidumbre con las siguientes fórmulas (IRAM 35050, 2001):

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I_k \quad (9)$$

Promedio (I) de las lecturas

Donde:

n = número de mediciones del material de referencia.

I_k = cada medición de material de referencia.

$$S(I_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2} \quad (10)$$

Desviación estándar (I_k)

Donde:

n = número de mediciones totales del material de referencia.

\bar{I} = promedio de las lecturas.

I_k = cada medición realizada.

$$S(\bar{I}) = \frac{S(I_k)}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

Incertidumbre estándar $S(I)$

Donde:

$S(I_k)$ = la desviación estándar.

n = número de mediciones totales del material de referencia.

2.2 Determinación de cadmio en almendra de cacao

Con las muestras obtenidas de las Fincas A, B, C y D se procedió de acuerdo al protocolo elaborado (Procedimiento PEE/B/14) a la determinación de Cd en almendras de cacao en el que se detalla:

1. *Procesamiento de la muestra:* Se secaron las almendras de cacao en la estufa a una temperatura de 150 °C, por un período de 24 horas y se verificó que la cáscara se desprendía con facilidad, de lo contrario se continuó el secado por 12 o 24 horas adicionales y se realizó una nueva verificación antes de sacar el cacao de la

estufa. El descascarillado se realizó en forma manual con las muestras calientes para que su desprendimiento se realizara con mayor facilidad. Para descascarillar el grano, se presionó con las yemas de los dedos o golpeando suavemente con un pistilo de mortero. Se procesaron aproximadamente 20 g de muestra en el molino, hasta obtener un producto homogéneo. Se guardó la muestra procesada en frascos de polipropileno con el código de la muestra.

2. *Digestión:* Se pesó con precisión 0.5 g de muestra seca en el envase de digestión y se sometió a digestión por microondas según a los parámetros indicados por el equipo.
3. *Preparación de estándares:* Se preparó 20 ml de solución madre de Cd de 1000 ppb. Se tomó 2 ml de estándar de Cd de 1000 $\mu\text{g/ml}$ con pipeta volumétrica y se aforó a 20 ml con ácido nítrico al 1%. A partir de esta solución, el equipo de absorción atómica por horno de grafito realizó de forma automática las diluciones correspondientes (1-5 ppb).
4. *Lectura de las muestras:* Se midió la concentración de cada muestra codificada en el equipo, que fue programado para realizar lecturas por triplicado sobre una misma muestra y el resultado se expresó en partes por billón (ppb).

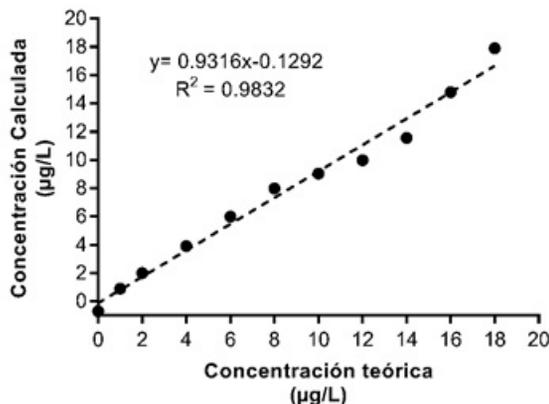


Figura 1. Rango lineal evaluado con diferentes concentraciones de estándar de Cd.

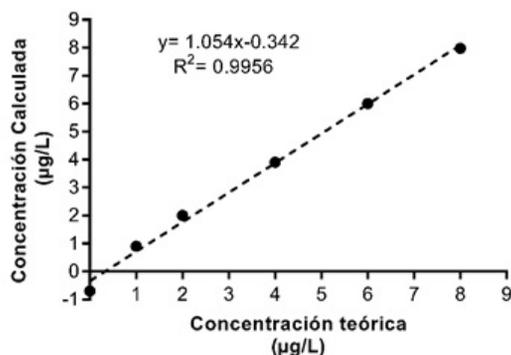


Figura 2. Rango lineal del método 0-8 ppb.

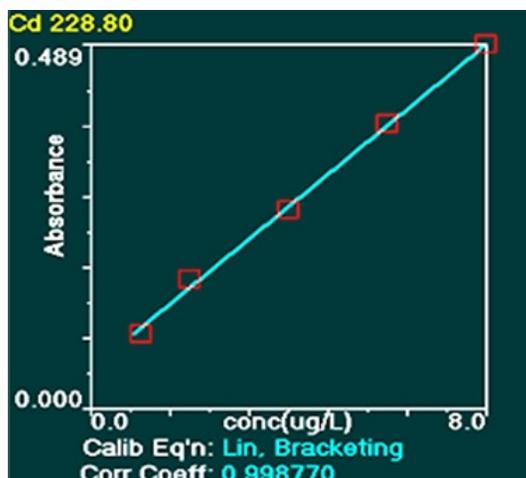


Figura 3. Rango lineal dado por el equipo.

2.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó tomando en cuenta cada parámetro de verificación del método: linealidad, precisión, veracidad e incertidumbre, cada uno de los cuales proporciona fórmulas para el cálculo de medias, sesgo, sesgo relativo y recuperación. Además, en la determinación de Cd en almendras de cacao se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre

las muestras obtenidas en cada finca. Se utilizó el programa estadístico Graphpad Prism 7.

3 Resultados

3.1 Verificación del método analítico

3.1.1 Linealidad

En la Figura 1, se graficó la concentración teórica (0-18 ppb) frente a la proporcionada por el equipo (calculada) y, se procedió a realizar un análisis visual en el que se estableció que el rango lineal se encuentra entre 0 y 8 ppb (Figura 2 y 3). Se obser-

va que el rango lineal se encuentra entre 0 y 8 ppb (Figura 2), con un coeficiente de residualidad de 0,9956, aceptable para procedimientos analíticos.

El método GFAAS arrojó una curva de calibra-

ción (Figura 3), que presentó un coeficiente de residualidad de 0.998770, mucho más exacta que la calculada, en razón que esta utiliza sólo los puntos de interés, eliminado errores de fondo. Para confirmar la linealidad del método y siguiendo el procedimiento de la Guía Eurachem (2016) se midió un

blanco y seis disoluciones de concentraciones conocidas en el rango lineal dado por el equipo, que está representado en la Figura 4. En la Figura 4A. se observa que el coeficiente de residualidad fue de 0,9964; Figura 4B. 0,9976 y Figura 4C. 0,9952, que confirman la linealidad del método.

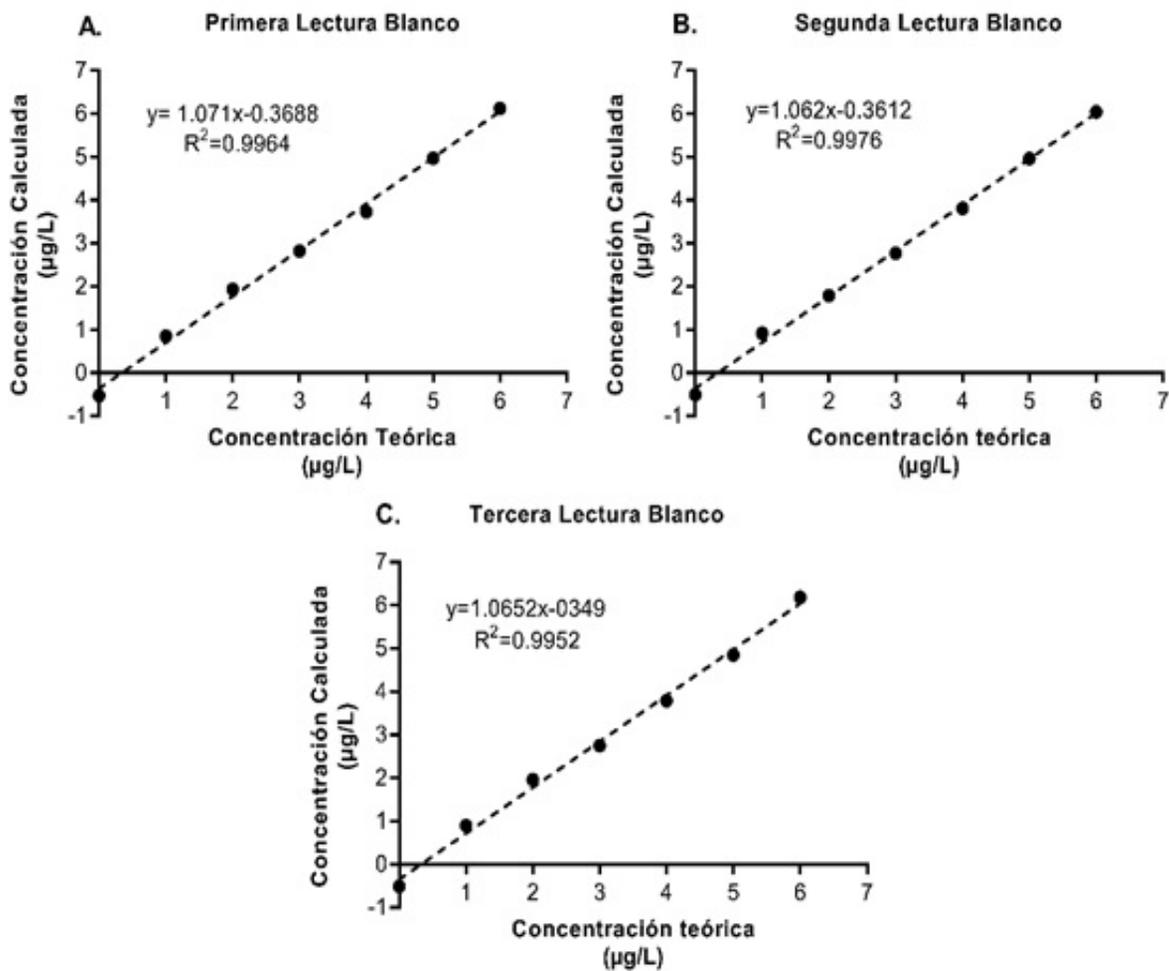


Figura 4. A. Primera lectura de un blanco y seis estándares de Cd; B. Segunda lectura de un blanco y seis estándares de Cd; C. Tercera lectura de un blanco y seis estándares de Cd.

3.1.2 Precisión

Se midió la precisión del analista, equipo y método analítico, mediante 15 lecturas de dos materiales de

referencia certificados 07206B y 07167A, obteniéndose una desviación estándar mínima y menor a la dada por el fabricante del equipo que fue 0.02 como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de cadmio obtenida de 15 lecturas de dos materiales de referencia certificados de cacao en polvo.

N° de Lectura	MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO			
	Lectura dada por el equipo		Concentración final calculada	
	07206B ($\mu\text{g/L}$)	07167A ($\mu\text{g/L}$)	07206B (mg/kg)	07167A (mg/kg)
1	1,608	1,656	0,0803	0,0820
2	1,605	1,794	0,0801	0,0888
3	1,612	1,604	0,0805	0,0794
4	1,610	1,626	0,0804	0,0805
5	1,609	1,656	0,0803	0,0820
6	1,632	1,614	0,0815	0,0799
7	1,605	1,637	0,0801	0,0810
8	1,615	1,644	0,0806	0,0814
9	1,610	1,655	0,0804	0,0819
10	1,603	1,645	0,0800	0,0814
11	1,608	1,656	0,0803	0,0820
12	1,603	1,702	0,0800	0,0842
13	1,611	1,668	0,0804	0,0826
14	1,622	1,644	0,0810	0,0814
15	1,631	1,656	0,0814	0,0820
Desviación estándar (s)			0,0005	0,0022

Nota: Los valores están reportados en miligramos por kilogramo. La concentración final calculada se realizó en base a la lectura del equipo por el volumen de aforo y factor de dilución, dividido para el peso de la muestra por mil.

3.1.3 Veracidad

En la medición de la veracidad se realizaron diez lecturas del material de referencia certificado 07167A; en base a los datos obtenidos se calculó la media, el sesgo, sesgo relativo en porcentaje y la recuperación relativa, usando como valor referencial el dato proporcionado por el certificado del material de referencia, como se observa en la Tabla 2. Adicionalmente se realizaron diez lecturas de tres blancos y diez lecturas de los mismos blancos adicionados con 2, 3 y 4 ppb de Cd, con lo que se

obtuvo la media y porcentaje de recuperación, como se observa en la Tabla 3.

Finalmente se realizaron diez lecturas de tres muestras por el método normalmente usado por el laboratorio (AA), por el método GFAAS verificado y el protocolo propuesto, como se observa en la Tabla 4. En la Tabla 4 se puede observar que el sesgo en la lectura de las tres muestras por los dos métodos es mínimo y el porcentaje de recuperación es elevado, lo que da confiabilidad al método GFAAS.

3.1.4 Incertidumbre

Se midió diez veces la concentración de Cd de dos materiales de referencia 07206B y 07167A, y se calculó la media, desviación estándar e incertidumbre estándar (Tabla 5).

La incertidumbre calculada midiendo la concentración de Cd de los MRC (07206B y 07167A) es de 0,00013 y 0,00082, respectivamente (Tabla 5.), lo que indica que las mediciones realizadas no estuvieron afectadas por errores sistemáticos en el proceso.

Tabla 2. Concentración de cadmio obtenida de 10 lecturas del material de referencia certificado de cacao en polvo.

Nº Lectura	Material de Referencia	
	07167A ($\mu\text{g/L}$)	07167A (mg/Kg)
1	1,614	0,080
2	1,637	0,081
3	1,655	0,082
4	1,655	0,082
5	1,645	0,081
6	1,656	0,082
7	1,612	0,080
8	1,668	0,083
9	1,623	0,080
10	1,644	0,081
Media		0,081
Valor Referencial		0,074
Sesgo		0,007
Sesgo Relativo en porcentaje		9,75
Recuperación relativa		109,75

Nota: Los valores reportados por el quipo están en $\mu\text{g/L}$. La concentración final calculada (mg/Kg), se realiza en base a la lectura del equipo por el volumen de aforo y factor de dilución, dividido para el peso de la muestra por mil.

3.2 Determinación de cadmio en almendras de cacao

Se analizaron muestras provenientes de cuatro fincas de Flavio Alfaro- Manabí nombradas A, B, C y D (Tabla 6), colectándose 15 muestras de la finca A, 9 muestras de la finca B, 4 de la finca C y 5 de la finca D, de acuerdo a protocolos internos de Agrocalidad, estableciendo las siguientes hipótesis:

Después de realizar el análisis de varianza (Tabla 7) al ser $p < 0,05$ se acepta la hipótesis alternativa, es decir, la concentración de Cd en las almendras de cacao de al menos una finca difiere de las demás. La Finca A que tiene como promedio $0,546 \text{ mg/Kg}$ siendo el valor más alto respecto a las demás fincas, cabe mencionar que entre la Finca B y D no existen diferencias significativas ya que en las dos fincas la concentración de Cd en la almendra de cacao fue de $0,260 \text{ mg/Kg}$. La Finca C presenta la concentración

Hipótesis nula: la concentración de Cd en las almendras de cacao de las cuatro fincas no es significativamente diferente.

Hipótesis alternativa: la concentración de Cd en las almendras de cacao de al menos una finca difiere significativamente de las demás.

más baja de Cd siendo $0,146 \text{ mg/Kg}$.

3.3 Prueba inter-laboratorios

Se envió la muestra con el código C3 a los Laboratorios UBA ubicados en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. El resultado reportado fue de $0,11 \text{ ppm}$ de Cd, lo cual coincide con el resultado obtenido en Laboratorio de Bromatología y Microbiología de Agrocalidad.

Tabla 3. Lectura de tres blancos y blancos adicionados con 2, 3 y 4 ppb de cadmio.

N° Lectura	BLANCOS ($\mu\text{g/L}$)			BLANCOS ADICIONADOS ($\mu\text{g/L}$)		
	B2V	B3V	B4V	BA2V	BA3V	BA4V
1	-0,5278	-0,7799	-0,4077	2,098	3,115	3,780
2	-0,5017	-0,7791	-0,3903	2,084	3,185	3,898
3	-0,5106	-0,7442	-0,4038	1,962	3,247	4,165
4	-0,5613	-0,7247	-0,4415	1,939	3,025	4,036
5	-0,4176	-0,7153	-0,4453	1,962	3,004	4,054
6	-0,5200	-0,7298	-0,4692	1,963	3,027	4,076
7	-0,6586	-0,7062	-0,4406	1,876	3,057	4,185
8	-0,5363	-0,7423	-0,4894	1,878	2,947	4,196
9	-0,5810	-0,7847	-0,4962	1,890	3,030	4,223
10	-0,5134	-0,7700	-0,4194	1,800	3,137	4,263
Media	-0,53283	-0,74762	-0,44034	1,945	3,077	4,088
	Recuperación (%)			123,902	127,501	113,199

Nota: Las unidades están reportadas en ($\mu\text{g/L}$). El código B2V significa: Blanco número dos veracidad. BA2V significa, BA2: Blanco adicionado con 2 ppb de Cd; V: Veracidad.

Tabla 4. Concentración de cadmio en tres muestras evaluadas por GFAAS y AA.

Lectura	Lectura de muestras GFAAS			Lectura de muestras AA		
	A8A	B23A	D6A	A8A	B23A	D6A
1	1,356	0,174	0,991	1,348	0,178	0,985
2	1,348	0,177	0,996	1,387	0,174	0,981
3	1,358	0,178	0,989	1,356	0,180	0,964
4	1,363	0,175	0,983	1,364	0,173	0,994
5	1,361	0,176	0,987	1,377	0,178	0,997
6	1,371	0,174	0,981	1,374	0,180	0,999
7	1,376	0,180	0,998	1,371	0,171	0,997
8	1,368	0,182	0,993	1,350	0,178	0,986
9	1,373	0,182	1,001	1,336	0,173	0,992
10	1,366	0,180	0,989	1,342	0,173	0,988
Media	1,364	0,178	0,991	1,361	0,176	0,988
Sesgo	0,004	0,002	0,003			
Sesgo %	0,26	1,16	0,29			
R %	100,26	101,16	100,29			

Nota: Las unidades están dadas en mg/Kg . El código A8A significa: A: El nombre otorgado a la Finca; 8A: numeración de la muestra.

4 Discusión

La verificación del método analítico de espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito en el Laboratorio de Bromatología y Microbiología de Agrocalidad, cumplió con los parámetros de desempeño: linealidad, precisión, veracidad de acuerdo a la Guía Eurachem (Eurolab España y col.,

2016) e incertidumbre de acuerdo con la Guía para el Cálculo de Incertidumbre del Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM 35050, (2001). La linealidad se trabajó con una curva en un rango de 0 a 8 ppb, cuyo $R^2 = 0,998770$, que por su cercanía a +1 indica que existe una "perfecta" correlación entre las variables, siendo aceptable para mediciones analíticas (Gaddis y Gaddis, 1990).

Tabla 5. Concentración de cadmio de dos materiales de referencia

N° Lectura	MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO			
	Lectura dada por el equipo		Concentración final calculada	
	07206B ($\mu\text{g/L}$)	07167A ($\mu\text{g/L}$)	07206B (mg/Kg)	07167A (mg/Kg)
1	1,608	1,656	0,0803	0,0820
2	1,605	1,794	0,0801	0,0888
3	1,612	1,604	0,0805	0,0794
4	1,610	1,626	0,0804	0,0805
5	1,609	1,656	0,0803	0,0820
6	1,632	1,614	0,0815	0,0799
7	1,605	1,637	0,0801	0,0810
8	1,615	1,644	0,0806	0,0814
9	1,610	1,655	0,0804	0,0819
10	1,603	1,645	0,0800	0,0814
Media			0,0804	0,0818
Desviación estándar			0,0004	0,0026
Incertidumbre estándar			0,00013	0,00082

Nota: Los valores están dados en miligramos por kilogramo. La concentración final calculada se realiza en base a la lectura del equipo por el volumen de aforo y factor de dilución, dividido para el peso de la muestra por mil.

Tabla 6. Concentración de cadmio en almendra de cacao de las Fincas A, B, C y D.

Muestra	Concentración de cadmio (mg/Kg)			
	Finca A	Finca B	Finca C	Finca D
1	0,60	0,60	0,12	0,12
2	0,79	0,10	0,18	0,11
3	0,60	0,01	0,11	0,24
4	0,88	0,34	0,17	0,30
5	0,74	0,30		0,54
6	0,89	0,40		
7	0,50	0,40		
8	0,54	0,09		
9	0,55	0,11		
10	0,49			
11	0,54			
12	0,15			
13	0,13			
14	0,40			
15	0,39			

Nota: Los valores están expresados en miligramos por kilogramo. Los números de muestra no corresponden a la numeración que se otorgó a las muestras en el etiquetado

La precisión para dos materiales de referencia certificados (07206B y 07167A) arrojaron una desviación estándar de 0,0005 y 0,0022, respectivamente, lo cual implica que las mediciones realizadas por el analista fueron precisas y repetibles. En cuanto a la veracidad, se comprobó que la metodología propuesta arroja resultados similares a la metodología no estandarizada y tóxica que el Laboratorio de

Tabla 7. Resumen del análisis de varianza

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Finca A	15	8,190	0,546	0,051
Finca B	9	2,350	0,261	0,038
Finca C	4	0,585	0,146	0,001
Finca D	5	1,310	0,262	0,031

Bromatología y Microbiología de Agrocalidad empleaba para los análisis de Cd, puesto que el sesgo entre las dos metodologías fue mínimo y el porcentaje de recuperación fue mayor a 100% por lo que cumple con lo mencionado por Ospina y Zapata, (2012), quienes señalan que el porcentaje de recuperación en un método analítico debe ubicarse en un rango de 80% a 120%. Además, es comparable con la validación de (Lo Dico y col., 2018) en la que obtienen un porcentaje de recuperación de 110%. La incertidumbre estándar fue de 0,00013 y 0,00082, lo cual otorga confiabilidad al método propuesto y lleva a suponer que trabajar en un ambiente cerrado y con los demás equipos del laboratorio apagados conlleva a minimizar los errores tal como menciona (Gonzaga, 2016).

Una investigación relacionada es la de Acosta y Pozo, (2013) en la que se aplicó el método oficial AOAC 999.11, donde no se evidencia la verificación de los parámetros de desempeño en el laboratorio de Agrocalidad, por lo que sus resultados no son confiables. Sin embargo, la misma autora recomienda usar para la digestión de la muestra un tipo de digestión por microondas, la cual es más rápida y eficaz, por lo que en la presente investigación se usó dicha metodología de digestión basada en la norma (AOAC, 2010), obteniéndose buenos resultados.

En investigaciones relacionadas se usa en su mayoría la técnica de espectroscopía acoplada a llama con una digestión perclórica como la de Mite, Carrillo y Durango, (2010) y, una digestión nítrica previa seguida de la lectura por espectroscopía de emisión atómica acoplada a plasma (ICP-MS) de Chavez y col., (2015); sin embargo, se puede usar la ICP-MS después de una digestión por microondas, que otorga mayor especificidad del análisis (Lo Dico y col., 2018).

De acuerdo con lo estipulado por la Unión Europea (0,8 ppm de Cd en cacao en polvo), que entró en vigor en enero de 2019, el cacao de las cuatro

fincas presentadas en este estudio podría ser exportado sin restricciones, habiendo estado sus niveles (0.546 A; 0.261 B; 0.146 C; 0.262 D) dentro del rango permitido. De igual forma cumplen con lo indicado por el Comité del Codex sobre contaminantes en alimentos (CCCF), que, en la 9ª sesión celebrada en los Países Bajos, estipula un límite de 1,5 ppm (CCCF, 2015).

De acuerdo a Chavez y col., (2015) la diferencia en el contenido de Cd en las cuatro fincas se puede atribuir a la existencia de contaminación por metales pesados en el agua de riego o contaminación del suelo (Rankin y col., 2005), por otra parte Acosta y Pozo, (2013) hacen referencia a la ubicación de los cultivos, es decir, si se encuentran cerca de la carretera asfaltada, existe mayor probabilidad de acumular metales pesados tanto en el suelo como en las partes aéreas de las plantas por las emisiones de los vehículos circulantes a la atmósfera, lo que no ocurriría con las fincas que se encuentran alejadas de la carretera.

En adición a lo mencionado, Mite, Carrillo y Durango, (2010) acotan que la contaminación por Cd de las almendras de cacao puede darse además por la quema de residuos urbanos, el uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos y contaminación por derivados del petróleo al secar el cacao en carreteras. Por su parte, en una investigación reciente de Argüello y col., (2019) se hace referencia a que la concentración de Cd en la almendra de cacao puede variar de una finca a otra respecto al genotipo (CCN-51 vs. Nacional) cultivado.

A pesar de que este estudio no se centró en la determinación de Cd en almendras de cacao sino en una validación del método analítico para cuantificar este metal, se ha logrado aportar significativamente al desarrollo de posteriores estudios en donde se use GFAAS y, se investigue la trazabilidad del Cd hasta llegar a las almendras, siendo evidente que el suelo es el mayor suministro de este metal, pudién-

dose implementar estrategias de mitigación, como la biorremediación.

5 Conclusiones

Se verificaron con éxito los parámetros de desempeño del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito, con lo cual se aseguró que el método es confiable y puede ser usado en el Laboratorio de Bromatología y Microbiología de Agrocalidad. El protocolo (PEE/B/14) elaborado permite la aplicación correcta del método en el análisis de Cd en la almendra de cacao puesto que define un procedimiento operativo estándar que asegura el fiel cumplimiento de los requisitos de ensayo para obtener resultados confiables.

Por otra parte, se evidenciaron diferencias en la concentración de Cd en la almendra de cacao de las fincas objeto de estudio que están relacionadas a la procedencia de las muestras. Sin embargo, todas las muestras analizadas revelaron concentraciones de Cd inferiores a lo estipulado por la Unión Europea (0,8 ppm de Cd en cacao en polvo) además, cumplen con lo indicado por el CCCF, un límite de 1,5 ppm, por lo que este cacao podría ser exportado sin restricciones.

La prueba inter-laboratorio que se llevó a cabo ratifica la validez del método verificado en esta investigación. En vista de la diferencia en la concentración de Cd de acuerdo con la procedencia de las muestras, es recomendable realizar otras investigaciones referentes a los factores que intervienen en la contaminación de este elemento en el cacao.

Agradecimientos

La presente investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Bromatología y Microbiología de Agrocalidad, como parte del Proyecto Nacional del Cacao, **Proyecto: I001 Agrocalidad** "Implementación de un proceso de análisis optimizado para determinar la concentración de cadmio en almendras de cacao fresco, fermentado y seco".

Referencias

- AOAC (2005). «Official Method 999.11: Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in Foods.» En: Online: <https://bit.ly/2XyGfGp>.
- (2010). «AOAC Official Method 999.10: Lead, Cadmium, Zinc, Cooper, and Iron in Foods». En: *William Horwitz and George W Latimer (eds) Official methods of analysis of AOAC International. 18th edn. Gaithersburg, MD.:AOAC International, pp. 17–19.* Online: <https://bit.ly/325aDag>.
- Acosta, S. y P. Pozo (2013). «Determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo - Esmeraldas, mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito». En: *infoANALÍTICA 1.1*, Onine: <https://bit.ly/2S3GuDm>.
- Ali, H., E. Khan y M. Anwar Sajad (2013). «Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications». En: *Chemosphere 91.7*, 869-881. Online: doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
- Almeida, A. A. y R. R. Valle (2007). «Ecophysiology of the cacao tree». En: *Brazilian Journal of Plant Physiology 19.4*, Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 425-448. Online: <https://bit.ly/2SAb5KD>.
- Anecacao (2019). *CACAO NACIONAL, Un producto emblemático del Ecuador*. URL: <https://bit.ly/2XXpPGQ>.
- Araujo, Q. y col. (2014). «Cocoa Quality Index - A proposal». En: *Food Control 46*, Elsevier Science, 49-54. Online: <https://bit.ly/2SBvpvm>.
- Argüello, D. y col. (2019). «Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador». En: *Science of The Total Environment 649*, 120-127. Online: <https://bit.ly/37F7vmF>.
- Bertoldi, D. y col. (2016). «Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products». En: *Food Control 65*, Elsevier Science, 46-53. Online: <https://bit.ly/3bHPAiC>.
- CAOBISCO/ECA/FCC (2015). *Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements*. Ed. por M. J. End y R. Dand. Online: <https://bit.ly/2xB2PP9>.
- CCCF, ed. (2015). *Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Documento de debate para el establecimiento de niveles máximos de cadmio en chocolate y productos derivados del cacao*, pág. 66.

- Chavez, E. y col. (2015). «Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador». En: *Science of the Total Environment* 533, 205-214. Online: <https://bit.ly/38G1mYU>.
- Cooper, K. A. y col. (2007). «Cocoa and health: a decade of research». En: *British Journal of Nutrition* 99.1, 1-11. Online: <https://bit.ly/38MixId>.
- Damatta, F. M. y col. (2018). «Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: a Review». En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66.21, American Chemical Society, 5264-5274. Online: <https://bit.ly/2HLbUKx>.
- Dasgupta, A. y K. Klein (2014). «Tea, Coffee, and Chocolate: Rich Sources of Antioxidants». En: *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements*. Elsevier, 237-257. Online: <https://bit.ly/2SLHwWu>.
- Eurolab España y col. (2016). *Guía Eurachem: La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos Una Guía de Laboratorio para Validación de Métodos y Temas Relacionados*. 1 ed. Inf. téc. Eurachem, Online: <https://bit.ly/2YDyhIy>.
- Gaddis, M. L. y G. M. Gaddis (1990). «Introduction to biostatistics: Part 6, Correlation and regression». En: *Annals of emergency medicine* 19.12, 1462-1468. Online: <https://bit.ly/2HIZFhx>.
- Gonzaga, P. A. (2016). «Validación de métodos analíticos para la determinación de metales Pesados, mediante absorción atómica en las matrices de aguas residuales, naturales y de consumo humano en los laboratorios de la UTPL». Trabajo de titulación. Universidad Técnica Particular de Loja. Online: <https://bit.ly/2G1q09W>.
- IRAM 35050 (2001). *Procedimientos para la evaluación de la incertidumbre de la medición*. Inf. téc. Argentina: Instituto Argentino de Normalización. Online: <https://bit.ly/2XRnbma>.
- Järup, L. y A. Akesson (2009). «Current status of cadmium as an environmental health problem». En: *Toxicol Appl Pharmacol* 238.3, 201-208. Online: <https://bit.ly/2SKVcaQ>.
- Lo Dico, G. M. y col. (2018). «Toxic metal levels in cocoa powder and chocolate by ICP-MS method after microwave-assisted digestion». En: *Food Chemistry* 245, 1163-1168. Online: <https://bit.ly/2HHJfpN>.
- Mite, F., M. Carrillo y W. Durango (2010). «Avances del monitoreo de presencia de Cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador». En: *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Vol. 1, 1-21. Online: <https://bit.ly/2LgnFMt>.
- Navarro-Aviñó, J., I. Aguilar Alonso y J. López-Moya (2007). «Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas». En: *Asociación Española de Ecología Terrestre* 12.2, 10-25. Online: <https://bit.ly/2NptmI7>.
- Ospina, C. y M. Zapata (2012). «Validación de la metodología de detección de los metales cadmio, níquel y plomo en agua tratada por absorción atómica de llama en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira». Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Online: <https://bit.ly/2S62U7e>.
- Rankin, C. W. y col. (2005). «Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination». En: *Environmental health perspectives* 113.10, National Institute of Environmental Health Science, 1344-1348. Online: <https://bit.ly/2HI5QIM>.
- Shavez Beg, M. y col. (2017). «Status, supply chain and processing of Cocoa - A review». En: *Trends in Food Science & Technology* 66, 108-116. Online: <https://bit.ly/2SLObAc>.
- Squicciarini, M. P. y J. F. M. Swinnen (2016). *The Economics of Chocolate*. Oxford University Press.
- Waizel-Haiat, S. y col. (2012). «Cacao y chocolate: seducción y terapéutica». En: *Anales Médicos* 57.3, 236-245. Online: <https://bit.ly/2LNJ13t>.
- Wickramasuriya, A. M. y J. M. Dunwell (2018). «Cacao biotechnology: current status and future prospects». En: *Plant Biotechnol Journal* 16.1, 4-17. Online: <https://bit.ly/3c02qZw>.



PROPAGACIÓN *in vitro* DE QUISHUAR (Buddleja incana Ruíz & Pav)

PROPAGATION *in vitro* OF QUSIHUAR (Buddleja incana Ruíz & Pav)

Paola Jiménez Enriquez¹ , Paulo Barrera Aguilar² , Laura Huachi Espín*¹ ,
Antonio Vera Zambrano¹ y Carlos Caicedo Vargas¹

¹ Universidad Politécnica Salesiana. Sede El Girón. Av. 12 de Octubre y Wilson, Quito, Ecuador.

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Central de la Amazonía. Vía Sacha- San Carlos a 3 Km de la entrada a la Parker, Cantón Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador.

*Autor para correspondencia: luhachi@ups.edu.ec

Manuscrito recibido el 8 de mayo de 2019. Aceptado, tras revisión, el 4 de febrero de 2020. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Quishuar es una especie forestal apreciada por sus usos. La explotación intensiva y la oferta insatisfecha de plantas han sido limitantes para cumplir con programas de reforestación. La micropropagación es una técnica que ayudaría a erradicar este problema ya que el propósito es producir mayor cantidad de plantas en menor tiempo. El objetivo de esta investigación fue desarrollar protocolos para la desinfección, establecimiento y multiplicación *in vitro*, para el efecto se realizaron ensayos partiendo de semillas y brotes de plantas. La primera fase se realizó con semillas, utilizando kilol y benomil, junto con NaOCl al 3 % (10 min). Los resultados indican que el porcentaje de germinación fue de 100 % en MS (Murashige y Skoog medium) y el porcentaje de contaminación y oxidación de 0 %. Por otro lado, los brotes sometidos a fungicidas con adición de antioxidantes y NaOCl al 1 % (10 min) no presentaron contaminación ni oxidación. El porcentaje de brotación fue de 100 % en WPM (Woody Plant Medium). En la segunda fase en medio MS sin adición de hormonas se observó una mayor longitud de brote (1.95 cm), número de nudos (1.94 nudos) e índice de multiplicación (2.47). Basándose en los resultados, se sugiere que los protocolos son efectivos para la propagación *in vitro*.

Palabras clave: contaminación, *in vitro*, micropropagación, oxidación, Quishuar

Abstract

Quishuar is a forest species which is well known for its uses. Intensive farming and unsatisfied plant supply have been limited to meet reforestation programs. Micropropagation is a technique that would help eradicate this problem as the

purpose is to produce more plants in less time. The objective of this research was to develop protocols for disinfection, establishment, and multiplication *in vitro*; for this reason, tests from seeds and plants sprouts were carried out; the first phase with seeds, using kilol and benomil, together with NaOCl at 3 % (10 min). The results indicate that the germination percentage was 100 % in MS (Murashige y Skoog medium) and the contamination, oxidation percentage was 0 %. On the other hand, plants sprouts exposed to fungicides, antioxidants and NaOCl at 1 % (10 min), did not have contamination or oxidation. The sprouting percentage was 100 % in WPM (Woody Plant Medium). In the second phase in MS medium without the addition of hormones, plant sprouts (1.95 cm), knots number (1.94 knots) and multiplication rate (2.67) were observed. Based on the results, it is suggested that protocols are effective for *in vitro* propagation.

Keywords: contamination, *in vitro*, micropropagation, oxidation, Quishuar

Forma sugerida de citar: Jiménez, P., Barrera, P., Huachi, L., Vera, A. y Caicedo, C. (2020). Propagación *in vitro* de quishuar (*Buddleja incana* Ruiz & Pav). La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):71-81. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.05>.

IDs Orcid:

Paola Jiménez Enriquez: <https://orcid.org/0000-0001-7026-8537>

Paulo Barrera Aguilar: <https://orcid.org/0000-0003-1465-1114>

Laura Huachi Espín: <https://orcid.org/0000-0002-5367-3714>

Antonio Vera Zambrano: <https://orcid.org/0000-0002-9136-8825>

Carlos Caicedo Vargas: <https://orcid.org/0000-0002-2777-5282>

1 Introducción

Ecuador es considerado un país con vocación forestal; sin embargo, este sector aporta poco a la economía de la nación. Existe alrededor de 7 millones de hectáreas de bosques con potencial de manejo forestal y menos del 10 % reúnen condiciones económicas para ser sometidas a un manejo forestal sustentable (Sánchez, 2012).

Los recursos genéticos forestales RGF's, se están perdiendo a una velocidad alarmante debido a un aprovechamiento indiscriminado y a la falta de incentivos para su conservación y uso sostenible. El conocimiento de los RGF's aún es precario e insuficiente, y son escasos los estudios y las instituciones que realizan actividades para su protección, y la disponibilidad actual de información específica sobre la situación, tendencias y recuperación de los RGF's es deficiente (Ministerio del Ambiente-MAE, 2005).

Así Quishuar (*Buddleja incana*) es un árbol de la familia Scropulariaceae con una altura de aproximadamente 15 m, con flores agrupadas en cabezas y frutos pequeños de 5-6 mm de longitud. Este árbol es una especie forestal nativa de Ecuador y se encuentra en las provincias de Chimborazo, Pichincha, Tungurahua, Azuay, Loja e Imbabura (Grijalva y col., 2012). La madera se utiliza para la elaboración de arados, timones, yugos, cabos de azadón, postes, estacas, artesanías, construcción de viviendas y corrales. Además, se utiliza la infusión de las hojas para fines medicinales como antirreumático, cicatrizante, antibacteriano y antimicótico, y para estimular la proliferación del endometrio y regenerador de la piel, en ratones se ha demostrado que inhibe la ciclooxigenasa (COX₂) (Gómez, 2006).

La propagación a través de los métodos convencionales establecidos para Quishuar presenta varios problemas, la multiplicación en vivero requiere de 5 meses, lo cual se traduce en mayores gastos de producción y menos producción de plantas por año (Gárate, 2010). La cantidad de material vegetativo disponible es insuficiente para la forestación, reforestación en áreas degradadas de los páramos y cuencas hidrográficas, siendo una de las estrategias para superar las dificultades de propagación convencional el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales (Delgado, Hechenleitner y Thiers, 2008). El culti-

vo *in vitro* es una técnica de producción vegetal en condiciones totalmente asépticas, se basa en la "totipotencialidad celular", esto es, la capacidad de una célula vegetal de formar una planta completa bajo ciertas condiciones. Así se logra la propagación rápida y masiva de plantas idénticas a la original, a partir de cualquier parte de la planta, ya sea trozos de tejidos, ápices meristemáticos o incluso células aisladas (Reyes y Hewstone, 1994).

Según Vallejo, (1988), la propagación de esta especie a nivel de laboratorio presenta algunos problemas como la longitud de brotes 8.6 mm, bajo porcentaje de número de nudos por planta (1.5 nudos) y en lo que se refiere a contaminación no existen datos reportados. Sin embargo, Cárdenas, (2011), manifiesta que la contaminación es la principal limitante en el desarrollo *in vitro* de esta especie forestal, pues la tasa de supervivencia no supera el 54 %, debido principalmente a afecciones por hongos y bacterias.

Debido a las dificultades de la propagación convencional y a los resultados obtenidos en laboratorio por Cárdenas, (2011) y Vallejo, (1988), se ha propuesto establecer un método para la desinfección, establecimiento y multiplicación de Quishuar mediante la aplicación de técnicas de cultivo *in vitro*, porque es imprescindible generar estrategias que permitan la propagación y conservación de esta especie.

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un protocolo para la propagación *in vitro* de Quishuar (*Buddleja incana*).

2 Metodología

El presente estudio se realizó en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales del Departamento Nacional de Biotecnología en INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), Sector Cutuglahua, Cantón Mejía, Provincia Pichincha y en comunidades Kichwa de la Sierra.

3 Material vegetal y preparación de explantes

Se emplearon semillas y yemas (axilares y apicales) de plantas de Quishuar de la comunidad Kichwa San Juan, Chimborazo. Previo a la investigación, las plantas fueron trasladadas hasta el invernadero del Departamento Nacional de Biotecnología, fumigadas cada 8 días con una aplicación de Carbendazim 1 ml l^{-1} y Skul Fe (Thiodicarb) 1 ml l^{-1} para prevenir la contaminación, las plantas fueron fertilizadas cada 15 días con Stimufol 1 g l^{-1} y el riego se realizó dos veces por semana con 200 ml l^{-1} de agua potable por planta (Laboratorio de Cultivo de Tejidos (LCT-INIAP), 2014).

4 Fases de la propagación *in vitro*

Fase de desinfección y establecimiento. - Las semillas recolectadas fueron colocadas en un recipiente con una solución de agua y detergente, posteriormente se enjuagaron con agua corriente hasta eliminar todas las impurezas. Una vez lavadas fueron sumergidas en una solución de Povidin (Yodopovidona) 1 % durante 60 minutos, fueron transferidas a una solución de Benomilo (Benzimidazol) $0,10 \text{ g l}^{-1}$ adicionando 30 gotas de Kilol (Citrus paradisi). Se llevaron las semillas a cámara de flujo laminar, en donde se realizaron 2 enjuagues con agua destilada e inmediatamente se sumergieron en una solución de Hipoclorito de Sodio (NaOCl) 3 % durante 10 minutos, posteriormente se realizaron 5 enjuagues con agua destilada estéril. Las semillas fueron sembradas en medio de cultivo MS (Murashige y Skoog medium) y WPM (Woody Medium Plant), e incubadas a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 días.

Por otro lado, las yemas (axilares y apicales) fueron igualmente lavadas con una solución de agua con detergente y lavadas con agua corriente para eliminar todos los residuos de detergente. Posteriormente fueron desinfectadas en una solución de Povidin (Yodo-povidona) 1 % durante 60 minutos, fueron transferidas a una solución de Fungicidas (Phyton $0,5 \text{ ml l}^{-1}$ + Carbendazim $0,5 \text{ ml l}^{-1}$), antioxidantes (Ácido ascórbico + Ácido cítrico $0,1 \text{ g l}^{-1}$), 30 gotas de Kilol (Citrus paradisi) y carbón activado $0,5 \text{ g l}^{-1}$ durante 20 minutos. Las yemas se colocaron en una cámara de flujo laminar en dos soluciones de Hipoclorito de Sodio (NaOCl), la pri-

mera NaOCl 0,5 % durante 60 minutos, y la segunda NaOCl 1 % con adición de 3 gotas de Tween 20 durante 10 minutos, con 5 enjuagues de agua destilada estéril. Las yemas fueron sembradas en dos medios de cultivo MS y WPM e incubadas a $21 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 días (Laboratorio de Cultivo de Tejidos (LCT-INIAP), 2014).

Fase de multiplicación. - Se cortaron explantes de 2-3 cm de longitud de las plantas obtenidas a partir de las semillas, los cuales fueron transferidos a diferentes medios de cultivo, MS y WPM sin adición de hormonas y con adición de $0,5 \text{ g l}^{-1}$ y $0,1 \text{ g l}^{-1}$ de BAP (Benziladenina) y ácido giberélico AG3 (Hernández y col., 1999). Se efectuaron 10 observaciones, con evaluaciones a los 30 y 45 días.

De las plantas obtenidas a partir de brotes se cortaron explantes de 1-3 cm de longitud, los cuales fueron transferidos a medios de cultivo, MS y WPM sin adición de hormonas y con adición de $0,5 \text{ g l}^{-1}$ y $0,1 \text{ g l}^{-1}$ de BAP (Benziladenina) y ácido giberélico AG3 (Hernández y col., 1999).

Incubación y fotoperiodo de vitroplantas. - En la fase de multiplicación se colocaron 5 explantes por frasco, se selló con papel parafilm para evitar la contaminación, se mantuvieron en el cuarto de cultivo con intensidad lumínica de 2000 luxes y a una temperatura de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ y 21 % de humedad. Las plantas se evaluaron cada 30 días.

5 Diseño experimental y análisis estadístico

Para el análisis se empleó un Diseño Completo al Azar (DCA), para la primera fase el arreglo factorial fue (3×2) con seis tratamientos y una segunda fase con un arreglo factorial $(2 \times 2 \times 3)$ con 12 tratamientos. Se utilizaron 10 observaciones en cada fase.

Para los datos se realizó un análisis de varianza (ADEVA) y separación de medias al 95 % de probabilidad. Para establecer diferencias estadísticas entre tratamientos se efectuó la Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($p < 0,05$). Los datos que presentaron valor de 0 fueron transformados con la fórmula $\sqrt{x+1}$, con el propósito de disminuir el coeficiente de variación y ajustar los datos a la distribución normal (Vinueza, 2013).

Tabla 1. Variables evaluadas en la etapa de desinfección y establecimiento *in vitro* de semillas de *B. incana*.

Tratamiento	Protocolo	Medio	Porcentaje de contaminación	Porcentaje de oxidación	Porcentaje de germinación	Longitud de brote (cm) 30 días	Longitud de brote (cm) 45 días
T1×10REP	Povidin solución 1% 60' + Fungicidas (Phyton 1 ml l ⁻¹ + agua destilada + Carbendazim 1 ml l ⁻¹ agua destilada) 60' + NaOCl al 1% + Tween 20 10'.	MS	0	0	100	1,22±0,03	1,37±0,05
T2×10REP	Povidin solución 1% 60' + Fungicidas (Phyton 1 ml l ⁻¹ agua destilada + Carbendazim 1 ml l ⁻¹ agua destilada) 60' + NaOCl al 1% + Tween 20 10'.	WPM	20	0	100	1,22±0,03	1,44±0,05
T3×10REP	Povidin solución 1% 60' + Kilol 30 gotas l ⁻¹ + agua destilada 30' + Benomil 1 g l ⁻¹ + NaOCl 3% 10'.	MS	0	0	100	1,33±0,03	1,47±0,05
T4×10REP	Povidin solución 1% 60' + Kilol 30 gotas l ⁻¹ + agua destilada 30' + Benomil 1 g l ⁻¹ + NaOCl 3% 10'.	WPM	0	0	100	1,27±0,03	1,40±0,05
T5×10REP	Povidin jabón 1% 30' + Fungicidas (Benomil 1 g l ⁻¹ agua + Phyton 0,5 ml l ⁻¹ agua destilada) 30' + NaOCl 1% 8'.	MS	20	0	100	1,07±0,03	1,14±0,05
T6×10REP	Povidin jabón 1% 30' + Fungicidas (Benomil 1 g l ⁻¹ agua + Phyton 0,5 ml l ⁻¹ agua destilada) 30' + NaOCl 1% 8'.	WPM	10	0	100	1,15±0,03	1,35±0,05

6 Resultados y Discusión

6.1 Fase de Desinfección y Establecimiento en Semillas

Varias investigaciones realizadas por la División de Estadística del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) mencionan que los estudios de laboratorio que usan las siguientes medidas de control: material experimental homogéneo, control de factor externo, la asignación de pocas unidades experimentales a los tratamientos y el refinamiento de las técnicas aplicadas en la investigación, dan como resultado que se mantenga

un mismo error experimental o que sea factible reducir el factor error y mantenerlo bajo control. Las investigaciones del error experimental usado como ejemplo de procesos indican claramente que la investigación del error no puede ser parte incidental de un proceso completo, sino que debe considerarse como una actividad más dentro del marco de las técnicas generales que se han de aplicar durante cualquier clase de investigación (Guzmán, 1975).

Las variables evaluadas en esta fase fueron porcentaje de contaminación, oxidación, germinación y longitud de brote.

La contaminación por hongos y/o bacterias se evidenció en los tratamientos T2, T5 y T6 con un porcentaje del 100%. Los tratamientos T1, T3 y T4 dieron como resultado explantes libres de contaminación a los 30 días de evaluación. El porcentaje de oxidación para los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 fue del 0 %.

Los tratamientos T1, T3 y T4 reportaron un 100 % de germinación de semillas a los 30 días y dicho porcentaje se mantuvo hasta los 45 días. En los

tratamientos T1 y T3 se utilizó el medio de cultivo MS y para el tratamiento T4 se utilizó el medio de cultivo WPM. Para la variable longitud de brote se realizó la prueba de Tukey 5 % para establecer rangos de significación, para T3 (MS) se evidenció mayor crecimiento con una media de 1,33 ± 0,03 cm. Para T4 (WPM) un crecimiento de 1,27 ± 0,03 cm y para T1 (MS) un crecimiento de 1,22 ± 0,03 cm a los 30 días de evaluación. A los 45 días, para T3 (MS) se evidenció un crecimiento con una media de 1,47 ± 0,05 cm. Para T4 (WPM) un crecimiento

de $1.40 \pm 0,05$ cm y para T1 (MS) un crecimiento de $1,37 \pm 0,05$ cm.

Los resultados obtenidos en esta fase corroboran los mencionados por los autores. En el protocolo de Billard, Dalzotto y Lallana, (2014), se utilizó NaOCl 1 % 10' en semillas de *Oncidium bifolium* reportando 0 % de contaminación y oxidación; además menciona que al utilizar el medio de cultivo MS el porcentaje de germinación fue del 100 %; sin embargo, la longitud de brote fue menor en comparación con el tratamiento T3 y T4, esto pudo deberse a que González, (2010), en su estudio con *Musa paradisiaca* menciona que el uso de fungicidas/ bactericidas (Phyton) a dosis mayores de $0,5 \text{ ml l}^{-1}$ podría retardar el crecimiento de los explantes, esto se debe a que provoca toxicidad en la planta al ser absorbido el producto rápidamente por las hojas y raíces, reduciendo la ramificación y provocando el deterioro

de la planta. Estos resultados corroborarían los obtenidos en el tratamiento T1.

Por otro lado, en el protocolo de Soto y col., (2010), utilizaron NaOCl 3 % 10' en semillas de *Cedrela salvadorensis* reportando 0 % de contaminación y oxidación; el NaOCl se recomienda como desinfectante superficial ya que su mecanismo de acción permite el daño de la membrana celular de las bacterias, originando la lisis del microorganismo. Además, mencionan en su investigación que la germinación de semillas fue de 65 % para el medio de cultivo WPM y 100 % para el medio de cultivo MS, el medio de cultivo MS contiene una alta concentración de sales mientras que el medio de cultivo WPM contiene reducción de la cantidad total de sales minerales. La longitud de brote en el T3 fue mayor en comparación con el tratamiento T1 y T4.

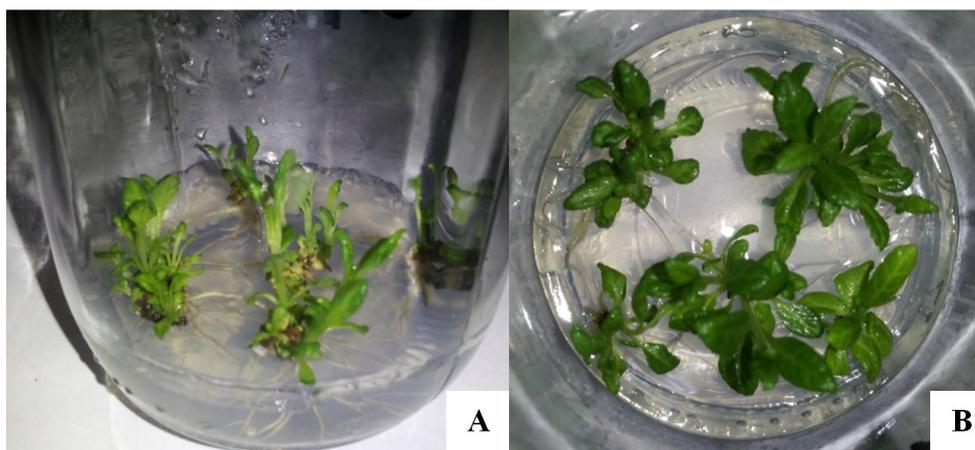


Figura 1. A y B) Tratamiento T3. Plantas en medio de cultivo MS a los 30 días de evaluación.

7 Fase de Desinfección y Establecimiento de Brotes

Las variables evaluadas en esta fase fueron porcentaje de contaminación, oxidación, brotación, número de nudos y altura del brote.

La contaminación por hongos y/o bacterias se evidenció en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 con un porcentaje del 70, 50, 40 y 80 %, respectivamente. Para los tratamientos T5 y T6 los resultados mostraron explantes libres de contaminación a los 30

días de evaluación. El porcentaje de oxidación para los tratamientos T1, T2, T3, T4, y T6 fue del 0 %, mientras que para T5 fue del 20 %. El porcentaje de brotación para los tratamientos T5 (MS) y T6 (WPM) fue 80 y 100 %, respectivamente, para la variable número de nudos y altura de brote se utilizó la prueba de Tukey 5 % para diferenciar rangos de significación en donde se obtuvo una media de $1,61 \pm 0,1$ nudos y una media en longitud de brote para el medio de cultivo MS del $1,45 \pm 0,08$ cm y para el medio de cultivo WPM de $1,55 \pm 0,08$ cm. El hipoclorito de sodio fue efectivo para la desinfección de

Tabla 2. Variables evaluadas en la etapa de desinfección y establecimiento *in vitro* de brotes de *B. incana*.

Tratamiento	Protocolo	Medio	Porcentaje de contaminación	Porcentaje de oxidación	Porcentaje de brotación	Número de nudos (30 días)	Longitud de brotes (30 días)
T1×10REP	Povidin solución 1 % 20' + Fungicidas (Benomil 1 g l ⁻¹ + Phyton 1 ml l ⁻¹ + Rinfapicina 0,5 ml l ⁻¹) 60' + Alcohol 70 % 1' + NaOCl 2 % 15'.	MS	70	0	30	1,22±0,1	1,17±0,08
T2×10REP	Povidin solución 1 % 20' + Fungicidas (Benomil 1 g l ⁻¹ + Phyton 1 ml l ⁻¹ + Rinfapicina 0,5 ml l ⁻¹) 60' + Alcohol 70 % 1' + NaOCl 2 % 15'.	WPM	50	0	50	1,30±0,1	1,27±0,08
T3×10REP	Povidin solución 1 % + Kilol 20 gotas l ⁻¹ agua destilada 30' + Benomil 1 g l ⁻¹ 90' + Alcohol 70 % 30' + NaOCl 1 % 15' + Carbón activado (0,5 g l ⁻¹).	MS	40	0	60	1,41±0,1	1,33±0,08
T4×10REP	Povidin solución 1 % + Kilol 20 gotas l ⁻¹ agua destilada 30' + Benomil 1 g l ⁻¹ 90' + Alcohol 70 % 30' + NaOCl 1 % 15' + Carbón activado (0,5 g l ⁻¹).	WPM	80	0	20	1,11±0,1	1,11±0,08
T5×10REP	Povidin solución 1 % 60' + Carbón activado 0,5 g l ⁻¹ + Fungicidas (Phyton 0,5 ml l ⁻¹ + Carbendazim 0,5 ml l ⁻¹) + Kilol 30 gotas/ 100 ml + Ácido ascórbico 0,1 g l ⁻¹ 20' + NaOCl 0,5 % 60' + NaOCl 1 % 10' + Tween 20	MS	0	20	80	1,55±0,1	1,45±0,08
T6×10REP	Povidin solución 1 % 60' + Carbón activado 0,5 g l ⁻¹ + Fungicidas (Phyton 0,5 ml l ⁻¹ + Carbendazim 0,5 ml l ⁻¹) + Kilol 30 gotas l ⁻¹ + Ácido ascórbico 0,1 g l ⁻¹ 20' + NaOCl 0,5 % 60' + NaOCl 1 % 10' + Tween 20	WPM	0	0	100	1,67±0,1	1,55±0,08

los brotes durante el establecimiento *in vitro* de *C. spinosa*. En esta fase del cultivo *in vitro* se pueden utilizar diferentes compuestos para la desinfección del material vegetal, siendo las soluciones de hipoclorito de sodio y el alcohol a diferentes porcentajes de los productos más comunes (Azofeifa, 2009).

Los resultados obtenidos en esta fase superan los mencionados por Cárdenas, (2011), que menciona que utilizó brotes de Quishuar de plantas madre de dos años de edad, el proceso de desinfección fue con NaOCl 2,5 % por 10 min obteniendo un 70 % de sobrevivencia. En la presente investigación se utilizaron brotes de 1 año de edad y el protocolo de desinfección modificado del LCT-INIAP, obteniendo un 100 % de sobrevivencia. La oxidación en el

tratamiento T5 pudo deberse a factores ambientales como la intensidad de luz, cortes, senescencia, metales pesados y lesiones que pueden desencadenar estrés oxidativo (Luna y col., 2003). Parada, (2009), menciona en su estudio con *Prunus persica* que utilizando el medio de cultivo WPM se obtuvo un gran número de nudos (3-4) y su longitud fue de 13,7 mm, esto debido a que la alta concentración de sales en el medio de cultivo MS puede ocasionar un retardo en la brotación y puede ser tóxico para los tejidos como es el caso de *Vaccinium corymbosum*, especie que respondió mejor en el medio de cultivo WPM ya que contiene reducción de la cantidad total de sales minerales (Sedlak y Paprstein, 2009). En el tratamiento T6 (WPM) es en donde se observaron los mejores resultados.

8 Fase de Multiplicación

Las variables evaluadas en esta fase fueron altura de brote, número de nudos, índice de multiplicación y longitud de raíces. Se utilizaron las plantas obtenidas de la fase de establecimiento de semillas del tratamiento T3. El medio de cultivo MS sin adición de BAP (6-Bencilaminopurina) presentó el mejor resultado, obteniendo una altura de brote de $1,95 \pm 0,05$ cm y número de nudos $1,94 \pm 0,04$, seguido de MS sin adición de AG3 (Ácido giberélico) con una media de $1,78 \pm 0,05$ cm y número de nudos de $1,79 \pm 0,04$ a los 30 días de evaluación. Estos resultados son superiores a los mencionados por Cárdenas, (2011), en donde menciona que la altura de brote obtenido fue de 0,4 cm y el número de nudos de 1,25 utilizando MS sin adición de hormonas. En el estudio con *C. spinosa* la concentración de BAP (6-Bencilaminopurina) no influyó significativamente en el número de explantes brotados con respecto al tratamiento control. Sin embargo, la adición de 0,25 y $0,50 \text{ mg l}^{-1}$ de 6-BAP favoreció significativamente el número de brotes que se obtuvieron de un explante inicial. Se seleccionó como mejor tratamiento para esta fase del proceso la concentración más baja de BAP (6-Bencilaminopurina) $0,25 \text{ mg l}^{-1}$, con la cual se obtuvo un 96,6% de brotación y en 30 días de cultivo se logró un explante establecido y vigoroso con un promedio de 2,07 yemas brotadas con 6,71 cm de longitud (Núñez y col., 2017).

El índice de multiplicación es la media aritmética del número de brotes generados a los 30 días en cada tratamiento. Para el medio de cultivo MS sin adición de BAP (6-Bencilaminopurina) fue de 2,60 y para MS sin adición de AG₃ (Ácido giberélico) fue 2,38. El medio de cultivo MS sin adición de hormonas aseguró una tasa de multiplicación de 2,60. García y col., (2018), menciona que los medios de cultivo complementados con hormonas como el BAP (6-Bencilaminopurina) aseguraron la proliferación de yemas axilares, pero también causaron efectos fisiológicos (crecimiento del callo abundante en la base de las plántulas, siendo esto negativo) como se evidenció en los tratamientos con adición de BAP (6-Bencilaminopurina) al $0,1 \text{ g l}^{-1}$. Diferentes autores refieren el efecto positivo del 6-BAP y el ANA (ácido 1-naftalenacético) para la multiplicación *in vitro* de otras especies leguminosas arbóreas, tal es el caso de Rahman y col., (1993), los cuales durante el establecimiento *in vitro* de segmentos noda-

les de *C. pulcherrima*, informaron de un coeficiente de multiplicación de 5.8 nuevos brotes/explante con un medio de cultivo MS combinado con $1,0 \text{ mg l}^{-1}$ de BAP (6-Bencilaminopurina) + $1,0 \text{ mg l}^{-1}$ de ANA (ácido 1-naftalenacético).

Agramonte y col., (2001), al evaluar el efecto de diferentes dosis de 6- BAP (0; 0,35; 0,50 y $1,0 \text{ mg l}^{-1}$) en la multiplicación *in vitro* de *Eucalyptus grandis*, observaron una tendencia al aumento de los valores de la variable número de brotes por explante y una disminución de la longitud de los mismos con el aumento de la concentración, demostrando que dosis relativamente altas inducen a un alto ahijamiento axilar y reducen el tamaño del brote, lo que produce una afectación del coeficiente de multiplicación.

El promedio más alto para la longitud de raíces fue para el medio de cultivo MS sin adición de hormonas con una media de $2,25 \pm 0,11$ cm. Saucedo, Ramos y Reyes, (2009), en su investigación con *Xanthosoma sagittifolium*, mencionan que en la fase de enraizamiento el uso de medios de cultivo sin adición de BAP (6-Bencilaminopurina) desarrollaron raíces más largas obteniendo un promedio de 4,5 cm. El uso de BAP (6-Bencilaminopurina) provocó síntomas de hiperhidricidad en las plantas.

En general, Murashige y Skoog, (1962) plantearon que el manejo de la concentración de las sales minerales es ampliamente recomendado para estimular el enraizamiento, la formación de yemas, hojas y la longitud de las plantas *in vitro*; mientras que Piqueras, (2000) señalaron que la concentración de sales minerales puede afectar la morfología de las plantas micropropagadas mediante cambios en la presión osmótica, afectando principalmente el desarrollo de las raíces *in vitro*.

Jiménez y col., (2016) en su estudio con *Dianthus caryophyllus*, al evaluar el efecto de la concentración de sales inorgánicas del medio de cultivo en relación con la longitud de la planta no observaron diferencias entre los tratamientos, excepto con el testigo, por lo que es posible que tuviera los nutrientes necesarios para el crecimiento de la misma. Sin embargo, se apreció una reducción del crecimiento con la disminución de la concentración de sales minerales, siendo menor en el tratamiento donde se utilizó al 25%. Estos resultados demuestran que la dismi-

nución del contenido mineral en los medios de cultivo favoreció el retardo del crecimiento, debido a

alteraciones que ocurren en el metabolismo celular.



Figura 2. A) Multiplicación de vitropiantas en medio (MS) sin adición de hormonas. B) Evaluación longitud de raíces. C) Formación de callo en la base de plantas en medio (MS) con adición de BAP ($0,1 \text{ g l}^{-1}$).

9 Conclusiones

Para la fase de desinfección y establecimiento in vitro de semillas de *Buddleja incana* el mejor tratamiento fue T3 (Povidin solución 1

En la fase de establecimiento *in vitro* de brotes de *Buddleja incana* el mejor tratamiento fue T6 (Phyton $0,5 \text{ ml l}^{-1}$ + Carbendazim $0,5 \text{ ml l}^{-1}$) + Kilol 30 gotas l^{-1} + Ácido ascórbico $0,1 \text{ g l}^{-1}$ 20' + NaOCl 0.5 % 60' + NaOCl 1 % 10' + Tween 20) con 0% de contaminación. El porcentaje de brotación en dicho tratamiento fue del 100 %. El número y longitud de brotes tuvieron una media de $1,67 \pm 0,1$ brotes/explante y de $1,55 \pm 0,08$ cm de longitud. En el trabajo realizado por Gutiérrez, (2002), en la especie *Alnus acuminata* a partir de segmentos nodales y hoja, se empleó un protocolo de desinfección con concentraciones muy similares de NaClO y tiempos propuestos en el protocolo de Marulanda e Isaza, (2004). Los resultados indicaron que el tratamiento de desinfección con NaClO al 1 % produjo menor oxidación en las hojas que en los segmentos nodales.

En los ensayos de multiplicación *in vitro* de *Buddleja incana*, el medio de cultivo MS presentó los mejores resultados en los tratamientos sin adición de las hormonas BAP y AG₃. La longitud de brote presentó una media de $1,95 \pm 0,05$ cm, el nú-

mero de nudos presentó una media de $1,94 \pm 0,04$ nudos/explante e índice de multiplicación de 2,60. Los resultados obtenidos en la fase de multiplicación mostraron que no se requirió de un medio promotor de enraizamiento ya que la longitud de raíces presentó una media de $2,25 \pm 0,08$ cm.

Esta investigación representa una fase inicial de establecimiento y multiplicación *in vitro*, en donde los resultados indican una probabilidad de éxito en el proceso de micropropagación de esta especie, sin embargo, aún deben realizarse estudios de viabilidad en campo.

Referencias

- Agramonte, D. y col. (2001). «Micropropagación del *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) a partir de segmentos nodales». En: *Biotecnología vegetal* 1.2, 109-114. Online: <https://bit.ly/39X58x4>.
- Azofeifa, A. (2009). «Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes in vitro». En: *Agronomía mesoamericana* 20.1, 153-175. Online: <https://bit.ly/2uozSrY>.
- Billard, C. E., C. A. Dalzotto y V. H. Lallana (2014). «Desinfección y siembra asimbiótica de semillas de dos especies y una variedad de orquideas del

- género *Oncidium*». En: *Revista Polibotanica* 38, 145-157. Online: <https://bit.ly/32emkf9>.
- Cárdenas, M. (2011). «Determinación del protocolo de establecimiento y multiplicación in vitro de Quishuar (*Buddleja incana*) a partir de yemas axilares de plantas madre, como una herramienta para la preservación de esta especie dentro del Distrito Metropolitano de Quito». Tesis de Ingeniería en Biotecnología. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. Online: <https://bit.ly/391czmQ>.
- Delgado, M., P. Hechenleitner y O. Thiers (2008). «Propagación vegetativa de taique (*Desfontainia spinosa*) y tepa (*Laureliopsis philippiana*) con fines ornamentales». En: *Revista Bosque* 29.2, 120-126. Online: <https://bit.ly/2VaTpa7>.
- Gárate, M. (2010). «Técnicas de propagación por estacas». Tesis de Ingeniero Agrónomo. Ucayali, Perú: Universidad Nacional de Ucayali.
- García, L. y col. (2018). «Protocolo para la micropropagación de *Anthurium cubense* Engler a partir de semilla botánica». En: *Biotecnología Vegetal* 18.3, 161-166. Online: <https://bit.ly/2vZvcZN>.
- Gómez, M. (2006). «Evaluación de alternativas silvopastoriles utilizando yagual (*Polylepis racemosa*), Quishuar (*Buddleja incana*), colle (*Buddleja coriacea*) en la microcuenca del río Chimborazo». Tesis de Ingeniero Agropecuario. Riobamba, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. Online: <https://bit.ly/2T43mng>.
- González, H. (2010). *Evaluación de la eficacia in vitro de productos naturales y químicos en el control de especies fúngicas que afectan al cultivo de Musa paradiasiaca*. Inf. téc. Informe técnico (1).
- Grijalva, J. y col. (2012). «Gestión sostenible de microcuencas en los Andes. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Programa Nacional de Forestería, Quito». En: *Revista Informativa INIAP* 7, 11-13. Online: .
- Gutiérrez, L. G. (2002). «Embriogénesis somática en *Alnus acuminata* H.B.K. y estudio de la variación somaclonal mediante marcadores moleculares». Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Online: <https://bit.ly/2T6wLNR>, pág. 300.
- Guzmán, M. (1975). *El error experimental en la investigación científica: Cuantificación de elementos contribuyentes*. Inf. téc. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. Online: <https://bit.ly/2PgCyir>.
- Hernández, C. y col. (1999). «Desarrollo de un protocolo para la propagación masiva de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Bent) mediante la utilización del cultivo de tejidos vegetales in vitro». En: *Revista Actualidades Biológicas* 21.70, págs. 3-12.
- Jiménez, L. y col. (2016). «Conservación in vitro de clavel español (*Dianthus caryophyllus* L) a partir de sales minerales». En: *Revista Agronomía Mesoamericana* 27.1, Online: <https://bit.ly/32iCgwT>.
- Laboratorio de Cultivo de Tejidos (LCT-INIAP) (2014). *Informe Técnico. Protocolos de desinfección de especies forestales*. Inf. téc. 1. Informes Iniap, págs. 20-60.
- Luna, C. y col. (2003). «Micropropagation of *Ilex dumosa* from nodal segments in a tissue culture system». En: *Biocell* 27.2, 120-135. Online: <https://bit.ly/3a0IIEJ>.
- Marulanda, M. L. y L. Isaza (2004). «Establecimiento in vitro de heliconias con fines de producción masiva». En: *Scientia et Technica* 26, 193-197. Online: <https://bit.ly/2VeUBcC>.
- Ministerio del Ambiente-MAE (2005). *Informe técnico de árboles del Ecuador*. Inf. téc. Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- Murashige, T. y F. Skoog (1962). «A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures». En: *Physiological Plantarum* 15, 473-497. Online: <https://bit.ly/2uXxNUh>.
- Núñez, J. y col. (2017). «Propagación in vitro de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz a partir de yemas axilares de árboles plus seleccionadas». En: *Revista Biotecnología Vegetal* 17.2, 67-75. Online: <https://bit.ly/38RGM87>.
- Parada, D. (2009). «Propagación in vitro del híbrido Almendro x Durazno H1». En: *Revista Fitotecnia mexicana* 32.2, 103-109. Online: <https://bit.ly/3bXmGLu>.
- Piqueras A., y Debergh P. 2000. . In: . Edited by Academic Publishers pp. 443-462. (2000). «Morphogenesis in micropropagation». En: *Morphogenesis in Plant Tissue Cultures*. Ed. por W.-Y. Soh y S. S. Bhojwani. Kluwers Academic Publishers, 443-462. Online: <https://bit.ly/2HMzDtH>.
- Rahman, S. M. y col. (1993). «Micropropagation of *Caesalpinia pulcherrima* through nodal bud culture of mature tree». En: *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 32, 363-365. Online: <https://bit.ly/2Pg4Gm2>.

- Reyes, H. y N. y Hewstone (1994). «Cultura de tejidos en la agricultura». En: *Revista Tierra Adentro* 24, 30-33. Online: <https://bit.ly/2SQ5HDy>.
- Sánchez, Y. (2012). «Elaboración de tablas de volúmenes y determinación de factores de forma de las especies forestales: Chunchu (Cedrelinga catenaeformis), Laurel (*Cordia alliadora*), Sangre de Gallina (*Otoba* sp.), Ceibo (*Ceiba samauma*) y Canelo (*Nectandra* sp.), en la provincia de Orellana». Tesis de Ingeniería Forestal. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Online: <https://bit.ly/2HIFMXZ>.
- Saucedo, S., L. Ramos y T. Reyes (2009). «Efecto de los reguladores de crecimiento para la propagación in vitro de la Malanga (*Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott)». En: *Revista Científica y Tecnología* 1.1, 17-21. Online: <https://bit.ly/37V65VD>.
- Sedlak, J. y F. Paprstein (2009). «In vitro multiplication of highbush blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) cultivars». En: *ISHS Acta Horticulturae*, 575-580. Online: <https://bit.ly/3c0T2Fi>.
- Soto, B. y col. (2010). «Establecimiento in vitro de *Cedrela salvadorensis* Standl». En: *Revista Tecnología en marcha* 23.4, 66-73. Online: <https://bit.ly/2VemQbC>.
- Vallejo, S. (1988). «Multiplicación a través de cultivo de tejidos vegetales de las especies: quishuar (*Buddleja incana* H.B.K.), cedro (*Cedrela montana* Vill) y pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis* seemen)». Tesis de Ingeniería Agrónoma. Quito, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Online: <https://bit.ly/2HLYaiD>.
- Vinueza, D. (2013). «Evaluación morfológica e histológica de las etapas de formación de la embriogénesis somática en las variedades Duke 7 y Puebla de aguacate (*Persea Americana* Mill)». Tesis de Ingeniería en Biotecnología. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.



TIPIFICACIÓN INTEGRAL DE SISTEMAS CAPRINOS DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR

INTEGRAL TYPIFICATION OF GOAT SYSTEMS OF SANTA ELENA PROVINCE, ECUADOR

Araceli Solís Lucas*¹ , María Rosa Lanari²  y María Inés Oyarzabal³ 

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Becaria de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT. La Libertad, Ecuador.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria (EEA). Grenville Morris, 8400. Bariloche, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Veterinarias. CIC. Universidad Nacional de Rosario. 2170 Casilda. Argentina.

*Autor para correspondencia: solisluara@hotmail.com

Manuscrito recibido el 27 de abril de 2019. Aceptado, tras revisión, el 4 de diciembre de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

Como paso previo para proponer estrategias de desarrollo en sistemas de producción caprina (SPC) de la provincia de Santa Elena, Ecuador, se propuso tipificar los sistemas mediante indicadores socio-económicos, productivos y ambientales. Se encuestó a 172 productores sobre composición familiar y participación en el trabajo, tecnología adoptada, comunicaciones, composición del hato, existencias ganaderas, uso del suelo, ingresos, infraestructura y servicios básicos, acceso a las explotaciones, asistencia técnica y capacitación, trabajo e ingresos extraprediales, manejo e instalaciones, fuente de agua y suplemento alimenticio, aspecto reproductivo, dificultades en la producción de caprinos, comercialización de caprinos. Se redujo el número de variables mediante análisis de componentes principales (ACP) y pruebas de χ^2 , para las variables cuantitativas y cualitativas, respectivamente. Con las CP que explicaron el 80 % de la variabilidad se llevó a cabo un análisis de conglomerados (AC) que dividió a los establecimientos en 7 grupos. Mediante un análisis de correspondencias múltiples (ACM) se identificaron asociaciones entre grupos y modalidades de las variables cualitativas. Las variables que más aportaron a la diferenciación de los grupos de SP estaban relacionadas con la producción caprina, el tamaño de la familia, las producciones avícola, agrícola, porcina y bovina, la participación en el trabajo de la familia, los ingresos por beneficios sociales, el tamaño de la finca y la tecnología adoptada. Dos grupos eran mixtos; uno con mayor actividad porcina; dos se caracterizaron por la cría de cabras para el consumo cuyos ingresos provenían de fuentes externas y dos grupos se definieron por la edad de sus productores.

Palabras clave: Indicadores económicos, indicadores productivos, indicadores socio-culturales, sistemas de producción, cabras.

Abstract

As a preliminary step to propose development strategies in the goat productive systems (SPC) of the Santa Elena province, Ecuador, the SPC were typified by means of socio-economic, productive and environmental indicators. A sample of 172 producers was surveyed on family composition and participation in work, adopted technology, communications, composition of the herd, livestock stock, land use, income, infrastructure and basic services, access to farms, technical assistance and training, off-farm work and income, management and facilities, water sources and food supplement, reproductive aspects, difficulties in the production of goats, marketing of goats. The number of proposed variables was reduced by principal component analysis (PCA) and χ^2 tests for quantitative and qualitative variables, respectively. Based on the main components that explained 80% of the variability, a conglomerate analysis (CA) was carried out, resulting in the division of the SPC into 7 groups. Through a multiple correspondence analysis (MCA), associations between groups and modalities of qualitative variables were identified. The variables that contributed most to the differentiation of SPC groups were related to goat production, family size, poultry, agricultural, pig and bovine production, participation in family work, income from social benefits, the size of the farm and the technology adopted. Two groups were mixed, one with a predominance of livestock activity and the other with agricultural activity; a group with greater swine activity; two groups were characterized by the breeding of goats for consumption, whose income came from external sources; and two groups were defined by the age of their producers.

Keywords: Economic indicators, productive indicators, socio-cultural indicators, production systems, goats.

Forma sugerida de citar: Solís Lucas, A., Lanari, M.R. y Oyarzabal, M.I. (2020). Tipificación integral de sistemas caprinos de la provincia de Santa Elena, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 31(1):82-95. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.06>.

IDs Orcid:

Ligia Araceli Solís Lucas: <http://orcid.org/0000-0002-4428-3888>

María Rosa Lanari: <http://orcid.org/0000-0002-2186-601X>

María Inés Oyarzabal: <http://orcid.org/0000-0001-5429-5789>

1 Introducción

El conocimiento de la realidad de los sistemas productivos es necesario para proponer soluciones frente a situaciones críticas, implementar planes de mejoramiento genético, evaluar el impacto ambiental de la ganadería, entre otras. La identificación de las fortalezas y debilidades permite proponer estrategias que debieran ser específicas para cada tipo de unidades de producción si existiera diversidad entre los sistemas de una región determinada (Cabrera y col., 2004; Dufumier, 1990).

Se recomienda que las alternativas de desarrollo para los sistemas productivos de subsistencia se propongan conjuntamente con los productores (Macías, 2015). Se trata de estimular el profundo interés personal por el cuidado de los animales y los cultivos; ofrecer más productos para la venta mediante un mejor uso de lo que está disponible localmente (recursos biológicos, vegetación autóctona, ganado, etc.); introducir conocimiento y tecnología junto con la valoración de las competencias, conocimientos y experiencias existentes; colaborar con los productores para que realicen mejor lo que ellos hacen (Hodges y col., 2014). Por otro lado, los sistemas de subsistencia albergan valiosos recursos zogenéticos que es necesario conservar debido a que han evolucionado en su adaptación a ambientes adversos y existen situaciones en las que se está perdiendo biodiversidad genética (Núñez-Domínguez y col., 2016; Dorji, Tamang y Dorji, 2017).

A partir del análisis del estado inicial y de la caracterización de los sistemas se puede identificar y tipificar grupos diferenciados. Se han propuesto distintos métodos para llevar a cabo la estratificación basada en un amplio rango de aspectos ambientales, productivos, económicos y sociales, que responden a diferentes objetivos. Otra forma de estratificación de los sistemas consiste en la aplicación de métodos estadísticos de agrupamiento (Robinson y col., 2011).

Los sistemas productivos caprinos (SPC) de la provincia de Santa Elena (PSE), Ecuador, son sistemas de subsistencia de bajos recursos. Santa Elena posee el mayor porcentaje de caprinos a nivel de la región costa (53%) y el 7,2% del total de las existencias del país (Sistema Nacional de Información, 2018). Como paso previo al diseño de planes

de desarrollo, se propuso probar si existe heterogeneidad entre los sistemas caprinos de la provincia. Se llevó a cabo un proceso que incluyó: relevamiento de los establecimientos, encuesta a los productores y tipificación de los sistemas productivos predominantes, mediante el uso de indicadores socio-culturales, productivos y económicos.

2 Materiales y Métodos

Santa Elena es una provincia de la costa de la República de Ecuador, ubicada al suroeste del litoral ecuatoriano. Políticamente está dividida en tres cantones: La Libertad, Salinas y Santa Elena (3.668,9 km²). Este último es el cantón más grande de la provincia, con una alta población rural. Tiene 67 comunas registradas en la Dirección Provincial Agropecuaria de Santa Elena (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018).

A partir de información oral recibida de los comuneros y del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se ubicó a 586 sistemas productivos que poseían cabras, con un total estimado de 11 977 cabezas, en las 3 zonas climáticas en las que se está dividida la provincia. Dentro de cada zona, se realizó una distribución de frecuencias del número de productores caprinos según tamaño del ható. Se estimó el número total de establecimientos a muestrear mediante la aplicación de la fórmula para muestra finita (FAO, 2012). Una vez definido el tamaño muestral total, se realizó un muestreo estratificado por zona y tamaño del ható mediante asignación proporcional.

Se diseñó una encuesta estructurada para realizar a los productores, tomando como referencia a las utilizadas por Falagan, 1988, Bedotti, 2000 y Lanari, 2004, incluyendo aspectos socio-culturales, productivos y económicos (Tablas 1, 2 y 3). Para las variables cuantitativas, se probó si existían diferencias entre las zonas agroecológicas mediante un análisis de la varianza multivariado (MANOVA). Con el propósito de disminuir el número de variables: se estimó el grado de asociación entre las 27 variables cuantitativas para definir la exclusión de aquellas variables que fueran indicativas de la misma característica ($r > 0,70$) y se realizó un análisis de componentes principales (ACP) (Peña, 2002), eligiéndose las componentes que explicaran al menos el 80% de la variabilidad total.

Tabla 1. Variables cuantitativas relacionadas con los aspectos socio-cultural, productivo y económico

Tipo de información	Variables	
Composición familiar y participación en el trabajo	Edad del productor en años	ED
	Nro. personas integrantes de la familia que viven en la misma casa	TP
	Nro. personas que trabajan exclusivamente dentro de la finca	PD
	Nro. personas que trabajan exclusivamente fuera de la finca	PF
	Nro. personas que trabajan dentro y fuera de la finca	PDF
Tecnología adoptada	Grado de conocimiento del ciclo reproductivo	GCR
	Grado de control sanitario	GCS
Comunicaciones	Distancia a la localidad con la que el productor más se comunica (km)	DL
Composición del hato (número de cabezas por categoría)	Hembras chivas	CHVA
	Hembras cabrillas	CBLA
	Hembras cabritas	CBTA
	Machos chivos	CHVO
	Machos chivitos	CHTO
	Machos cabritos	CBTO
Existencias ganaderas	Caprinas	EC
	Bovinas	EB
	Porcinas	EP
	Avícolas	EA
Uso del suelo	Hectáreas sembradas	HaS
	Superficie de la finca en hectáreas	HaF
Ingresos en \$ en el último año	Por venta de cultivos agrícolas	\$IAG
	Por venta bovina	\$IB
	Por venta caprina	\$IC
	Por venta porcina	\$IP
	Por venta avícola	\$IA
	Por otras fuentes extraprediales	\$IEX
	Por beneficios sociales	\$IBS

Con las componentes principales seleccionadas, mediante un análisis de conglomerados (AC) (Dallás, 2000), se clasificaron los sistemas productivos en grupos homogéneos; se aplicaron: el método jerárquico, la distancia euclídea y el método de Ward (Ward, 1963). Los perfiles de cada grupo (G) se describieron mediante los promedios estandarizados de todas las variables y se los representó en un gráfico radial.

Para las 77 variables cualitativas, se estimaron las frecuencias relativas para cada uno de los grupos de productores resultantes del AC y las frecuencias totales. Con el objetivo de seleccionar las variables para las cuales existirían diferencias significativas entre los grupos se realizaron pruebas χ^2 de Pearson ($p < 0,05$). Con las variables seleccionadas

se realizó un análisis de correspondencias múltiples (ACM) para identificar las asociaciones de mayor peso entre las modalidades de las variables cualitativas (Greenacre, 1984) y los grupos de productores. Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa Infostat profesional (Di Rienzo y col., 2008).

3 Resultados

A partir de la información recibida sobre el número total de productores por zona, se los distribuyó según el tamaño del hato y se estimó la muestra en 229. La asignación proporcional por zona y tamaño del hato se detalla en la Tabla 4. De estos, el 22% no fue encuestado por diversas causas: información duplicada, ausencia del productor al momento de la visita, abandono de la actividad, etc.

Tabla 2. Variables cualitativas relacionadas con los aspectos socio-cultural y económico

Datos el productor	Infraestructura, servicios básicos	Acceso a las explotaciones	Organizacional	Laboral
-Persona entrevistada (PEN)	-Tenencia de la tierra (TTI)		-Participa en alguna organización (POrg)	-Empleo extrapredial (EEE)
-Sexo (SEX)	-Pertenencia de la vivienda (PVI)		-Organización en la que participa (OPA)	-Tipo de entidad en la que trabaja (TET)
-Estado civil (ECI)	-Tipo de vivienda (TVI)	-Localidad con la que más se comunican (LCO)	-Recibe asistencia técnica (RAT)	-Tipo de empleo (TEM)
-Nivel de estudios (EDU)	-Material de construcción de la vivienda (MCV)	-Vías de acceso (VAC)	-Institución de la que recibe asistencia técnica (IRA)	-Tipo de labor que realiza (TLR)
-Seguro social (SEG)	-Estado de la vivienda (EVI)	-Tipo de carretera o camino (TCA)	-Tipo de institución (TIS)	-Posee otras fuentes extraprediales (OFE)
-Ayudante (AYU)	-Servicio de alumbrado (SAL)	-Estado de la carretera (ECA)	-Aplica técnicas (ATE)	-Procedencia de los ingresos de otras fuentes extraprediales (IOF)
-Sucesor (SUC)	-Dotación agua potable (DAP)	-Medio de transporte (MTR)	-Observó resultados (ORE)	
	-Medio de acceso agua (MAA)		-Recibe capacitación (RCA)	
	-Uso de energía para preparar los alimentos (UEN)		-Interés en recibir capacitación (IRC)	
	-Servicio de alcantarillado (ALC)			
	-Medio de alcantarillado (MAL)			
	-Acceso a la tecnología (ACT)			

No se encuestó a ninguno de los dos productores pertenecientes a la zona semi-húmeda debido a la inaccesibilidad al lugar al momento del relevamiento. Se relevaron en total 172 establecimientos, 69 en la zona seca y 103 en la zona semiárida.

Los resultados de la aplicación del MANOVA no evidenciaron diferencias significativas entre las dos zonas agroecológicas para las variables cuantitativas (Tabla 1). Por lo cual, en adelante, los análisis se presentan tomando a las dos zonas en conjunto.

De las 27 variables cuantitativas originales, se excluyeron: a) las variables relacionadas con la composición del hato dado que estaban altamente correlacionadas con EC; b) distancia a la localidad con la que el productor más se comunica por no aportar a la variabilidad total en el primer análisis ACP. Con las 20 variables restantes se realizó un segundo ACP. Las primeras 12 componentes explicaron el 87% de la variabilidad total. En base a los coeficientes de mayor peso de cada componente y a su signo se interpretaron como se describe en la Tabla 5.

El análisis de conglomerados realizado con las 12 primeras componentes principales dividió a los establecimientos productivos en 7 grupos distri-

buidos en ambas zonas agroecológicas. Más de la mitad de los establecimientos se encontraban en los G5 (23,8%) y G6 (30,2%). El menor porcentaje lo compartieron los G3 (2,3%) y G7 (4,07%). A los G1, G2 y G4 le correspondieron 14%, 17,4% y 8,1% respectivamente.

La Tabla 6 muestra los promedios de las 20 variables para cada uno de los 7 grupos y el promedio general. En la Figura 1 se representan los promedios estandarizados de las variables mediante un gráfico radial general. El círculo negro indica el valor cero o medio de cada variable estandarizada. Por ejemplo, el G3 tiene valores por encima del promedio en cuanto al trabajo familiar dentro de la finca (PD) y a los ingresos caprinos (\$IC), aunque las existencias caprinas están por debajo de la media; es el grupo con mayor producción avícola.

Se excluyó del análisis a aquellas variables cualitativas que no aportaban variabilidad dentro de los grupos y tenían una frecuencia relativa para una categoría mayor al 95% (PEN, TTI, PVI, TVI, SAL, ALC, MAL, VAC, TEM, IOF, ICA, CEC, TI, SCT, CDC, DOB, VRE, LCO, FPA). Por ejemplo, para SAL, el 100% de los productores expresaron tener servicio de alumbrado eléctrico. Las pruebas χ^2

para las 58 variables restantes evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los siete grupos para 9 de ellas (DAP, ACT, RAT, RCA, LOC, APA, MCP, OC, MPR).

Tabla 3. Variables cualitativas relacionadas con el aspecto productivo caprino

Manejo e instalaciones de las explotaciones caprinas	Fuente de agua y suplemento alimenticio	Aspecto reproductivo	Dificultades en la producción de caprinos	Comercialización de caprinos
- Lugar de origen de las cabras (LOC)	- Compra suplemento alimenticio (CSA)	- Control de la parición (CPA)	- Enfermedades (ENF)	- Producto caprino que obtiene (PCO)
- Sistema de pastoreo (SPA)	- Fuente de agua de cabras (FAG)	- Obtención de reproductores machos (ORM)	- Problemas en la producción de caprinos (PPC)	- Objetivo de cría (OCR)
- Área de pastoreo (APA)		- Dificultad para obtener reproductores (DOB)	- Para mejorar la producción le gustaría (MPR)	- Motivos de venta (MVE)
- Las cabras del vecino pastorean en el mismo lugar (CVP)		- Interés por comprar machos (ICM)		- Forma de venta del animal (FVE)
- Implementos de agua/comida que usa en el campo (ICA)		- Obtención de las reproductoras hembras (ORH)		- Venta de reproductores (VRE)
- Corral donde encierra a las cabras (CEC)				- Lugares de comercialización (LCO)
- Pertenencia del corral (PCO)				- Forma de pago (FPA)
- Ubicación del corral (UCO)				- Dificultades en la comercialización (DCO)
- Material de construcción paredes y piso (MCP)				
- Material de construcción del techo (MCT)				
- Uso de implementos en el corral para agua/comida (UI)				
- Tipo de implementos para agua/comida (TI)				
- Material de fabricación de implementos (MFI)				
- Procedencia de implementos (PI)				
- Suelta a las cabras todos los días (SCT)				
- Horario en que suelta a las cabras (HSC)				
- Encierra a las cabras todos los días (ECT)				
- Horario en que encierra a las cabras (HEC)				
- Control diario de las cabras (CDC)				
- Distancia máxima que recorren las cabras (km) (DMC)				
- Un perro ayuda con las cabras (TPC)				
- Otros corrales (OC)				

El ACM mostró que en la primera dimensión pesó el recibir asistencia técnica y capacitación (RATsi y RCAsi), en la segunda el no acceso a la tecnología (ACTno). Estas primeras dos dimensiones explicaron el 37% de la variabilidad de las variables socioculturales y de manejo. La tercera, cuarta y quinta

dimensiones estuvieron relacionadas con el interés de recibir o no capacitación, la sexta con la finca como área de pastoreo de las cabras.

3.1 Descripción general de los sistemas productivos de la península de Santa Elena

La mayoría de los dueños de los hatos caprinos son varones, con estudios de primaria (61 %) y con seguro social campesino, cuyos ayudantes en el manejo de las cabras es un familiar, sus hijos continuarían con la cría de cabras.

Los productores participan de las reuniones comunales y solo un tercio afirmó recibir asistencia técnica, la mayoría de los beneficiarios fueron aquellos productores que participaron de proyectos estatales y que introdujeron cabras de otros lugares en las dos últimas décadas. Existe un gran interés de los pequeños productores de la PSE por mejorar la producción caprina (94%), a pesar de que los mayores ingresos actuales no provienen de la producción caprina sino de otras fuentes externas. Tienen ingresos extraprediales, con empleos en empresas privadas y de forma temporaria o reciben el bono de desarrollo humano (BDH).

Los establecimientos caprinos de la PSE se encuentran en zonas comunales y con derecho de posesión con viviendas en estado regular. La totalidad de las fincas posee alumbrado eléctrico, sin alcantarillado, con acceso al agua a través de la red pública (57%). La provincia cuenta, con vías de acceso, con carreteras no asfaltadas, en mal estado, no existe transporte público.

El manejo de las cabras es a libre pastoreo, no utilizan implementos para agua y comida en el campo. Los productores poseen corrales propios, ubicados cerca de la casa, con piso de tierra y techo. En general, los productores sueltan a las cabras y las encierran cuando regresan; en invierno, los animales pueden permanecer hasta 3 meses en el campo. Las cabras obtienen su alimentación en el campo, si los productores cultivan maíz, las cabras aprovechan los rastrojos del cultivo y en algunos casos reciben restos de alimentos en las temporadas más secas. La suplementación no es una práctica común debido a los costos que implica. El consumo de agua de los caprinos proviene de fuentes naturales, no así en la época seca, en la que se ven obligados a buscar otras fuentes de agua (potable). Los machos permanecen con las hembras en el hato, hasta la

venta después de los 8 meses de edad.

No se utilizan prácticas como la castración. La mayoría de los reproductores machos son de propia producción. Se detecta a las cabras cuando están por parir, se separan y retienen en el corral. El grado de control sanitario (GCS) es muy bajo, con algún tipo de problema sanitario.

El producto que se obtiene es la carne, muy pocos obtienen leche o aprovechan el estiércol como abono; solo el 24 % cría exclusivamente para la venta, el 16 % los vende para el sustento familiar y el 84 % vende sus animales en emergencias familiares. La venta de las cabras se realiza en pie, en las casas o fincas y solo el 5 % se vende al cantón comercial de la provincia y a otras localidades, recibiendo el pago de contado. Solo el 6 % de los productores vende en raras ocasiones algún macho como reproductor.

3.2 Características específicas de los grupos de sistemas productivos caprinos de la provincia de Santa Elena (Tabla 6 y Figura 1):

Grupo 1: constituido por las familias numerosas, con el promedio más alto de personas que trabajan fuera de la finca. Poseen muy bajo conocimiento del ciclo reproductivo (CR) y control sanitario (CS), recibieron muy escasa asistencia técnica y capacitación, tienen acceso al uso de tecnología. Cuentan con las existencias ganaderas más bajas, incluidos los caprinos, y bajo número de hectáreas sembradas, están entre las fincas de menor superficie. Tienen altos ingresos extraprediales e ingresos por beneficios sociales superiores a la media.

Grupo 2: productores jóvenes, con familias de tamaño intermedio, sus integrantes dedican al menos parte de su jornada laboral al trabajo en la finca. Tienen el mayor grado de conocimiento del CR y CS, la mitad de ellos recibieron asistencia técnica y/o capacitación. Las fincas tienen la mayor superficie total y sembrada. Las existencias ganaderas están por debajo del promedio general, el 71 % corresponde a existencias caprinas. Tienen el mayor ingreso total y el mayor ingreso por venta de productos agrícolas, están entre los de más altos ingresos caprinos e ingresos externos.

Tabla 4. Número total de productores, cabras y productores a encuestar por zonas según tamaño del hato

Tamaño del hato	Número total de productores			Número de productores a encuestar		
	Zona semiárida	Zona seca	Zona semihúmeda	Zona semiárida	Zona seca	Zona semihúmeda
5-25	290	159	2	113	62	1
26-45	54	24		21	9	
46-65	15	9		6	4	
66-85	7	5		3	2	
86 y más	13	8		5	3	
Total productores/zona	379	205	2	148	80	1
Total cabras/zona	7.363	4.594	20			

Fuente: MAG, FEDECOMSE, Asociación de Capricultores, Casas Comunales, productores (Información oral)

Tabla 5. Interpretación de las doce primeras componentes principales

Componente	Interpretación	Variabilidad explicada (%)	Acumulado %
Y ₁	Producción caprina	14	14
Y ₂	Tamaño de la familia	12	26
Y ₃	Producción avícola	10	36
Y ₄	Producción agrícola vs producción porcina	9	45
Y ₅	Producción bovina	8	54
Y ₆		PD	60
Y ₇	Participación en el trabajo:	PDF	65
Y ₈		PF	70
Y ₉	Ingresos por beneficios sociales	5	75
Y ₁₀	Tamaño de la finca	4	79
Y ₁₁		GCR	83
Y ₁₂	Tecnología adoptada:	GCS	87

Grupo 3: la edad de los productores es cercana a la media, con familias numerosas que trabajan principalmente dentro de la finca. Tienen buen conocimiento del CR y escaso CS, todos los establecimientos del grupo recibieron asistencia técnica y capacitación. Sus existencias avícolas son las más altas y el número de hectáreas sembradas es de los más altos. Tienen altos ingresos por venta de productos agrícolas y caprinos, y los más altos por ventas avícolas. Tienen bajos ingresos externos.

Grupo 4: la edad de los productores está en el promedio, el tamaño de las familias es de los más pequeños, sus integrantes trabajan dentro y fuera de la finca. El grado de conocimiento del CR está por encima del promedio, a pesar de que recibieron muy escasa asistencia técnica y capacitación.

Poseen las más altas existencias porcinas y existencias caprinas medias, con superficies intermedias de hectáreas sembradas. Tienen los ingresos por venta de porcinos más elevados y los ingresos extraprediales intermedios.

Grupo 5: son los productores de mayor edad, con el más bajo número de integrantes de la familia, que trabajan fundamentalmente dentro de la finca. El grado de conocimiento del CR es cercano a la media, pero el CS es de los más bajos. Recibieron escasa asistencia técnica y capacitación. Son los que tienen menor acceso a la tecnología. Las existencias pecuarias son bajas, pero tienen existencias caprinas medias. El número de hectáreas sembradas es el más bajo, es el segundo grupo con mayor tamaño de la finca. Los ingresos por beneficios sociales

(BDH) son los más altos y los ingresos extraprediales son los más bajos.

Tabla 6. Promedios por grupos de establecimientos

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	Promedio general
ED	55,1	49,5	57,7	57,3	71,6	46,4	55,3	56,1
TP	6,75	4,97	5,00	3,71	2,80	4,81	3,43	4,50
PD	1,68	1,65	3,13	1,52	1,43	2,12	1,57	1,87
PF	1,14	0,08	0,00	0,39	0,02	0,02	0,14	0,26
PDF	0,78	0,66	0,35	0,40	0,24	0,39	0,50	0,47
GCR	2,83	5,20	4,25	4,50	4,02	4,12	5,00	4,27
GCS	0,88	2,90	1,50	1,71	1,49	1,90	2,57	1,85
EC	11,5	24,6	21,0	24,1	25,8	16,1	54,6	25,40
EB	1,04	4,07	0,25	1,79	1,83	0,48	31,3	5,82
EP	0,42	1,23	3,50	10,6	0,49	0,65	4,29	3,02
EA	3,13	4,57	76,2	8,07	0,61	2,23	3,86	14,10
HaS	0,96	2,89	1,63	1,00	0,51	0,80	0,71	1,210
HaF	3,54	8,48	5,00	4,54	6,76	2,01	7,71	5,43
\$IAG	412	1941	1147	277	110	333	1091	759
\$IB	25,4	52,7	0,00	42,9	7,32	5,00	607	105
\$IC	41,2	225	355	164	175	84,4	355	199
\$IP	0,00	12,3	50,0	396	0,00	12,9	146	88,2
\$IA	4,08	9,33	540	22	0,00	3,85	0,00	82,7
\$IEX	2316	2222	690	2039	472	2688	1522	1707
\$IBS	551	481	450	429	759	404	429	500
∑ing	3350	4945	3232	3370	1524	3531	4150	3443
∑Ex	16,1	34,4	101	44,6	28,8	19,4	94	48,3

ED: edad del productor, **TP:** número personas integrantes de la familia que viven en la misma casa, **PD:** número personas que trabajan exclusivamente dentro de la finca, **PF:** número personas que trabajan exclusivamente fuera de la finca, **PDF:** nro. personas que trabajan dentro y fuera de la finca, **GCR:** grado de conocimiento del ciclo reproductivo, **GCS:** grado de control sanitario, **EC:** existencias caprinas, **EB:** existencias bovinas, **EP:** existencias porcinas, **EA:** existencias avícolas, **HaS:** hectáreas sembradas, **HaF:** superficie de la finca en hectáreas, **\$IAG:** total venta de cultivos agrícolas, **\$IB:** total venta bovina, **\$IC:** total venta caprina, **\$IP:** total venta porcina, **\$IA:** total venta avícola, **\$IEX:** ingresos por otras fuentes extraprediales, **\$IBS:** ingresos por beneficios sociales, **∑ing:** ingresos totales, **∑Ex:** existencias totales.

Grupo 6: son los productores más jóvenes, con tamaño de familia intermedio y alto número de personas que trabajan dentro de la finca. El conocimiento del CR y CS están cercanos a la media, recibieron poca asistencia técnica o capacitación. Son las fincas de mayor superficie, la superficie sembrada es de las más bajas y tienen bajas existencias ganaderas. Poseen los ingresos extraprediales más altos y los más bajos por beneficios sociales.

Grupo 7: son productores de edad media, familias pequeñas, cuyos integrantes trabajan dentro y fuera de la finca. Tienen alto grado de conocimiento

del CR y muy alto CS, tienen acceso a la tecnología. Recibieron asistencia técnica y capacitación. Es el segundo grupo en existencias ganaderas, tienen las más altas existencias caprinas y bovinas, y existencias porcinas intermedias, están dentro de las fincas con mayor superficie. Es el grupo con mayores ingresos por venta de bovinos y caprinos, y tiene uno de los ingresos más altos por venta de porcinos. Es el segundo grupo con altos ingresos totales.

4 Discusión

La tipificación de los sistemas productivos caprinos de la PSE permitió definir características comunes a los 172 establecimientos e identificar la heterogeneidad presente clasificándolos en 7 grupos, distribuidos de manera homogénea por toda la provincia. Se encontraron 2 grupos mixtos, uno con predominancia de la actividad pecuaria (G3) y otro de la ac-

tividad agrícola (G2); un grupo dedicado más a la actividad pecuaria porcina (G4); 2 grupos definidos por la cría de cabras para el consumo cuyos ingresos provienen de fuentes externas (G1 y G6); y otros 2 grupos definidos por la edad de sus productores, cuyos ingresos provienen para el grupo de mayor edad de los beneficios sociales (G5) y para el grupo más joven de ingresos externos (G6).

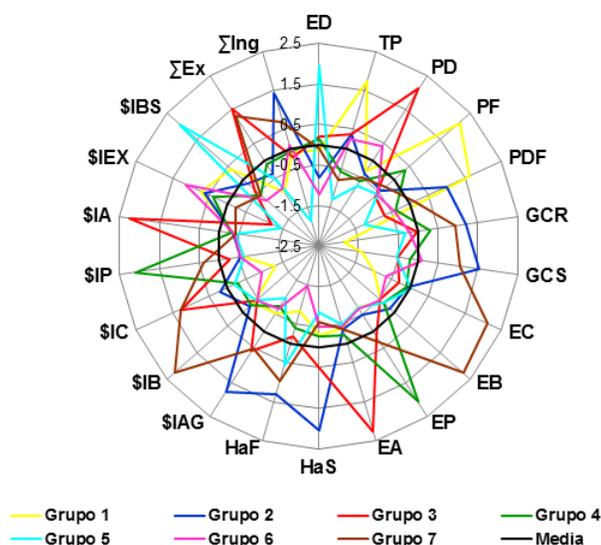


Figura 1. Perfiles de los siete grupos de sistemas productivos.

En otras regiones se utilizaron variables similares para tipificar establecimientos (Coronel de Renolfi, M. and Ortuño, S., 2005; Costa y col., 2008; Garcia y col., 2010; Hernández y col., 2011; Gómez, 2013; Hernández y col., 2013; Chivangulula y col., 2014; Umunna, Olafadehan y Arowona, 2014; Barboza, 2018). En este trabajo se incluyeron, además, los ingresos con el propósito de identificar diferentes estrategias de subsistencia.

Los establecimientos caprinos de la PSE están asentados en el área rural, en terrenos comunales con derecho de posesión. En otros países se encontraron otras formas de tenencia de la tierra: propiedad, comodato, ocupantes o localizados en tierras fiscales (Hernández y col., 2011; Vargas y col., 2014; Torres, 2014; Bedotti, 2000).

El nivel de educación es un aspecto de impor-

tancia a resaltar si se quieren llevar adelante programas específicos que ayuden a mejorar la producción caprina. El 61% de los productores de la PSE concluyeron la escuela primaria. Estos resultados difieren con lo reportado en otros países, donde más del 60% de los productores no tenían estudios (Serrano, 2010; Falagan, 1988; Luque, 2011; Bedotti y col., 2005; Gómez, 2013; Fikru y Gebeyew, 2015; Hagos y col., 2016).

La continuidad en la crianza de las cabras por parte de los hijos de los propietarios, manifestado en el 62% de las encuestas, es otro aspecto a resaltar pues deja abierta la posibilidad de proponer estrategias a más largo plazo. Este porcentaje es superior al 42% de la región de Murcia, España (Falagan, 1988), pero inferior al 80% o más de otros lugares (Bedotti, 2000; Luque, 2011; Gómez, 2013).

El 97% de los sistemas de la PSE son sistemas familiares, el propietario/a es quien se ocupa del cuidado de los caprinos, sin contratación de personal asalariado. Si bien la mayoría eran hombres (63%), el 37% de participación de las mujeres en la crianza caprina es muy superior al 20% de sistemas de México y Etiopía (Serrano, 2010; Tsegaye, 2009; Hagos y col., 2016). La presencia de la mujer en las actividades caprinas podría estar relacionada con el tipo de animal que se cría y con la habilidad para su manejo (Serrano, 2010).

De acuerdo a la clasificación de sistemas caprinos realizada por Devendra, 2015, los sistemas de la PSE se categorizan como extensivos y de libre pastoreo. No se encontró que los propietarios arrienden fincas o terrenos para el uso exclusivo de sus animales. Esto es similar a lo mencionado en Venezuela, Colombia, Perú y Etiopía (Valerio y col., 2010; Guerrero y col., 2012; Gómez, 2013; Hagos y col., 2016); pero diferente a otros lugares donde se arriendan terrenos para el pastoreo (Carné, Roig y Jordana, 2007).

El promedio general de cabras por hatos en la PSE es 25. El bajo número se podría explicar por: a) el robo y la depredación; b) el objetivo de cría: solo el 25% de los productores vende sus animales para satisfacer parte de sus necesidades básicas, el resto los cría como medio de ahorro; c) la baja incorporación de tecnología y escasa asistencia técnica que genera bajos ingresos como en otras regiones (Costa y col., 2008; Valerio y col., 2010; Hernández y col., 2011; Navarro, Fernández y Perezgrovas, 2011; Gómez, 2013); d) la tenencia de la tierra ajena o comunal (Bellido y col., 2001).

Los ingresos anuales para los 7 grupos son variables, con un promedio mensual de \$287. Todos los grupos están muy por debajo de satisfacer las necesidades básicas mensuales de los productores dado que, de acuerdo al INEC, la canasta familiar básica mensual (CFB) al momento de este estudio tenía un valor de \$425.

Los sistemas caprinos de la PSE poseen características de sistemas rurales familiares, con una economía de subsistencia, con menos de 25 cabras por hatos, con ingresos mensuales que no les permiten tener acceso a la canasta básica familiar y, por lo tanto, no cubren las necesidades básicas de los productores y sus familias. Se asimilan a la categoría

de marginal propuesta por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010 y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018. Sin embargo, poseen conocimientos y experiencias adquiridas en el tiempo, en el manejo y cuidado de la biodiversidad. El manejo de esta biodiversidad adquirido a lo largo de años, al igual que un conjunto de conocimientos y prácticas, que no es fácil de describir, no debería desaparecer (Jarvis, Padoch y Cooper, 2011). Pues a pesar de la poca disponibilidad de activos y de los bajos niveles de productividad, la agricultura familiar es un importante proveedor de alimentos básicos de consumo popular (FAO/BID, 2007; Hodges y col., 2014).

5 Conclusiones

Por primera vez se ha tipificado a los sistemas productivos caprinos de la provincia de Santa Elena. Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que existe heterogeneidad entre los sistemas caprinos santaelenenses y constituyen un aporte a para tener en cuenta cuando se quiera planificar opciones para potenciar su desarrollo.

Agradecimientos

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), sin cuyo apoyo económico, este trabajo no se hubiera realizado.

A los productores caprinos, quienes nos facilitaron toda la información y permitieron entrar en sus corrales.

Referencias

- Barboza, M. (2018). «Caracterización de los sistemas de producción caprinos en la Región Huasteca Norte de Costa Rica». Costa Rica: Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Online: <https://bit.ly/2GQIZ87>.

- Bedotti, D. (2000). «Caracterización de los sistemas de producción caprina en el Oeste pampeano (Argentina)». Tesis Doctoral. Córdoba, España: Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. Online: <https://bit.ly/36ZEQZU>.
- Bedotti, D. y col. (2005). «Aspectos sociológicos de los sistemas de producción caprina en el Oeste Pampeano (Argentina)». En: *Archivos de zootecnia* 54.208, 599-608. Online: <https://bit.ly/2KULJFr>.
- Bellido, M. y col. (2001). «Sistemas extensivos de producción animal». En: *Archivos de Zootecnia* 50.192, 465-489. Online: <https://bit.ly/2GEdqOL>.
- Cabrera, D. y col. (2004). «Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos». En: *Documentos de trabajo 1. Dpto. Producción Animal. Universidad de Córdoba 1*, Online: <https://bit.ly/2UU6TrW>.
- Carné, S., N. Roig y J. Jordana (2007). «La cabra Blanca de Rasquera: Caracterización estructural de las explotaciones». En: *Archivos de Zootecnia* 56.213, 43-54. Online: <https://bit.ly/2W49Wu5>.
- Chivangulula, M. y col. (2014). «Characterization of the livestock production cooperative systems in the municipality of Caála, Huambo province, Republic of Angola». En: *Cuban Journal of Agricultural Science* 48.2, 97. Online: <https://bit.ly/2Wi0LGR>.
- Coronel de Renolfi, M. and Ortuño, S. (2005). «Tipificación de los sistemas productivos agropecuarios en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina». En: *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de economía* 36.140, 64-88. Online: <https://bit.ly/2ZtrCib>.
- Costa, R. y col. (2008). «Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região semi-árida do estado da Paraíba, Brasil». En: *Archivos de Zootecnia* 57.218, 195-205. Online: <https://bit.ly/2L05DPo>.
- Dallas, E. (2000). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. México: International Thomson Editores.
- Devendra, C. (2015). «Dynamics of Goat Meat Production in Extensive Systems in Asia: Improvement of Productivity and Transformation of Livelihoods». En: *Agrotechnology* 4.1, 131. Online: <https://bit.ly/38Z81xP>.
- Di Rienzo, J. y col. (2008). *InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat*. Ed. por Argentina FCA Universidad Nacional de Córdoba.
- Dorji, J., S. Tamang y T. Y. Dorji (2017). «Decline of Jakar sheep population in pastoral communities of Bhutan: A consequence of diminishing utility, alternate income opportunities and increasing challenges». En: *Policy and Practice* 7.4, Online: <https://bit.ly/2EEVy19>.
- Dufumier, M. (1990). «Importancia de la tipología de unidades de producción agrícolas en el análisis de diagnóstico de realidades agrarias». En: *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Ed. por Germán Escobar y Julio Berdegué. Santiago de Chile: Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción - RIMISP, 63-81. Online: <https://bit.ly/392KjAV>.
- FAO (2012). *Phenotypic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 11*. Rome. URL: <https://bit.ly/2W5FnEv>.
- FAO/BID (2007). *Políticas para la agricultura familiar en América Latina. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. URL: <https://bit.ly/2CvcUzO>.
- Falagan, A. (1988). *Caracterización productiva de la raza caprina murciana-granadina en la región de Murcia. Aspectos técnicos y sociales*. Inf. téc. 63. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA. Colección Monografías INIA., pág. 103.
- Fikru, S. y K. Gebeyew (2015). «Sheep and Goat Production Systems in Degehabur Zone, Eastern Ethiopia: Challenge and Opportunities». En: *Advances in Dairy Research* 3.2, 134. Online: <https://bit.ly/2QkZiPa>.
- García, A. y col. (2010). «Caracterización estructural de los sistemas ganaderos de las dehesas andaluzas». En: *Archivos de Zootecnia* 59.228, 577-588. Online: <https://bit.ly/2DBCYKp>.
- Gómez, N. (2013). «Caracterización estructural, morfológica y genética de la población de cabras autóctonas de la región Apurímac del Perú». Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Facultad de Veterinaria. Departamento de Ciencia Animal. Online: <https://bit.ly/2QJoCgT>.
- Greenacre, M. (1984). *Theory and Applications of Correspondence Analysis*. London: Academic Press.

- Guerrero, L. y col. (2012). «Caracterización de los sistemas de producción caprinos presentes en el municipio de Jordán, Santander, Colombia». En: *AICA* 2, 171-174. Online: <https://bit.ly/2Wh6kFv>.
- Hagos, G. y col. (2016). «On-Farm phenotypic characterization of Begait goat and their production system in Western Zone of Tigray, Ethiopia». En: *International Journal of Research and Innovation in Earth Science* 3.1, 15-20. Online: <https://bit.ly/2Zw1tE>.
- Hernández, J. y col. (2011). «Caracterización socio-económica y productiva de unidades caprinas familiares en la Mixteca Poblana. Redalyc, Sistema de Información Científica, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal». En: *Archivos de Zootecnia* 60.230, 175-182. Online: <https://bit.ly/2Dy2ccN>.
- Hernández, P. y col. (2013). «Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del Sur del Estado de México». En: *Universidad y Ciencia, Trópico húmedo* 29.1, 19-31. Online: <https://bit.ly/2voDOWB>.
- Hodges, J. y col. (2014). «Globalisation and the sustainability of farmers, livestock-keepers, pastoralists and fragile habitats». En: *Biodiversity* 15.2-3, 109-118. Online: <https://bit.ly/35qpCeZ>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). *Fascículo Santa Elena*.
- Jarvis, D., C. Padoch y D. Cooper (2011). *Manejo de la agrobiodiversidad en los ecosistemas agrícolas*.
- Lanari, M. R. (2004). «Variación y diferenciación genética y fenotípica de la cabra criolla Neuquina en relación con su sistema rural campesino». Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Centro Regional Universitario Bariloche. Universidad Nacional del Comahue. Online: <https://bit.ly/35o5WZs>.
- Luque, C. (2011). «Caracterización y evaluación de las razas caprinas autóctonas españolas de orientación cárnica». Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Departamento de Producción Animal España. Online: <https://bit.ly/2DBkKZI>.
- Macías, A. (2015). «Propuesta de mejoramiento en la gestión de pequeños productores caprinos en Capitanejo, Santander». Doctoral dissertation. Universidad Nacional de Colombia-Bogotá. Online: <https://bit.ly/2VjniFX>.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018). *Entrega de Nombramiento a los Cabildos Comunales electos para el periodo 2018*. Online: <https://bit.ly/2kFfT3j>.
- Navarro, M., G. Fernández y R. Perezgrovas (2011). «Characterization of Majorera goat production systems in the Canary Islands. In Bernués A. (ed.), Boutonnet J.P. (ed.), Casasús I. (ed.), Chentouf M. (ed.), Gabiña D. (ed.), Joy M. (ed.), López-Francos A. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.), Pacheco F. (ed.). Economic, social and environmental sustainability in sheep and goat production systems. Zaragoza: CIHEAM /FAO/CITA-DGA. 205-210». En: *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens* 100, Online: <https://bit.ly/2vjW8A3>.
- Núñez-Domínguez, R. y col. (2016). «La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos Criollos, base para enfrentar los desafíos de la producción animal». En: *Archivos de Zootecnia* 65.251, 461-468. Online: <https://bit.ly/2QPVGaE>.
- Peña, D. (2002). *Análisis de Datos Multivariante*. España: Mc Graw-Hill.
- Robinson, T. P. y col. (2011). «Global livestock production systems». En: *FAO & ILRI*, Online: <https://bit.ly/35i8cBf>.
- Serrano, M. (2010). «Análisis del sistema de producción de cabras con fines lecheros en la región de Libres, Puebla». Tesis de Maestría. México: Colegio de Postgraduados. Online: <https://bit.ly/2QkXdD4>.
- Sistema Nacional de Información (2018). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ES-PAC) 2004-2013*. URL: <https://bit.ly/2IIMHIY>.
- Torres, P. (2014). «Caracterização e modelagem dos sistemas de produção de caprinos leiteiros». Tesis de maestría. Macaíba/RN – Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Online: <https://bit.ly/2L0S1IS>.
- Tsegaye, T. (2009). «Characterization of goat production systems and on-farm evaluation of the growth performance of grazing goats supplemented with different protein sources in Metema Woreda, Amhara region, Ethiopia». M.Sc. Thesis, Science in Agriculture (Animal Nutrition). Haramaya University. Department of Animal Science, School of Graduate Studies. Online: <https://bit.ly/2UCIKL6>.
- Umunna, M., O. Olafadehan y A. Arowona (2014). «Small ruminant production and management systems in urban area of Southern Guinea Savannah of Nigeria». En: *Asian Journal of Agriculture*

- ture and Food Science 2.2, 107-114. Online: <https://bit.ly/2Zlh8hW>.
- Valerio, D. y col. (2010). «Caracterización Estructural del Sistema Ovino-Caprino de la Región noroeste de República Dominicana». En: *Archivos de Zootecnia* 59.227, 333-343. Online: <https://bit.ly/2QliPIy>.
- Vargas, J. y col. (2014). «Caracterización de los sistemas de producción caprina en el municipio de Aratocha, Santander sobre la cuenca del río Chicamocha». En: *AICA* 4, 234-236. Online: <https://bit.ly/2vj794B>.
- Ward, H. (1963). «Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function». En: *Journal of the American Statistical Association* 58, 236-244. Online: <https://bit.ly/2ZwusFX>.



META-ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INCLUSIÓN ALIMENTICIA DE GLUTAMINA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN LECHONES

META-ANALYSIS OF THE EFFECT OF GLUTAMINE DIETARY INCLUSION ON PRODUCTIVE PERFORMANCE IN PIGLETS

Jimmy Rolando Quisirumbay Gaibor 

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Central del Ecuador, Av. Universitaria, Quito, 170129, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jrquisirumbay@uce.edu.ec

Manuscrito recibido el 21 de abril de 2019. Aceptado, tras revisión, el 24 de enero de 2020. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

La glutamina no es considerada un aminoácido esencial; sin embargo, juega un rol importante en la salud y crecimiento de neonatos y adultos. En lechones el destete genera atrofia de las vellosidades intestinales y retraso en el crecimiento. Varios trabajos han demostrado que la suplementación de glutamina (0,2-2%) disminuye los efectos adversos del estrés post-destete en lechones. El objetivo de este manuscrito fue evaluar el tamaño de efecto de la suplementación de glutamina sobre el rendimiento productivo de lechones, la consistencia de su efecto y la influencia de otros factores mediante el uso de meta-análisis. La administración de glutamina mejora la conversión alimenticia ($p < 0,001$), y los lechones que reciben glutamina convierten mejor el alimento cuando la suplementación duró entre 7 a 14 días ($p = 0,0023$), pues requieren 121,6 g menos de alimento en comparación con el grupo control para hacer 1 kg de peso vivo. Cuando la suplementación se realiza por un periodo de 15 a 30 días y 7 a 30 días, el ahorro de alimento es de 70,6 g ($p < 0,001$) y 87,3 g ($p < 0,001$) por kg de peso vivo respectivamente. La ganancia diaria de peso es superior en 20,3 g/día ($p = 0,0029$) frente al grupo control entre los 7 a 30 días de suplementación y de 28,2 g/día ($p = 0,0002$) entre los 15 a 30 días. La edad y peso del lechón al inicio de la suplementación, el nivel de lisina, la proteína cruda y el número de repeticiones por tratamiento influyen en el efecto de la glutamina sobre las variables evaluadas.

Palabras clave: nutrición, dieta, nutrientes, aminoácidos, cerdos.

Abstract

Glutamine is not considered an essential amino acid; however, it plays an important role in the health and growth of neonates and adults. In piglets, weaning generates atrophy of the intestinal villi and growth retardation. Several studies have shown that glutamine supplementation (0.2-2%) decreases the adverse effects of post-weaning stress in piglets. The aim of this article was to evaluate the effect size of glutamine supplementation on the productive performance of piglets, the consistency of their effect and the influence of other factors through the use of meta-analysis. The administration of glutamine improves the feed conversion ($p < 0.001$), the piglets that receive glutamine convert the feed better when the supplementation lasted between 7 to 14 days ($p = 0.0023$), since they require 121.6 g less of feed in comparison with the control group to make 1 kg of body weight. When the supplementation is done for a period of 15 to 30 days and 7 to 30 days, the saving of feed is 70.6 g ($p < 0.001$) and 87.3 g ($p < 0.001$) per kg of body weight, respectively. The daily weight gain is higher in 20.3 g/day ($p = 0.0029$) compared to the control group between 7 to 30 days of supplementation and 28.2 g/day ($p = 0.0002$) between 15 to 30 days. Age and weight of the piglet at the beginning of the supplementation, level of lysine, crude protein and the number of repetitions per treatment influence on the effect of glutamine on the variables evaluated.

Keywords: nutrition, diet, nutrients, amino acids, pigs.

Forma sugerida de citar: Quisirumbay Gaibor, J.R. (2020). Meta-análisis del efecto de la inclusión alimenticia de glutamina sobre el desempeño productivo en lechones. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 31(1):96-107. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.07>.

IDs Orcid:

Jimmy Rolando Quisirumbay Gaibor: <https://orcid.org/0000-0003-1612-8503>

1 Introducción

El destete, el estrés por transporte y el estrés térmico tienen el potencial de incrementar la incidencia de enfermedades, especialmente cuando estos ocurren simultáneamente (Varley y Wiseman, 2001). Durante el proceso de destete, el estrés puede ser inducido por la separación del lechón de la madre, la reubicación y la mezcla de camadas, adicionalmente pueden existir cambios bruscos en la dieta que reducen o eliminan el consumo de alimento en las primeras horas de vida (Wijtten, Meulen y Verstegen, 2011; Campbell, Crenshaw y Polo, 2013). El estrés durante el destete altera el desarrollo de las funciones de barrera del tracto gastro-intestinal que conduce a consecuencias perjudiciales permanentes para la salud intestinal durante la vida del cerdo (Moeser, Pohl y Rajput, 2017; Pluske, Turpin y Kim, 2018). Para combatir los efectos negativos del destete sobre la salud del lechón se han implementado varias estrategias entre las cuales se encuentra el manejo de la edad del destete, el acondicionamiento ambiental, la manipulación nutricional y el uso de antibióticos a través de la dieta (Lalles y col., 2007; Gresse y col., 2017; Solà-Oriol y Gasa, 2017). En particular, los antibióticos en la dieta pueden permitir al lechón destetado reducir la carga patógena y promover el crecimiento (Cromwell, 2002). Sin embargo, su uso está siendo limitado debido a la posible contribución de los antibióticos al desarrollo de líneas de bacterias resistentes a los antibióticos (Smith y col., 2010).

La suplementación dietaria de glutamina disminuye los problemas de salud, previene la atrofia intestinal, mantiene el estatus antioxidante, disminuye la incidencia de diarreas, lo que resulta en un incremento de la ganancia de peso y mejora de la eficiencia alimenticia (Haynes y col., 2009; Zhong y col., 2011; Wang y col., 2014; Watford, 2015). También se han reportado resultados similares en pollos de engorde (Nassiri Moghaddam y Alizadeh-Ghamsari, 2013; Jazideh y col., 2014; Nascimento y col., 2014; Manvailer y col., 2015; Muro y col., 2015; Olubodun y col., 2015; Ribeiro Jr y col., 2015; Luquetti y col., 2016; Maiorka y col., 2016; Namroud y col., 2017). La glutamina es el combustible prefe-

rido de las células intestinales y del sistema inmune (Horio y col., 2008; Sakiyama y col., 2009; Zhong y col., 2012), la suplementación de este aminoácido tiene por objetivo mantener la función intestinal a través del destete (Curi y col., 2007). Diferentes investigaciones demuestran que la glutamina es un aminoácido abundante en los fluidos fisiológicos y en las proteínas corporales y es un regulador de la expresión genética (Wu y col., 2011; Xi y col., 2011). La glutamina sirve como un sustrato energético para las células de rápida división y la construcción de polipéptidos y proteínas (Rhoads y Wu, 2009), y es un precursor esencial de moléculas bioactivas (Boza y col., 2000). La producción endógena de Gln en mamíferos es insuficiente durante condiciones adversas y existe evidencia que la suplementación de Gln puede ser necesaria en la alimentación de animales jóvenes durante estados de mal nutrición (Wu, Meier y Knabe, 1996; Chamorro y col., 2010).

Existen numerosos trabajos en los cuales se ha investigado la suplementación dietaria de glutamina con la finalidad de mejorar el desempeño productivo del lechón. Sin embargo, varios han sido los niveles de inclusión dietaria y las circunstancias experimentales bajo las cuales se han desarrollado estos estudios. El objetivo de este manuscrito fue evaluar el tamaño de efecto de la suplementación de Gln sobre el rendimiento productivo de lechones, la consistencia de su efecto y la influencia de otros factores mediante el uso de la herramienta estadística de meta-análisis.

2 Materiales y métodos

2.1 Fuente de Información (datos)

Se realizó una búsqueda electrónica de artículos científicos en revistas indexadas con revisión doble ciego en las siguientes bases electrónicas: CAB direct, Elsevier biobase-CABS, Google Scholar, MEDLINE, PubMed, Science Direct (Journal), Scopus, Academic Search Complete, CAB Abstract, Directory of Open Access Journals. Se utilizó una combinación de palabras clave: glutamina, aminoácidos, dieta, alimento, nutrición, lechones, destete y sus equivalentes en inglés, sin restricciones de fecha.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos (covariables)

	Promedio	Mínimo	Máximo	Moda
Nivel de inclusión de Gln en alimento (%)	0,96	0,20	2,00	1,00
Duración de la suplementación (días)	16,34	7,00	30,00	14,00
Peso vivo (kg) inicio de la suplementación	6,34	4,96	9,22	5,78
Edad inicio de la suplementación (kg)	22,91	17,00	28,00	21,00
Nivel de lisina en la dieta (%)	1,33	1,17	1,60	1,30
Nivel de PC en la dieta (%)	21,32	18,08	23,74	21,09
N° repeticiones/tratamiento	5,42	2,00	12,00	3,00
N° repeticiones/control	5,39	2,00	12,00	3,00

PC= proteína cruda

2.2 Criterios de Inclusión

Se seleccionaron aquellos artículos en los cuales se administró glutamina exclusivamente a través de la dieta y en lechones. Los artículos debían incluir información respecto al número de unidades experimentales (repeticiones) por tratamiento; los experimentos debían incluir al menos 2 tratamientos (incluyendo el grupo control: sin Gln), peso vivo y edad del lechón al inicio del periodo de estudio, ni-

vel de glutamina suplementado a través del alimento y duración de la suplementación, nivel de lisina y proteína cruda en el alimento utilizado (covariables). Además, debía incluir al menos una de las variables respuesta de interés: ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario promedio de alimento (CDPA) y conversión alimenticia (CA). Debían incluir media (promedio) y alguna medida de variación (desviación estándar (SD), error estándar (SE)).

Tabla 2. Resumen de las variables respuesta en los parámetros productivos

Parámetro productivo	Meta-análisis	Resumen variable respuesta			
		Tratamiento		Control	
		Media	SD	Media	SD
GDP (kg/día)	7 a 30 días	0,22	0,12	0,20	0,11
	7 a 14 días	0,16	0,10	0,15	0,09
	15 a 30 días	0,31	0,10	0,29	0,10
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	0,33	0,17	0,33	0,15
	7 a 14 días	0,25	0,12	0,26	0,10
	15 a 30 días	0,46	0,16	0,44	0,14
CA (kg/kg)	7 a 30 días	1,81	0,89	1,94	1,12
	7 a 14 días	1,98	1,08	2,14	1,37
	15 a 30 días	1,51	0,28	1,61	0,32

SD= desviación estándar

2.3 Análisis Estadístico

Se localizaron un total de 13 artículos científicos que cumplieron con los criterios de inclusión anteriormente mencionados (Wu, Meier y Knabe, 1996; Lee y col., 2003; Domeneghini y col., 2004; Zhou y col., 2006; Zou y col., 2006; Abreu y col., 2010; Hsu y col., 2010; Shan y col., 2012; Xiao y col., 2012; Wang y col., 2014; He y col., 2016; Duttlinger y col., 2019). De todos los 13 manuscritos se extrajeron los datos de las variables de interés, es importante mencionar que la técnica de meta-análisis considera a todos los artículos que cumplen los criterios de inclusión (13) y no realiza un muestreo de los mismos, pues uno de sus propósitos es tener un n (número de repeticiones) lo más grande posible. Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó MIX 2.0 Pro en Microsoft Excel (Bax, 2016). Se determinó el tamaño del efecto de la suplementación de glutamina por diferencia de medias (DM) entre el grupo tratamiento y el control, con intervalos de confianza al 95%. La heterogeneidad se evaluó por medio del índice de inconsistencia (I^2) (Cochran, 1954; Higgins y Thompson, 2002). En caso de existir heterogeneidad se realizaron meta-regresiones con la finalidad

de explicar el origen de dicha variabilidad (Borenstein y col., 2011).

Se utilizó un modelo de efectos aleatorios según las recomendaciones de Sauvant y col., (2008). Se ejecutaron 9 meta-análisis a partir de los 13 artículos científicos (n= 1902 animales). Las variables analizadas fueron ganancia diaria de peso, consumo diario promedio de alimento y conversión alimentaria. En cada variable se realizaron 3 meta-análisis según la duración de la suplementación de glutamina: de 7 a 30 días, de 7 a 14 días y de 15 a 30 días. Este trabajo de investigación no siguió los protocolos establecidos por PRISMA-P (Moher y col., 2015) pues estos han sido desarrollados para estudios en humanos. Este estudio de meta-análisis sigue una metodología propia de estudios en ciencia animal, como se detalla en varios artículos publicados en los cuales se utilizó meta-análisis en nutrición porcina (Apple y col., 2007; Kiefer y Sanches, 2009; Sales, 2011; Andretta y col., 2012; Létourneau-Montminy y col., 2012; Remus y col., 2015; Hung y col., 2017; Metzler-Zebeli y col., 2012; Torres-Pitarch y col., 2017; Zeng, Shurson y Urriola, 2017; Torres-Pitarch y col., 2019).

Tabla 3. Tamaño de efecto de la suplementación de glutamina

Parámetro productivo	Meta-análisis	Tamaño de efecto			
		MD	IC		<i>p</i>
GDP (kg/día)	7 a 30 días	0,0203	0,0070	0,0336	0,0029
	7 a 14 días	0,0146	-0,0041	0,0332	0,1252
	15 a 30 días	0,0282	0,0133	0,0431	0,0002
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	0,0058	-0,0052	0,0168	0,3023
	7 a 14 días	-0,0033	-0,0128	0,0063	0,5030
	15 a 30 días	0,0237	0,0024	0,0450	0,0295
CA (kg/kg)	7 a 30 días	-0,0873	-0,1271	-0,0474	0,0000
	7 a 14 días	-0,1216	-0,1999	-0,0433	0,0023
	15 a 30 días	-0,0706	-0,1120	-0,0290	0,0008

MD= diferencia de medias

IC= intervalo de confianza

p = valor de probabilidad

3 Resultados

En la Tabla 1 se resumen los principales estadísticos descriptivos calculados (covariables) a partir de los 13 artículos de investigación utilizados. Las variables respuesta GDP, CDPA y CA en cada uno de los periodos evaluados se presentan en la Tabla 2.

El tamaño medio del efecto (expresado en diferencia de medias) de la suplementación de Gln en lechones sobre el rendimiento productivo se presentan en la Tabla 3. Los resultados del índice de inconsistencia, y la prueba de heterogeneidad entre estudios se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice de inconsistencia

Parámetro productivo	Meta-análisis	I^2 (%)
GDP (kg/día)	7 a 30 días	81,78
	7 a 14 días	87,40
	15 a 30 días	36,87
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	48,75
	7 a 14 días	20,76
	15 a 30 días	45,79
CA (kg/kg)	7 a 30 días	21,20
	7 a 14 días	42,33
	15 a 30 días	0,00

Los resultados de las meta-regresiones para determinar la influencia de cada una de las covariables sobre las variables productivas de interés en cada periodo se presentan en la Tabla 5 (nivel de inclusión de Gln y duración de suplementación); Tabla 6 (peso vivo y edad al inicio de la suplementación); Tabla 7 (nivel de lisina y proteína cruda en la dieta) y Tabla 7 (número de repeticiones).

4 Discusión

La glutamina sirve como una fuente de energía para el crecimiento de los enterocitos y reduce la atrofia yeyunal y el daño en el epitelio intestinal (Wang y col., 2014; Wang y col., 2015). Los lechones que reciben suplementación alimenticia de Gln mejoran la protección de la barrera intestinal, lo cual conduce a una mayor resistencia a los patógenos (Peng y col., 2004), e incremento de la actividad de las enzimas digestivas (Shan y col., 2012), consecuentemente a un mayor aprovechamiento de nutrientes y una mejora en el desempeño productivo (Jiang y col., 2009; Johnson y Lay Jr, 2017). Lo anterior se puede comprobar en el presente trabajo de investigación, pues se encontró que la suplementación alimenticia de Gln mejora ($p < 0,001$) la conversión alimenticia en lechones en cualquiera de los periodos evaluados. Destaca que los lechones que reciben Gln convierten mejor el alimento cuando la suplementación duró entre 7 a 14 días ($DM = -0,1216$; $p = 0,0023$). Los lechones suplementados requieren 121,6 g me-

nos alimento en comparación con el grupo control para hacer 1 kg de peso vivo entre 7 a 14 días. Cuando la suplementación se realizó por un periodo más largo (15 a 30 días) el ahorro de alimento es de 70,6 g para hacer un kg de peso vivo y 87,3 g cuando la Gln se suplementó entre 7 a 30 días.

Respecto a la ganancia diaria de peso, se observa que la Gln provoca un aumento de ganancia de 20,3 g/día ($p = 0,0029$) sobre la GDP del grupo control entre los 7 a 30 días de suplementación y de 28,2 g/día ($p = 0,0002$) entre 15 a 30 días. La variable CDPA únicamente presenta un aumento significativo cuando la administración de Gln fue de 15 a 30 días, consumiéndose 23,7 gramos al día adicionales en comparación con el grupo testigo. De manera similar en pollos de engorde, se encontró que la suplementación alimenticia de glutamina permite un uso más eficiente de los nutrientes ingeridos y por lo tanto una mejora en el rendimiento productivo (Namroud y col., 2017), asociado al efecto de la Gln sobre la longitud de las vellosidades intestinales (Abdulkarimi, Shahir y Daneshyar, 2019). Así se requerirá menor cantidad de alimento para llevar a los cerdos a alcanzar el peso de mercado o se reducirían los días necesarios para llegar al peso de mercado, representando un ahorro importante para la industria porcina. Además, se ha comprobado que la suplementación de Gln favorece el sistema inmunológico de los lechones, garantizando un mejor estado de salud y preservando de esta manera los nutrientes para el crecimiento (Johnson y col., 2006; Zhong y col., 2012).

Tabla 5. Meta-regresión para nivel de inclusión de Gln (%) y duración de suplementación (días)

Parámetro productivo	Meta-regresión	Nivel de inclusión de Gln (%)				Duración de suplementación (días)			
		Intercepto		Coef. Regresión		Intercepto		Coef. Regresión	
		Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>
GDP (kg/día)	7 a 30 días	0,024	0,007	0,006	0,503	0,041	<0,001	-0,001	0,002
	7 a 14 días	0,025	0,010	0,005	0,578	0,094	<0,001	-0,007	<0,001
	15 a 30 días	0,014	0,505	0,011	0,577	0,121	0,002	-0,004	0,013
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	0,003	0,762	-0,003	0,737	-0,019	0,002	0,002	<0,001
	7 a 14 días	0,004	0,700	-0,010	0,372	-0,025	0,064	0,002	0,117
	15 a 30 días	0,048	0,176	-0,025	0,475	0,097	0,018	-0,003	0,069
CA (kg/kg)	7 a 30 días	-0,050	0,044	-0,021	0,434	-0,063	0,143	-0,0002	0,927
	7 a 14 días	-0,050	0,051	-0,025	0,456	-0,260	0,260	0,015	0,390
	15 a 30 días	-0,054	0,599	-0,016	0,873	-0,080	0,638	0,0004	0,953

p = valor de probabilidad

Tabla 6. Meta-regresión para peso vivo (kg) y edad (días) al inicio de la suplementación de Gln

Parámetro productivo	Meta-regresión	Peso vivo inicio de suplementación (kg)				Edad inicio de suplementación (días)			
		Intercepto		Coef. Regresión		Intercepto		Coef. Regresión	
		Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>
GDP (kg/día)	7 a 30 días	-0,086	<0,001	0,019	<0,001	0,043	0,041	-0,001	0,528
	7 a 14 días	-0,138	<0,001	0,029	<0,001	0,020	0,629	0,001	0,797
	15 a 30 días	0,027	0,428	0,000	0,979	0,047	0,229	-0,001	0,589
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	-0,020	0,118	0,004	0,114	-0,020	0,324	0,001	0,343
	7 a 14 días	-0,015	0,286	0,002	0,449	-0,014	0,586	0,000	0,716
	15 a 30 días	0,030	0,399	-0,001	0,839	0,072	0,119	-0,002	0,284
CA (kg/kg)	7 a 30 días	0,124	0,169	-0,030	0,032	0,066	0,386	-0,006	0,074
	7 a 14 días	0,227	0,103	-0,050	0,035	0,415	0,005	-0,025	0,001
	15 a 30 días	0,133	0,415	-0,029	0,209	-0,026	0,860	-0,002	0,767

p = valor de probabilidad

Respecto a la heterogeneidad entre estudios, se reporta que únicamente en la GDP (7 a 30d y 7 a 14d) la variabilidad es alta (> 75%). En las demás variables la heterogeneidad se encuentra entre baja a moderada (< 50%). Con la finalidad de explicar la variabilidad existente entre estudios se realizaron meta-regresiones entre la variable respuesta y cada una de las co-variables señaladas anteriormente. El nivel de inclusión de Gln (%) en la dieta suplementada a los lechones no tiene impacto ($p > 0,05$) sobre ninguna de las variables productivas evaluadas. El nivel más utilizado es de 1%, sin embargo, los va-

lores oscilan entre 0,1 a 2%. En estudios realizados en pollos se reporta que la suplementación de niveles altos de glutamina afecta de manera negativa el desempeño productivo, debido a que causan una reducción del consumo de alimento, como se observa en los resultados encontrados cuando se utilizó un nivel de 4%. Adicionalmente, los niveles altos de Gln generan un desbalance con los demás aminoácidos de la dieta, afectando su absorción intestinal a pesar de evidenciar un aumento en el tamaño de las vellosidades intestinales (Bartell y Batal, 2007).

La duración de la suplementación (días) influye en forma significativa ($p < 0,05$) sobre la GDP (todos los periodos evaluados) y CDPA (7 a 30 días). El peso vivo del lechón con el cual inicia el periodo de suplementación también tiene un efecto signifi-

cativo ($p < 0,05$) sobre la GDP y CA en los periodos de 7 a 30 días y de 7 a 14 días. Se aprecia que a medida que aumenta el peso vivo del lechón aumenta la GDP y disminuye la CA. Los valores del peso vivo oscilan entre 4 a 16 kg y una media de

Tabla 7. Meta-regresión para nivel de lisina (%) y proteína cruda en la dieta (%)

Parámetro productivo	Meta-regresión	Nivel de lisina en la dieta (%)				Nivel de PC en la dieta (%)			
		Intercepto		Coef. Regresión		Intercepto		Coef. Regresión	
		Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>
GDP (kg/día)	7 a 30 días	-0,145	<0,001	0,126	<0,001	-0,152	<0,001	0,009	<0,001
	7 a 14 días	-0,165	<0,001	0,140	<0,001	-0,215	<0,001	0,012	<0,001
	15 a 30 días	0,185	0,019	-0,118	0,043	0,192	0,015	-0,008	0,036
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	-0,041	0,335	0,033	0,337	-0,022	0,59	0,001	0,593
	7 a 14 días	-0,028	0,591	0,019	0,654	-0,021	0,643	0,001	0,715
	15 a 30 días	0,183	0,051	-0,121	0,089	0,293	0,008	-0,013	0,014
CA (kg/kg)	7 a 30 días	-0,137	0,495	0,052	0,725	-0,716	0,002	0,029	0,004
	7 a 14 días	-0,162	0,482	0,075	0,669	-1,370	<0,001	0,057	<0,001
	15 a 30 días	-0,219	0,721	0,106	0,809	-0,285	0,430	0,010	0,552

p = valor de probabilidad
PC= proteína cruda

Tabla 8. Meta-regresión para número de repeticiones

Parámetro productivo	Meta-regresión	Número de repeticiones			
		Intercepto		Coef. Regresión	
		Estimado	<i>p</i>	Estimado	<i>p</i>
GDP (kg/día)	7 a 30 días	-0,006	0,143	0,005	<0,001
	7 a 14 días	-0,010	0,022	0,006	<0,001
	15 a 30 días	0,030	0,071	-0,001	0,819
CDPA (kg/día)	7 a 30 días	0,008	0,209	-0,002	0,153
	7 a 14 días	0,006	0,393	-0,003	0,079
	15 a 30 días	0,064	<0,001	-0,009	0,024
CA (kg/kg)	7 a 30 días	-0,036	0,211	-0,007	0,245
	7 a 14 días	-0,032	0,313	-0,009	0,199
	15 a 30 días	-0,070	0,384	0,001	0,972

p = valor de probabilidad

6,89 kg. La edad del lechón a la cual se inicia la suplementación únicamente tiene influencia en la CA cuando la suplementación duró entre 7 a 14 días. De los estudios utilizados se encontró que el rango de la edad de inicio de la suplementación de Gln está entre 17 a 28 días, siendo 21 días la edad con mayor frecuencia. Es importante considerar que la Gln natural constituye apenas un 10% del contenido de aminoácidos de la proteína total en una dieta convencional para cerdos, siendo necesaria la suplementación para alcanzar un máximo crecimiento y facilitar el normal funcionamiento intestinal, particularmente en estados hipercatabólicos (Wu, 2014) que ocurren durante el destete de los lechones debido al estrés social y ambiental (Spreeuwenberg y col., 2001).

Algunos factores relacionados con la formula-

ción de la dieta también tienen efecto significativo sobre la GDP, CDPA y CA tras la suplementación de Gln en lechones. El nivel de lisina ($p < 0,05$) y proteína cruda ($p < 0,05$) afectan la GDP en los 3 periodos evaluados. Se evidencia que a medida que el nivel de lisina y PC aumenta la GDP también aumenta para los periodos 7 a 30 días y 7 a 14 días. Sin embargo, en el periodo 15 a 30 días hay una reducción de la GDP. Adicionalmente, el nivel de PC afectó la CDPA cuando la suplementación duró entre 15 a 30 días ($p = 0,014$) y la CA cuando la administración de Gln fue de 7 a 30 días ($p = 0,004$) y 7 a 14 días ($p < 0,001$). En este trabajo los valores de PC y lisina de las dietas utilizadas en lechones estuvieron entre 18 a 23% y 1,17 a 1,6%, respectivamente. Una estrategia para mejorar la utilización de proteína en lechones y prevenir desórdenes intestinales es la reducción del nivel de proteína cruda

concomitantemente con una adecuada suplementación de aminoácidos libres (sintéticos) (Le Floch y col., 2018). Gloaguen y col., (2014) confirma la eficacia de esta estrategia y la posibilidad de formular dietas con bajos niveles de PC (13,5%) para lechones entre 10 a 20 kg de peso vivo. Adicionalmente, las dietas con restricción moderada de proteína (13-15,3%) demostraron ser beneficiosas para la salud de la microbiota intestinal, la actividad metabólica en el intestino grueso y la mejora en la función de la barrera intestinal de lechones (Peng y col., 2017). La reducción del contenido de PC permite reducir el consumo de nitrógeno y evita el exceso de aminoácidos, por lo tanto, previene sobrecargas metabólicas.

Finalmente se determinó que el número de repeticiones influye sobre la GDP para los periodos 7 a 30 ($p < 0,001$) y 7 a 14 días ($p < 0,001$), así como en el CDPA cuando la suplementación duró entre 15 a 30 días ($p = 0,024$). El número de repeticiones en los distintos trabajos utilizados para este estudio van desde 2 hasta 12, siendo 3 el más utilizado. Lo anterior confirma la importancia señalada por Aaron y Hays, (2004) de considerar un número apropiado de individuos para ser usados en estudios experimentales en cerdos, pues ante un número inadecuado de repeticiones por tratamiento es posible que no se lleguen a detectar diferencias significativas, generando pérdida de tiempo y dinero para el investigador.

5 Conclusión

La suplementación de glutamina mejora el desempeño productivo en lechones, transformándose en una opción firme para ser utilizada en dietas de destete para disminuir las pérdidas generadas por el estrés durante esta etapa.

Referencias

Aaron, D. K. y V. W. Hays (2004). «How many pigs? Statistical power considerations in swine nutrition experiments». En: *Journal of animal science* 82.13, E245-E254. Online: <https://bit.ly/2GxHTxP>.

- Abdulkarimi, R., M. H. Shahir y M. Daneshyar (2019). «Effects of dietary glutamine and arginine supplementation on performance, intestinal morphology and ascites mortality in broiler chickens reared under cold environment». En: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 32.1, 110-117. Online: <https://bit.ly/38e5UWF>.
- Abreu, M. y col. (2010). «Glutamina, nucleótidos e plasma suíno em rações para leitões desmamados». En: *R. Bras. Zootec* 39.3, 520-525. Online: <https://bit.ly/2IyrJX9>.
- Andretta, I. y col. (2012). «Meta-analysis of the relationship between ractopamine and dietary lysine levels on carcass characteristics in pigs». En: *Livestock Science* 143.1, 91-96. Online: <https://bit.ly/2Ls5sKy>.
- Apple, J. K. y col. (2007). «Meta-analysis of the ractopamine response in finishing swine». En: *The Professional Animal Scientist* 23.3, 179-196. Online: <https://bit.ly/2OVJkdf>.
- Bartell, S. M. y A. B. Batal (2007). «The effect of supplemental glutamine on growth performance, development of the gastrointestinal tract, and humoral immune response of broilers». En: *Poultry Science* 86.9, 1940-1947. Online: <https://bit.ly/2T39mN0>.
- Bax, L. (2016). *MIX 2.0 -Professional software for meta-analysis in Excel. Version 2.0. BiostatXL*. URL: Online: <https://bit.ly/2VckrhX>.
- Borenstein, M. y col. (2011). *Introduction to meta-analysis*. Chichester: John Wiley & Sons, Online: <https://bit.ly/2ZoqhvV>.
- Boza, J. J. y col. (2000). «Role of glutamine on the de novo purine nucleotide synthesis in Caco-2 cells». En: *European journal of nutrition* 39.1, 38-46. Online: <https://bit.ly/2Iyrs6W>.
- Campbell, J. M., J. D. Crenshaw y J. Polo (2013). «The biological stress of early weaned piglets». En: *Journal of animal science and biotechnology* 4.19, Online: <https://bit.ly/2Xt1EfN>.
- Chamorro, S. y col. (2010). «Effect of dietary supplementation with glutamine and a combination of glutamine-arginine on intestinal health in twenty-five-day-old weaned rabbits». En: *Journal of animal science* 88.1, 170-180. Online: <https://bit.ly/2Pjt5px>.
- Cochran, W. G. (1954). «The combination of estimates from different experiments». En: *Biometrics* 10.1, 101-129. Online: <https://bit.ly/2UO6QOc>.
- Cromwell, G. L. (2002). «Why and how antibiotics are used in swine production». En: *Animal bio-*

- technology 13.1, 7-27. Online: <https://bit.ly/2UKuX0q>.
- Curi, R. y col. (2007). «Glutamine, gene expression, and cell function». En: *Front Biosci* 12.1, 344-357. Online: <https://bit.ly/2VZD4mu>.
- Domeneghini, C. y col. (2004). «Structural patterns of swine ileal mucosa following L-glutamine and nucleotide administration during the weaning period. An histochemical and histometrical study». En: *Histology and Histopathology* 19.1, 49-58. Online: <https://bit.ly/2GxXIEY>.
- Duttlinger, A. W. y col. (2019). «Replacing dietary antibiotics with 0.20nursery diets: Impact on health and productivity of pigs following weaning and transport». En: *Journal of Animal Science* 97, 2035-2052. Online: <https://bit.ly/2VXZTa3>.
- Gloaguen, M. y col. (2014). «The use of free amino acids allows formulating very low crude protein diets for piglets». En: *Journal of animal science* 92.2, 637-644. Online: <https://bit.ly/2s0Wzkk>.
- Gresse, R. y col. (2017). «Gut microbiota dysbiosis in postweaning piglets: understanding the keys to health». En: *Trends in microbiology* 25.10, 851-873. Online: <https://bit.ly/2ISCqDF>.
- Haynes, T. E. y col. (2009). «L-Glutamine or L-alanyl-L-glutamine prevents oxidant-or endotoxin-induced death of neonatal enterocytes». En: *Amino acids* 37.1, 131-142. Online: <https://bit.ly/2GnZXJI>.
- He, J. y col. (2016). «Effects of L-glutamine on growth performance, antioxidant ability, immunity and expression of genes related to intestinal health in weanling pigs». En: *Livestock Science* 189, 102-109. Online: <https://bit.ly/2Uv7ScU>.
- Higgins, J. P. y S. G. Thompson (2002). «Quantifying heterogeneity in a metaanalysis». En: *Statistics in medicine* 21.11, 1539-1558. Online: <https://bit.ly/2UMynQq>.
- Horio, Y. y col. (2008). «Glutamine supplementation increases Th1-cytokine responses in murine intestinal intraepithelial lymphocytes». En: *Cytokine* 44.1, 92-95. Online: <https://bit.ly/2Vh7G5C>.
- Hsu, C. B. y col. (2010). «The effect of glutamine supplement on small intestinal morphology and xylose absorptive ability of weaned piglets». En: *African Journal of Biotechnology* 9.41, 7003-7008. Online: <https://bit.ly/2PhX5Ss>.
- Hung, Y. T. y col. (2017). «Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: a meta-analysis». En: *Animal Feed Science and Technology* 231, 47-58. Online: <https://bit.ly/2rZU81q>.
- Jazideh, F. y col. (2014). «The effects of dietary glutamine supplementation on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens reared under hot conditions». En: *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 38.3, 264-270. Online: <https://bit.ly/2UuAUJT>.
- Jiang, Z. Y. y col. (2009). «Effects of dietary glycyl-glutamine on growth performance, small intestinal integrity, and immune responses of weaning piglets challenged with lipopolysaccharide». En: *Journal of Animal Science* 87.12, 4050-4056. Online: <https://bit.ly/2VWQhMB>.
- Johnson, I. R. y col. (2006). «Glutamine supplementation influences immune development in the newly weaned piglet». En: *Developmental & Comparative Immunology* 30.12, 1191-1202. Online: <https://bit.ly/2reFe7E>.
- Johnson, J. S. y D. C. Lay Jr (2017). «Evaluating the behavior, growth performance, immune parameters, and intestinal morphology of weaned piglets after simulated transport and heat stress when antibiotics are eliminated from the diet or replaced with L-glutamine». En: *Journal of animal science* 95.1, 91-102. Online: <https://bit.ly/2XC9AeT>.
- Kiefer, C. y J. F. Sanches (2009). «Metanálise dos níveis de ractopamina em dietas para suínos em terminação». En: *Revista Brasileira de Zootecnia* 38.6, 1037-1044. Online: <https://bit.ly/2rjTADu>.
- Lalles, J. P. y col. (2007). «Nutritional management of gut health in pigs around weaning». En: *Proceedings of the Nutrition Society* 66.2, 260-268. Online: <https://bit.ly/2XvJTM Y>.
- Le Floc'h, N. y col. (2018). «The relevance of functional amino acids to support the health of growing pigs». En: *Animal Feed Science and Technology* 245, 104-116. Online: <https://bit.ly/2Ppr7nO>.
- Lee, D. N. y col. (2003). «Effect of dietary glutamine supplement on performance and intestinal morphology of weaned pigs». En: *Asian-australasian journal of animal sciences* 16.12, 1770-1776. Online: <https://bit.ly/2XsS50f>.
- Létourneau-Montminy, M. P. y col. (2012). «Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase». En: *Animal* 6.10, 1590-1600. Online: <https://bit.ly/38i4BpR>.
- Luquetti, B. C. y col. (2016). «Effects of glutamine on performance and intestinal mucosa morpho-

- metry of broiler chickens vaccinated against coccidiosis». En: *Scientia Agricola* 73.4, 322-327. Online: <https://bit.ly/2VdafWw>.
- Maiorka, A. y col. (2016). «Effect of broiler breeder age and glutamine supplementation on the development of the intestinal mucosa of 7-day-old chicks». En: *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 18.1, 17-22. Online: <https://bit.ly/2VXMA9o>.
- Manvailer, G. V. y col. (2015). «Glutamine for broilers reared in hot environment». En: *Archivos de Zootecnia* 64.248, 377-382. Online: <https://bit.ly/2HOv4PG>.
- Metzler-Zebeli, B. U. y col. (2012). «Assessing the effect of dietary inulin supplementation on gastrointestinal fermentation, digestibility and growth in pigs: A meta-analysis». En: *Animal Feed Science and Technology* 233, 120-132. Online: <https://bit.ly/2sShs1E>.
- Moeser, A. J., C. S. Pohl y M. Rajput (2017). «Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs». En: *Animal Nutrition* 3.4, 313-321. Online: <https://bit.ly/2UMQgP3>.
- Moher, D. y col. (2015). «Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement». En: *Systematic reviews* 4.1, 1-8. Online: <https://bit.ly/2sN1Lso>.
- Muro, E. M. y col. (2015). «Aditivos fitogênicos e glutamina mais ácido glutâmico na dieta de frangos desafiados com coccidiose». En: *Agrarian* 8.29, 304-311. Online: <https://bit.ly/2KSJVwV>.
- Namroud, N. F. y col. (2017). «Impact of dietary glutamine on amino acid digestibility values and intestinal morphometric parameters in neonate chicks». En: *South African Journal of Animal Science* 47.4, 440-453. Online: <https://bit.ly/2XBa5G3>.
- Nascimento, G. M. y col. (2014). «Performance and intestinal characteristics of broiler chicken fed diet with glutamine in the diet without anticoccidials agents». En: *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 15.3, 637-648. Online: <https://bit.ly/2UuBg39>.
- Nassiri Moghaddam, H. y A. H. Alizadeh-Ghamsari (2013). «Improved performance and small intestinal development of broiler chickens by dietary L-glutamine supplementation». En: *Journal of applied animal research* 41.1, 1-7. Online: <https://bit.ly/2PqveQk>.
- Olubodun, J. O. y col. (2015). «Glutamine and glutamic acid supplementation enhances performance of broiler chickens under the hot and humid tropical condition». En: *Italian Journal of Animal Science* 14.1, 3263. Online: <https://bit.ly/2IyMYIo>.
- Peng, X. y col. (2004). «Effects of enteral supplementation with glutamine granules on intestinal mucosal barrier function in severe burned patients». En: *Burns* 30.2, 135-139. Online: <https://bit.ly/2zPWRf9>.
- Peng, Y. y col. (2017). «Progressive response of large intestinal bacterial community and fermentation to the stepwise decrease of dietary crude protein level in growing pigs». En: *Applied microbiology and biotechnology* 101.13, 5415-5426. Online: <https://bit.ly/34ZDZaO>.
- Pluske, J. R., D. L. Turpin y J. C. Kim (2018). «Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig». En: *Animal Nutrition* 4.2, 187-196. Online: <https://bit.ly/2XBHUXv>.
- Remus, A. y col. (2015). «Exploratory study on the utilization of different dietary methionine sources and methionine to lysine ratio for growing-finishing pigs». En: *Livestock Science* 181, 96-102. Online: <https://bit.ly/2YpVmPu>.
- Rhoads, J. M. y G. Wu (2009). «Glutamine, arginine, and leucine signaling in the intestine». En: *Amino acids* 37.1, 111-122. Online: <https://bit.ly/2Iwvexo>.
- Ribeiro Jr, V. y col. (2015). «Effects of Dietary L-Glutamine or L-Glutamine Plus L-Glutamic Acid Supplementation Programs on the Performance and Breast Meat Yield Uniformity of 42-d-Old Broilers». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 17.SPE, 93-98. Online: <https://bit.ly/2Gp1yPi>.
- Sakiyama, T. y col. (2009). «Glutamine increases autophagy under basal and stressed conditions in intestinal epithelial cells». En: *Gastroenterology* 136.3, 924-932. Online: <https://bit.ly/2IGV7Kl>.
- Sales, J. (2011). «A meta-analysis of the effects of dietary betaine supplementation on finishing performance and carcass characteristics of pigs». En: *Animal Feed Science and Technology* 165.1-2, 68-78. Online: <https://bit.ly/2YmDGnW>.
- Sauvant, D. y col. (2008). «Meta-analyses of experimental data in animal nutrition». En: *Animal* 2.8, 1203-1214. Online: <https://bit.ly/39Vgq5a>.
- Shan, Y. y col. (2012). «Dietary supplementation of arginine and glutamine enhances the growth

- and intestinal mucosa development of weaned piglets». En: *Livestock Science* 150.1-3, 369-373. Online: <https://bit.ly/2UJy4Wi>.
- Smith, M. G. y col. (2010). «Antimicrobial resistance and virulence gene profiles in multi-drug resistant enterotoxigenic *Escherichia coli* isolated from pigs with post-weaning diarrhoea». En: *Veterinary microbiology* 145.3-4, 299-307. Online: <https://bit.ly/2IHZyEu>.
- Solà-Oriol, D. y J. Gasa (2017). «Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets». En: *Animal feed Science and technology* 233, 34-52. Online: <https://bit.ly/2GB3A0d>.
- Spreeuwenberg, M. A. M. y col. (2001). «Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning». En: *The Journal of nutrition* 131.5, 1520-1527. Online: <https://bit.ly/2s0AX7G>.
- Torres-Pitarch, A. y col. (2017). «Effect of feed enzymes on digestibility and growth in weaned pigs: A systematic review and meta-analysis». En: *Animal Feed Science and Technology* 233, 145-159. Online: <https://bit.ly/2DPa5KF>.
- Torres-Pitarch, A. y col. (2019). «Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: Effect of enzyme type and cereal source». En: *Animal Feed Science and Technology* 251, 153-165. Online: <https://bit.ly/2rbVRAU>.
- Varley, M. A. y J. Wiseman (2001). *The weaner pig: nutrition and management*. New York: CAB International, Online: <https://bit.ly/2UuCwmV>.
- Wang, B. y col. (2015). «Glutamine and intestinal barrier function». En: *Amino acids* 47.10, 2143-2154. Online: <https://bit.ly/2VhbEeG>.
- Wang, H. y col. (2014). «Glutamine enhances tight junction protein expression and modulates corticotropin-releasing factor signaling in the jejunum of weanling piglets». En: *The Journal of nutrition* 145.1, 25-31. Online: <https://bit.ly/2Gyy5DO>.
- Watford, M. (2015). «Glutamine and glutamate: Non-essential or essential amino acids?» En: *Animal Nutrition* 1.3, 119-122. Online: <https://bit.ly/2GpLxsA>.
- Wijten, P. J., J. van der Meulen y M. W. Verstegen (2011). «Intestinal barrier function and absorption in pigs after weaning: a review». En: *British Journal of Nutrition* 105.7, 967-981. Online: <https://bit.ly/2KVfhTq>.
- Wu, G. (2014). «Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition». En: *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5.1, 34. Online: <https://bit.ly/2OUFBgz>.
- Wu, G., S. A. Meier y D. A. Knabe (1996). «Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs». En: *The Journal of nutrition* 126.10, 2578-2584. Online: <https://bit.ly/2wCPKHx>.
- Wu, G. y col. (2011). «Triennial Growth Symposium: important roles for L-glutamine in swine nutrition and production». En: *Journal of Animal Science* 89.7, 2017-2030. Online: <https://bit.ly/2IxO8UN>.
- Xi, P. y col. (2011). «Regulation of protein metabolism by glutamine: implications for nutrition and health». En: *Front Biosci* 16.1, 578-597. Online: <https://bit.ly/2Gqsled>.
- Xiao, Y. P. y col. (2012). «Response to dietary L-glutamine supplementation in weaned piglets: a serum metabolomic comparison and hepatic metabolic regulation analysis». En: *Journal of animal science* 90.12, 4421-4430. Online: <https://bit.ly/2Gr0rPf>.
- Zeng, Z. K., G. C. Shurson y P. E. Urriola (2017). «Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles for growing pigs: A meta-analysis approach». En: *Animal feed science and technology* 231, 150-159. Online: <https://bit.ly/2sQ5vcF>.
- Zhong, X. y col. (2011). «Intestinal growth and morphology is associated with the increase in heat shock protein 70 expression in weaning piglets through supplementation with glutamine». En: *Journal of animal science* 89.11, 3634-3642. Online: <https://bit.ly/2XCf3IV>.
- Zhong, X. y col. (2012). «Effects of glutamine supplementation on the immune status in weaning piglets with intrauterine growth retardation». En: *Archives of animal nutrition* 66.5, 347-356. Online: <https://bit.ly/2Iz0Z9d>.
- Zhou, R. Y. y col. (2006). «Effects of biocom as a replacement of glutamine on performance and blood biochemical indexes of early weaned piglets». En: *Asian-australasian journal of animal sciences* 19.6, 872-876. Online: <https://bit.ly/2DpwbU6>.
- Zou, X. T. y col. (2006). «Effects of glutamine on growth performance of weanling piglets». En: *Czech Journal of Animal Science* 51.10, 444-448. Online: <https://bit.ly/2vkm3Y9>.



RESISTENCIA ANTIBIÓTICA DE SALMONELLA SPP, ESCHERICHIA COLI AISLADAS DE ALPACAS (*Vicugna pacus*) CON Y SIN DIARRREA

ANTIBIOTIC RESISTANCE OF SALMONELLA SPP, ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM ALPACAS (*Vicugna pacus*) WITH AND WITHOUT DIARRHEA

Victor Carhuapoma Dela Cruz*¹ , Nicasio Valencia Mamani² , Teresa Huamán Gonzales² , Rufino Paucar Chanca² , Epifanio Hilario Lizana²  y Jorge L. Huere Peña³ 

¹ Centro de Investigación Científica Multidisciplinario de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Dos de Mayo, Acobamba 09380 Perú

² E.P. Zootecnia. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Dos de Mayo, Acobamba 09380 Perú

³ Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Dos de Mayo, Acobamba 09380 Perú

*Autor para correspondencia: yachayruacc@hotmail.com

Manuscrito recibido el 12 de mayo de 2019. Aceptado, tras revisión, el 27 de enero de 2020. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

A nivel mundial, el problema de resistencia a antibióticos es considerado de prioridad sanitaria pública y veterinaria, por ello el objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia de resistencia antibiótica frente a *Salmonella* sp., y *Escherichia coli* provenientes de crías de alpacas con y sin diarrea. La investigación fue de tipo descriptivo transversal múltiple. Se recolectaron 300 muestras de heces por hisopado rectal de crías de alpacas entre 10 a 60 días nacidas con y sin cuadros diarreicos provenientes de Comunidades Campesinas de Huancavelica-Perú. La presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Se identificó mediante pruebas bioquímicas la susceptibilidad antibacteriana por método Kirby Bauer y se evaluaron 8 antibióticos usuales del mercado veterinaria. El 100% de muestras con diarreas fueron positivas a *Escherichia coli*, 40,0% *Salmonella* spp., 20% *Escherichia coli*-*Salmonella* spp. y muestras sin diarrea 57,0% positivas a *Escherichia coli*, 24,0% *Salmonella* spp., 19,0% *E. coli*-*Salmonella* spp. Las cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. fueron resistentes a Ampicilina (10,4± 0,3), (9,3± 0,2); Novomicina (11,1± 0,2), (11,2± 0,1); Tetraciclina (8,2± 0,1), (9,2± 0,3); Penicilina (9,1± 0,4), (11,1± 0,3); Gentamicina (10,1± 0,4), (10,2± 0,3) provenientes de muestras con diarrea y en muestras sin diarrea resistentes a Gentamicina (10,3± 0,1), (8,2± 0,1); Tetraciclina (9,2± 0,4), (8,2± 0,4); Ampicilina (11,2± 0,1), (9,3± 0,2); Penicilina (10,2± 0,4), (10,1± 0,3). Las cepas de *Salmonella* spp., y *Escherichia coli* aisladas de crías de alpacas con y sin diarreas evidencian resistencia antibacteriana a múltiples antibióticos usados en

la veterinaria.

Palabras clave: alpaca, Salmonella spp, Escherichia coli, resistencia antibiótica.

Abstract

The problem of antibiotic resistance is considered a public and veterinary sanitary priority worldwide, for that reason the aim of the study was to evaluate the presence of antibiotic resistance against Salmonella spp., Escherichia coli coming from alpaca calves with and without diarrhea. The research was cross-sectional descriptive. 300 stool samples per rectal swab were collected from alpaca calves aging from 10 and 60 days with and without diarrhea from Peasant Communities in Huancavelica – Peru. The presence of Escherichia coli and Salmonella spp. was identified by conventional biochemical test, antibacterial susceptibility by Kirby Bauer method and 8 usual antibiotics from the veterinary market were evaluated. 100% of samples with diarrhea were positive to Escherichia coli; 40.0% Salmonella spp.; 40% Escherichia coli -Salmonella spp., and samples without diarrhea 48.3% positive to Escherichia coli; 14.0% Salmonella spp.; 9.3% Escherichia coli -Salmonella spp. The CMI in Escherichia coli and Salmonella spp. strains were resistant to Ampicillin (10.4 ± 0.3), (9.3 ± 0.2); Novomycin (11.1 ± 0.2), (11.2 ± 0.1); Tetracycline (8.2 ± 0.1), (9.2 ± 0.3); Penicillin (9.1 ± 0.4), (11.1 ± 0.3); Gentamicin (10.1 ± 0.4), (10.2 ± 0.3) from samples with diarrhea and in samples without diarrhea resistant to Gentamicin (10.3 ± 0.1), (8.2 ± 0.1); Tetracycline (9.2 ± 0.4), (8.2 ± 0.4); Ampicillin (11.2 ± 0.1), (9.3 ± 0.2); Penicillin (10.2 ± 0.4), (10.1 ± 0.3). Salmonella spp., Escherichia coli strains isolated from alpaca calves with and without diarrhea show antibacterial resistance to multiple antibiotics used in veterinary.

Keywords: alpaca, Salmonella spp., Escherichia coli, antibiotic resistance

Forma sugerida de citar: Carhuapoma, V., Valencia, N., Huamán, T., Paucar, R., Hilario, E. y Huere, J.L. (2020). Resistencia antibiótica de Salmonella spp, Escherichia coli aisladas de alpacas (*Vicugna pacus*) con y sin diarrea. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):108-117. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.08>.

IDs Orcid:

Victor Carhuapoma Dela Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-4330-6099>

Nicasio Valencia Mamani: <https://orcid.org/0000-0002-9408-7770>

Teresa Huamán Gonzales: <https://orcid.org/0000-0003-2945-3874>

Rufino Paucar Chanca: <https://orcid.org/0000-0001-6820-6185>

Epifanio Lizana Hilario: <https://orcid.org/0000-0002-5909-2996>

Jorge L. Huere Peña: <https://orcid.org/0000-0002-3114-8134>

1 Introducción

La crianza de alpacas para las familias alto andinas del Perú es una actividad de gran importancia socioeconómica, ya que aportan carne de alto valor proteico con bajo contenido de colesterol, y su fibra de gran demanda en mercado nacional y mundial (Rosadio y col., 2012; Siuce y col., 2015). Más del 85% de la crianza de alpacas en el Perú está distribuida en las Comunidades Campesinas y en pequeños productores que viven en condiciones de extrema pobreza y con carencias de asesoramiento técnico, afrontando grandes pérdidas económicas por problemas patológicos y elevadas mortalidades por etiologías parasitarias, bacterianas y vírales (Lucas y col., 2016). Las elevadas tasas de mortalidad en las crías de alpacas llegan de 12 a 50%, principalmente a causa de problemas diarreicos enteropatógenos de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. (Ramírez, 1990; Rosadio y col., 2012), y la resistencia de los antibacterianos frente a *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. es de preocupación mundial por las serias repercusiones que implica en la salud pública y la producción animal, concebidos por condiciones del uso inadecuado e indiscriminado de los antibacterianos (Yagui, 2018).

Desde el enfoque en la producción animal, el uso de los antibióticos se ha incrementado rápidamente, generando un riesgo de bacterias resistentes (Centeno, Salvatierra y Calle, 2018), debido a que estas bacterias posiblemente sufrieron modificaciones genéticas de su mecanismo de resistencia como inactivación enzimática, receptores alterados y transporte del antibiótico alterado, lo cual hacen la permanencia de genotipos bacterianos resistentes a *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. y un agravante mayor es que existen escasos estudios orientados a la producción animal que posiblemente podrían estar relacionados con lo reportado en la salud humana (Schwarz, Loeffler y Kadlec, 2017).

La *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* son patógenos de importancia clínica en la Salud Animal en los andes del Perú, por ser el agente causal de patologías que cursan con disfunción intestinal, generando el complejo diarreico neonatal en las alpacas, lo cual hace complejo su tratamiento terapéutico (Silvera y col., 2012; Rosadio y col., 2012). Diversos estudios reportan un aumento de la resistencia antimicrobiana y mínimas posibilidades de sensibilidad

a diferentes antibióticos frente a microorganismos patógenos de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* en las especies de aves, porcinos, cobayos, bovinos y animales de silvestria como los monos, generando grandes pérdidas del valor genético y socioeconómicas en los criadores (Oha, 2012; Medina, Morales y Navarrete, 2017; S., 2018).

No existen estudios relacionados sobre el uso de antibióticos en el área de veterinaria frente a *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* provenientes de crías de alpacas con y sin enteropatías diarreicas, a pesar de que mundialmente Perú constituye una actividad de gran importancia para el mercado textil y cárnico, siendo estos microorganismos de importancia clínica emergentes en la producción de alpacas. Se presume que pueden existir casos de cepas con fenotipos de resistencia similares en alpacas a las que existen en las especies de pollos, porcinos, bovinos y especies domésticos (Ortiz, 2011), lo cual posibilitaría que el uso de diferentes antibióticos antibacterianos en el tratamiento terapéutico en las crías de alpacas con enteropatías diarreicas (La salmonelosis y *Escherichia coli*) no sean eficaces en las comunidades de zonas alto andinas del Perú.

Ante los aspectos sostenidos, nace la necesidad de evaluar la resistencia antibiótica de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* en crías de alpacas con y sin enteropatías diarreicas, lo cual permitirá en un futuro que se implementen acciones para la reducción del uso de antimicrobianos; de igual forma, prevenir la generación y diseminación de bacterias resistentes a los antibióticos a través una aplicación de buenas prácticas sanitarias y del buen uso de antimicrobianos.

2 Materiales y Métodos

Para la investigación se muestrearon por conveniencia y según el teorema del límite central un total de 300 muestras de crías de alpacas con cuadros diarreicos y 300 muestras de crías sin cuadros diarreicos de raza Huacaya, en edades comprendidas entre 10 a 60 días de nacidas sin distinción de sexo, debido a que no se conoció la población de natalidad de crías porque es progresivo y temporal. Se tomaron en cuenta 06 Comunidades Campesinas alpaqueras de Huancavelica-Perú, ubicadas por encima de los 4 200 msnm, con temperaturas que os-

cilan entre de 5,6 a 8,5 °C. La actividad se llevó a cabo entre los meses de enero a marzo de 2018, de igual forma se tomaron en cuenta el acta de autorización comunal y el consentimiento informado por los dueños de los rebaños bajo estudio.

Las muestras fueron recolectadas por triplicado por animal muestreado mediante el hisopado rectal en crioviales estériles suspendidos en medio de transporte Stuart (búfer peptonada) en horarios de madrugada (6.00 am a 7.30 am) sin la presencia de rayos solares y con eficiente manejo de bioseguridad, rotulados y registrados (Carhuapoma y col., 2018), y fueron transportados en un medio refrigerante a temperatura 8-12 °C (caja tecnopor con hielo biológico) al Laboratorio de Salud Animal (Área de Microbiología) de la Universidad Nacional de Huancavelica- Perú, para proceder a los estudios bacteriológicos.

El aislamiento de los microorganismos enteropatógenos presentes en las muestras de hisopados rectales se realizó en un pool de inóculos (triplicado muestreado), en tubos con tapa rosca enriquecidas con caldo de infusión cerebro corazón (BIH), haciendo grupos de 300 inóculos sin cuadros diarreicos y 300 inóculos con cuadros diarreicos e incubados a 37 °C/24. Los inóculos enriquecidos se sembraron independientemente por agotamiento en medios selectivos de agar MacConkey y Eosina azul de metileno (EMB) para *Escherichia coli* y *Salmonella-Shigella* (SS), Xilosa lisina desoxicolato XHD para *Salmonella spp.*, incubándose a 37 °C/48 h en referencia a la norma ISO 6579:2002.

Para la óptima identificación y diferenciación de las cepas de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* se realizó la caracterización microscópica (coloración Gram) y macroscópica como: forma, consistencia y elevación (Murcia, 2018). Las colonias sospechosas se inocularon en medios de agar Hierro tres azúcares (TSI), Lisina (LIA), Citrato de Simmons (HS4), sulfuro-indol-motilidad (SIM), catalasa y Voges-Proskauer e se incubaron a 37°C / 24 horas. Los resultados obtenidos fueron cotejados mediante el Manual of Systematic Bacteriology (Bergey's, 2008) y el Manual de Procedimientos de Laboratorio Zurita2013 para su identificación.

En referencia a los resultados del aislamiento, se seleccionaron cultivos positivos a *Escherichia coli*

(300), *Salmonella spp.* (120) provenientes de muestras con diarreas y *Escherichia coli* (172), *Salmonella spp.* (72) sin diarreas; a partir de ello se prepararon pool de inóculos madre para *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y se replicaron a 320 inóculos independientemente para cada microorganismo en estudio enriquecidas en caldo infusión Cerebro Corazón (BIH) e incubados a 37 °C /12 horas (Carhuapoma y col., 2018).

La sensibilidad antibiótica se realizó mediante el Método de Kirby Bauer, para ello se cultivaron cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* con un hisopo estéril de manera homogénea en placas Petri con Agar Mueller Hilton, para un total de 320 cultivos por cada microorganismo distribuidos a 40 cultivos por antibiótico como repeticiones (observaciones de independencia de sensibilidad por antibiótico en estudio), con la finalidad de uniformizar el estudio, quedando los siguientes grupos: con enteropatías diarreicas, *Escherichia coli* (n= 320 [40 repeticiones / antibiótico]); *Salmonella spp.* (n=320 [40 repeticiones/antibiótico]); sin enteropatías diarreicas, *Escherichia coli* (n= 320 [40 repeticiones / antibiótico]); *Salmonella spp.* (n=320 [40 repeticiones / antibiótico]). Los discos antimicrobianos se colocaron de manera independiente incubándose a 37 °C/24 horas, se probaron los antibióticos más utilizados en el mercado farmacéutico-veterinario (A-Gentamicina (30µg), B-Novomicina (5µg), C-Tetraciclina(30µg), D-Enrofloxacin(10µg), E-Ampicilina(10µg), F-Amikacina(30 µg), G- Ceftriaxona (30µg) y H- Penicilina(10µg)), posterior a ello se leyeron los halos de inhibición del crecimiento y los resultados se interpretaron en referencia a los puntos de corte propuestos por el manual de European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST, 2018).

La prevalencia de microorganismos de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* presentes en crías de alpacas con y sin diarreas se realizó mediante la comparación de medias y la distribución de frecuencia (estadística descriptiva), a través de una investigación descriptiva transversal múltiple. Con el fin de determinar la sensibilidad antibiótica entre antibióticos y microorganismos se realizó el análisis de varianza y la prueba de Tukey (P<0.01) mediante el diseño de arreglo factorial múltiple de 8*2, utilizando el programa SPSS v. 20.

Tabla 1. Distribución porcentual de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. asociada de *Escherichia coli*-*Salmonella* spp., aislados de muestras con diarreas (n= 300) y sin diarreas (n= 300) en crías de alpacas.

Tipos de muestras	Escherichia Coli				Salmonella spp				E. coli-Salmonella spp			
	P (+)	N (-)	% (+)	% (-)	P (+)	N (-)	% (+)	% (-)	P (+)	N (-)	% (+)	% (-)
Con diarrea	300	0	100	0	120	180	40	60	60	0	20	0
Sin diarrea	172	128	57	43	72	228	24	76	56	224	19	81

Leyenda: P (+) Positivo, N (-) Negativo.

3 Resultados

De un total de 300 muestras analizadas de crías de alpacas con diarreas, se encontraron positivos el 100% (300/300) a *Escherichia coli*, 40,0% (120/300) *Salmonella* spp. y 20% (120/300) asociados a *Escherichia coli*-*Salmonella* spp. con mayor porcentaje de presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. De igual forma, 300 muestras evaluadas de crías de alpacas sin presencia de diarreas se encontraron positivos en 57,0% (172/300) a *Escherichia coli*, 24,0% (24/300) a *Salmonella* spp. y 19,0% (56/300) asociados a *E. coli*-*Salmonella* spp. (Tabla 1), apreciándose con menor prevalencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. a las muestras de crías de alpacas con diarreas.

Los microorganismos patógenos de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. encontrados en las muestras rectales de crías de alpacas con enteropatías diarrei-

cas demostraron diferencias estadísticas ($P < 0.01$) de diámetros de halos de inhibición de resistencia frente a los antibióticos de Gentamicina, Novomicina, Tetraciclina, Ampicilina y Penicilina; demostrando multi-resistencia antibiótica para ambos microorganismos, mientras que se observó sensibilidad antibiótica en ambos microorganismos en los antibióticos de Enrofloxacin, Amikacina y Ceftriaxona, demostrando diámetros de halos inhibición dentro del rango de los estándares sensibilidad (Tabla 2), de un total de 8 antibióticos evaluados.

La *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. aisladas de muestras de heces de crías de alpacas sin enteropatías diarreicas presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$) de resistencia antibiótica frente a Gentamicina, Tetraciclina, Ampicilina, Penicilina y Novomicina, y fueron sensibles a Novomicina, Enrofloxacin, Amikacina y Ceftriaxona (Tabla 3).

Tabla 2. Medias y desviación estándar de resistencia antibiótica de *Escherichia coli* (n= 320) y *Salmonella* spp. (n= 320) provenientes de crías de alpacas con diarreas.

Tipos antibióticos	Cepas de Escherichia Coli			Cepas de Salmonella sp.			
	N	S	I	N	S	I	R
A- GENTAMICINA	320			320			
	40	0,0	0,0	40	0,0	16,2± 0,1 ^a	10,2± 0,3 ^a
B- NOVOMICINA	40	0,0	0,0	40	0,0	16,4± 0,5 ^b	11,2± 0,1 ^b
C- TETRACICLINA	40	0,0	16,2± 0,2 ^a	40	0,0	15,1± 0,2 ^a	9,2± 0,3 ^{a,b}
D- ENROFLOXACINA	40	20,2± 0,3 ^{a,b}	16,1± 0,6 ^b	40	19,3± 0,1 ^b	14,3± 0,1 ^b	0,0
E- AMPICILINA	40	0,0	14,1± 0,1 ^{a,c}	40	0,0	16,2± 0,2 ^{a,c}	9,3± 0,2 ^c
F- AMIKACINA	40	23,1± 0,4 ^a	0,0	40	19,1± 0,4 ^a	0,0	0,0
G- CEFTRIAXONA	40	21,3± 0,3 ^a	15,2± 0,2 ^{a,c}	40	23,3± 0,3 ^a	0,0	0,0
H- PENEICILINA	40	0,0	0,0	40	0,0	0,0	11,1± 0,3 ^a

^a, ^b, ^c Superíndices diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística a la prueba de Tukey ($p < 0,01$).

S Sensible, I Intermedio, R Resistencia.

4 Discusión

Los altos índices de prevalencia de *Escherichia coli* (100%,57%), *Salmonella* spp. (40%,19%) y la asociación *Escherichia coli*-*Salmonella* spp. (20%, 19%) en las muestras rectales de crías de alpacas con y sin enteropatías diarreicas se deben posiblemente a que los productores de alpaca no están realizando un uso terapéutico eficiente y de manera responsable, y se asume que esto podría estar relacionado al uso de productos antibacterianos de mala calidad, lo cual hace difícil el control patológico, incrementando su incidencia. Lo anterior coincide con lo reportado por Carhuapoma y col., (2018) y Carhuapoma y col., (2019), además las prevalencias de estos microorganismos patógenos bacterianos estarían muy relacionados a animales que nacen con bajos niveles inmunológicas y de madres con condiciones caquéticas, lo cual les hace que sean muy susceptibles a *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., siendo una patología de importancia clínica en la crianza de alpacas (Rosadio y col., 2012).

Lucas y col., (2016) identificaron *Escherichia coli* (8,0%), coronavirus (53,3%), rotavirus (36,6%), *Salmonella* spp. (18,3%) y asociados de bacterias y parásitos 23,3%, virus y bacterias 11,7% y triple asociados 38,3% en crías de alpacas con cuadros diarreicos. De igual forma, Morales y col., (2017), aislaron *Escherichia coli* 47,78% en alpacas con diarrea y 58,33% sin diarrea, mientras que Chuquizuta y col. (2017) detectaron *Escherichia coli* (40,84%), *Salmonella* spp. (39,27%) en cuyes gazapos muertos, y Carhuapoma y col., (2018) encontraron la presencia de *Escherichia coli* en 80% en crías de alpacas con diarreas. Carhuapoma y col., (2019) reportan presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. 12% en machos y hembras, asociados de *Escherichia coli*-*Salmonella* spp. en un 10%, para un total de 104 crías con diarreas; los resultados encontrados en este estudio resultan ser de mayor prevalencia en ambos microorganismos frente a los reportados.

Cebra y col., (2003), mencionaron que la salmonela en diarreas de alpacas no es una causa común, pero Whitehead y Anderson, (2006) detectaron diversas especies de *Salmonella* en animales con casos de diarreas; posteriormente, Lucas y col., (2016) y Carhuapoma y col., (2019) manifiestan que la presencia de salmonela en cuadros diarreicos en alpacas es muy frecuente en rebaños mixtos (aves, cuyes, porcinos). Lo anterior indica que esta bacteria

es facultativa, lo cual hace que su ciclo de transmisión epidemiológica sea muy viable y su patogenia sea frecuente en los animales domésticos, así como en las crías de alpacas.

Zambrano y col. (2013) identificaron *Salmonella* spp. en 23,5% y 32,4% en muestras de superficie corporal e hisopado cloacal en pollos de engorde. De igual forma, Salvatierra y col., (2015) presenciaron *Salmonella* spp. $6,3 \pm 2,4\%$ en carcasas del vientre y 1,8% en sub-muestras de piel de cabeza en porcinas, y Talavera Rojas y col., (2011) reportaron el 1,34% de *Salmonella* del grupo B (*Typhimurium*) en muestras de hígados de pollo para la venta. Los resultados encontrados en la investigación son similares con algunos reportados, pero difieren a otros debido a que se encontraron mayor porcentaje Enteropatógenos de *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y de *Escherichia coli*-*Salmonella* spp. en crías de alpacas; por ello, la existencia de *Salmonella* spp. y *E. coli*-*Salmonella* spp. se debe a agentes causales de patologías que cursan con disfunción intestinal, generando el cuadro diarreico agudo neonatal en las alpacas (More y col., 2011; Mancera Martínez y col., 2004; Ruiz, Suárez y Uribe, 2014) por ser la *Salmonella* un potencial de infección que pertenece a la familia enterobacteriaceae (Tacchini A y col., 2010; Ríos, 2012) y al existir muy pocos estudios de casos clínicos de infestación de salmonelosis en alpacas, a pesar de que esta patología zoonótica es de importancia clínica para la salud pública y se presume que podría estar presentes en los serovares *Typhimurium* e *Enteritidis*, debido a las características bioquímicas, macromicroscópicas, la colonización y a las manifestaciones clínicas visualizadas en el estudio.

La multi-resistencia antibiótica presentada por *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. frente a los antibacterianos de Gentamicina, Tetraciclina, Ampicilina, Penicilina y Novomicina, evidencian que los antibióticos probados posiblemente sufrieron modificaciones de su mecanismo de acción como: inactivación enzimática de antibióticos, impermeabilidad de la membrana o pared celular, expulsión por mecanismos activos del antibiótico y modificación del sitio blanco del antibiótico en la bacteria, como se reporta en la literatura, lo cual reduce las opciones terapéuticas (Mancera Martínez y col., 2004; Schwarz, Loeffler y Kadlec, 2017; Ríos, 2012; Gatica Eguiguren y Rojas, 2018).

Tabla 3. Medias y desviación estándar de resistencia antibiótica de *Escherichia coli* (n= 320) y *Salmonella* spp. (n= 320) provenientes de crías de alpacas sin diarreas.

Tipos antibióticos	N 320	Cepas de <i>Escherichia Coli</i>			N 320	Cepas de <i>Salmonella</i> sp.		
		S	I	R		S	I	R
A- GENTAMICINA	40	0,0	16,2 ± 0,2 ^b	10,3 ± 0,1 ^a	40	0,0	17,2 ± 0,2 ^a	8,2 ± 0,1 ^b
B- NOVOMICINA	40	22,1 ± 0,3 ^b	14,4 ± 0,5 ^b	0,0	40	0,0	14,4 ± 0,2 ^b	10,3 ± 0,3 ^a
C- TETRACICLINA	40	0,0	16,2 ± 0,2 ^a	9,2 ± 0,4 ^{a,b}	40	0,0	16,2 ± 0,4 ^a	8,2 ± 0,4 ^{a,b}
D- ENROFLOXACINA	40	20,2 ± 0,3 ^{a,b}	15,2 ± 0,2 ^b	0,0	40	20,1 ± 0,2 ^{a,b}	14,3 ± 0,2 ^b	0,0
E- AMPICILINA	40	0,0	15,2 ± 0,3 ^{a,c}	11,2 ± 0,1 ^c	40	0,0	17,1 ± 0,4 ^{a,c}	9,3 ± 0,3 ^c
F- AMIKACINA	40	22,1 ± 0,4 ^a	14,2 ± 0,3 ^{a,c}	0,0	40	21,1 ± 0,4 ^a	0,0	0,0
G- CEFTRIAXONA	40	20,3 ± 0,3 ^a	16,2 ± 0,1 ^{a,c}	0,0	40	22,3 ± 0,3 ^a	0,0	0,0
H- PENEICILINA	40	0,0	0,0	10,2 ± 0,4 ^a	40	0,0	0,0	10,1 ± 0,3 ^a

^{a, b, c} Superíndices diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística a la prueba de Tukey (p<0,01).

S Sensible, I Intermedio, R Resistencia.

Además, las altas tendencias de resistencia de 8 antibióticos probados en el estudio estarían relacionados a la aplicación deficiente y el uso inapropiado de los antibióticos que vienen practicando los productores de alpacas en sus rebaños, además de la masiva distribución irresponsable de fármacos por los programas nacionales fomentados por profesionales no calificados, lo cual hace la tendencia progresiva de resistencia antibiótica en forma bidireccional entre el humano y el animal. Lucas y col., (2016), reportan que la *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* serían posiblemente resistentes a los antibacterianos de primera línea como la Fosfomicina, Enrofloxacin, Ciprofloxacina, Gentamicina, Oxitetraciclina, Penicilina, Ceftazidima y Trimetoprim-sulfametoxazol porque son de uso más frecuente en veterinaria e indiscriminadamente desde muchos años atrás en las especies de bovinos, pollos, gorriños y cuyes, por ello no sería recomendable el uso como antibióticos de primera elección para el tratamiento del complejo diarreico en las crías de alpacas sin antes realizar las pruebas de susceptibilidad en laboratorios (Pinto Jiménez, Martín Espada y Cid Vázquez, 2010; Siuce y col., 2015; Carhuapoma y col., 2019).

Barboza y Suarez, (2012), encontraron resistencia antibiótica en un 30% en Gentamicina, Norfloxacina y Tetraciclina en *Salmonella* spp. aisladas de casos de Tifosis aviar. Cordero Ruíz y col., (2002), reportaron multi-resistencia en 84.4% a Tetraciclina, Gentamicina, Ampicilina y Amikacina en bacterias Gram positivas y negativas de 11 antibióticos probados, y Fuente y col., (2015) encontraron una resistencia del 91% en cepas de *Salmonella* spp. a

Ampicilina, Nitrofurantoína y 55% a Cefalotina y Cloranfenicol, mientras que Quesada y col., (2016) reportaron multi-resistencia de *Salmonella* spp. a los antibióticos de ácido Nalidixico, Estreptomicina, Tetraciclina, Cloranfenicol, Ampicilina, Trimetoprim/sulfametoxazol, Gentamicina, Ciprofloxacina y Cefalosporinas. Estos reportes resultan similares a los resultados encontrados en este estudio, ya que coinciden casi con todos los antibióticos estudiados y estos mismos comportamientos de resistencia se pueden generar en los animales de sangre caliente (Castillo y col., 2014), por ello, la resistencia antibiótica de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* podría ser una alarma epidemiológica en el campo veterinario (Rivera Calderón y col., 2012), ocasionados por falta de práctica en las pruebas de sensibilidad en los laboratorios antes de realizar los tratamientos en los animales y por la deficiente capacidad de conocimiento farmacológico de técnicos operarios y médicos veterinarios (Barboza y Suarez, 2012; Carhuapoma y col., 2018).

La sensibilidad antibiótica demostrada por las cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. aisladas de hisopado rectales de crías de alpacas con y sin enteropatías diarreicas frente a los antibacterianos de Enrofloxacin, Amikacina, Novomicina y Ceftriaxona, se debe a que posiblemente lo antimicrobianos no fueron de uso prolongado o indiscriminado en los rebaños (Carhuapoma y col., 2018), y que posiblemente no hayan generado la modificación de sus mecanismos de acción antibiótica, así como los genes de DNA girasa y topoisomerasa IV (Romeu Álvarez y col., 2012; Lee y col., 2003; Ruiz, Suárez y Uribe, 2014; Schwarz, Loef-

fler y Kadlec, 2017). De igual forma, Barrios-Arpi, Morales y Villacaqui-Ayllon, (2016) encontró la *Escherichia coli* sensibles a Trimetoprim (98%), Gentamicina (95%) y fosfomicina (88%), Ciprofloxacino (85%), Ceftadizina (79%) y resistente a Nitrofurantoina (85%) provenientes de crías de alpacas sanas y enfermas, resultados que difieren con los resultados reportados en este estudio; por lo tanto, según los resultados encontrados en el estudio los 4 antibacterianos (Enrofloxacin, Amikacina, Novomicina y Ceftriaxona) que resultaron sensibles podría permitir ser específicos en el uso terapéutico de alpacas con y sin enteropatías diarreicas.

5 Conclusiones

Los aislamientos de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* de crías de alpacas con y sin cuadros de diarrea mostraron multi-resistencia a los antibióticos más usados del mercado farmacéutico-veterinario, y solo 4 antibióticos resultaron susceptibles. Por lo tanto, se deben realizar estudios comparativos en las zonas altas andinas alpaqueras del Perú para la prevención y diseminación de la resistencia antibacteriana.

Compromisos éticos: El equipo investigador declara que para esta investigación se ha realizado un manejo estricto del bienestar de los animales bajo los protocolos establecidos antes y durante la recolección de las muestras para el estudio.

Confidencialidad de los datos: El equipo investigador manifiesta que se ha tenido un estricto metodológico para la obtención de bases y modelo estadístico adecuado y programa de SPSS v. 20 para el procesamiento de datos.

Consentimiento informado: Para la ejecución de la investigación no se requirió consentimiento informado dado que fue un estudio de laboratorio basado en protocolos sin la manipulación de los animales, pero se tuvieron en cuenta para mayor confiabilidad del estudio.

Fuente de financiamiento: Para la ejecución del estudio no se ha tenido ningún financiamiento institucional interno ni externo.

Conflictos de interés: Los autores declaramos

ningún aprieto de haberes.

Agradecimientos

Al administrador ejecutivo del Laboratorio de Salud Animal de la Universidad Nacional de Huancavelica y los comuneros alpaqueros de Huancavelica –Perú, por brindar la colaboración y las facilidades para la ejecución del presente estudio.

Referencias

- Barboza, D. y J. Suarez (2012). «Sensibilidad a la Fosfomicina ante los diferentes agentes patógenos aislados en animales domésticos en Venezuela». En: *Memorias de la XVI Reunión Científico Técnica de la Asociación Argentina de Veterinarios de Laboratorios de Diagnóstico (AAVLD)*. Mar del Plata (Buenos Aires) Argentina. Buenos Aires (CF).
- Barrios-Arpi, Manuel, Siever Morales y Eglinton Villacaqui-Ayllon (2016). «Susceptibilidad Antibiótica de Cepas de *Escherichia coli* en Crías de Alpaca con y sin Diarrea». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27.2, 381-387. Online: <https://bit.ly/3a8CiKs>.
- Bergey's (2008). *Manual of systematic bacteriology*. Second Edition Volume Three The Firmicutes.
- Carhuapoma, DV y col. (2018). «Antibacterial in vitro of effect *Urtica dioica* and *Piper angustifolium* in alpacas (*Vicugna pacus*) with diarrheal enteropathies». En: *MOJ Anat Physiol* 5, 160-162. Online: <https://bit.ly/2T4HLw1>.
- Carhuapoma, Víctor y col. (2019). «Efecto de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp en el crecimiento y mortalidad de crías de alpacas (*Vicugna pacos*)». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30.2, 946-953. Online: <https://bit.ly/2I2EeZ2>.
- Castillo, Gonzalo y col. (2014). «Aislamiento e identificación bioquímica de cepas de *Pasteurella multocida* y *Gallibacterium anatis* en aves de producción con signos respiratorios». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 25.4, 516-522. Online: <https://bit.ly/2T4F4e0>.
- Cebra, Christopher K y col. (2003). «Potential pathogens in feces from unweaned llamas and alpacas with diarrhea». En: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 223.12, 1806-1808. Online: <https://bit.ly/2T6SrKS>.

- Centeno, S, Guillermo Salvatierra y Sonia Calle (2018). «Detección de fenotipos de resistencia ACCSuT, BLEE y AmpC en Cepas de *Salmonella enterica* aisladas de infecciones en animales». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 29.2, 580-587. Online: <https://bit.ly/2HZbWOO>.
- Cordero Ruíz, Dagmara M y col. (2002). «Comportamiento de la infección nosocomial en las unidades de terapia en un período de 5 años». En: *Revista cubana de Higiene y Epidemiología* 40.2, 79-88. Online: <https://bit.ly/32w3Bf7>.
- EUCAST (2018). *Routine and extended internal quality control for MIC determination and disk diffusion as recommended by EUCAST Version 8.0*. Inf. téc. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.
- Fuente, M. De la y col. (2015). «Análisis comparativo de la susceptibilidad de cepas de *Salmonella* sp aisladas de vegetales (*Lactuca sativa*) contra antibióticos, bacteriocinas de *Bacillus thuringiensis* y nisina». En: *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Universidad Guanajato- Facultad de Ciencias Biológicas. Salamanca España, págs. 1-4.
- Gatica Eguiguren, María de los Angeles y Hernán Rojas (2018). «Gestión sanitaria y resistencia a los antimicrobianos en animales de producción». En: *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 35, 118-125. Online: <https://bit.ly/2Vu4svw>.
- Lee, Young Ju y col. (2003). «Biochemical characteristics and antimicrobials susceptibility of *Salmonella gallinarum* isolated in Korea». En: *Journal of veterinary science* 4.2, 161-166. Online: <https://bit.ly/2PvHlAy>.
- Lucas, Juan R y col. (2016). «Patógenos involucrados en casos fatales de diarrea en crías de alpaca de la Sierra Central del Perú». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27.1, 169-175. Online: <https://bit.ly/2I00GIL>.
- Mancera Martínez, Arturo y col. (2004). «Determinación de la existencia de plásmidos en aislamientos de *Salmonella enteritidis* (fagotipos 4 y 8) y su análisis en la resistencia antimicrobiana». En: *Técnica Pecuaria en México* 42.3, 325-332. Online: <https://bit.ly/3caGXNH>.
- Medina, Claudia, Siever Morales y Miluska Navarrete (2017). «Resistencia antibiotica de enterobacterias aisladas de monos (*Ateles*, *Callicebus* y *Lagothrix*) en semicautiverio en un centro de Rescate, Peru». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 28.2, 418-425. Online: <https://bit.ly/3a7L2jW>.
- Morales, Siever y col. (2017). «Determinación de serotipos de *Escherichia coli* aisladas de crías de alpacas (Vicugna pacos) con y sin diarrea en Huancavelica». En: *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 18.9, 1-14. Online: <https://bit.ly/2T4MNbT>.
- More, Juan y col. (2011). «Detección genómica y expresión de péptidos antimicrobianos (α -y β -defensinas) en mucosa intestinal de crvas de alpaca (vicugna pacos)». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 22.4, 324-335. Online: <https://bit.ly/385VOpB>.
- Murcia, M. (2018). *Identificación De Enterobacterias*.
- Oha, R (2012). «Anatomía patológica de las diarreas infecciosas en crías de alpaca (*Lama pacos*) en la SAIS Aricoma Ltda. 57». Tesis doct. Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista: Facultad de Medicina Veterinaria, Univ. Nacional del Altiplano, Puno. Perú.
- Ortiz, S (2011). «Evaluación de algunos métodos de control de la mortalidad en crías de alpaca (*Lama pacos*) en explotaciones familiares». Tesis doct. Tesis de Médico Veterinario. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pinto Jiménez, Chris Evelyn, Carmen Martín Espada y María Dolores Cid Vázquez (2010). «Camélidos Sudamericanos: estado sanitario de sus crías». En: *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 4.1, 37-50. Online: <https://bit.ly/2SQAVdJ>.
- Quesada, Adriana y col. (2016). «Resistencia antimicrobiana de *Salmonella* spp aislada de alimentos de origen animal para consumo humano». En: *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 33, 32-44. Online: <https://bit.ly/2Tpnmke>.
- Ramírez, A. (1990). «Colibacilosis entérica en crías de alpacas». En: *Avances sobre investigación en salud animal camélidos sudamericanos*. UNMSM. Bol Div N° 23, pág. 64.
- Ríos, W (2012). «Determinación del perfil de resistencia antibiótica de *Salmonella* entérica aislada de cerdos faenados en un matadero de Lima Metropolitana». Tesis doct. Tesis de Médico Veterinario. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rivera Calderón, Luis Gabriel y col. (2012). «Resistencia de la *Salmonella* a los antimicrobianos

- convencionales para su tratamiento». En: *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 7.1, 116-129. Online: <https://bit.ly/2w9bw5V>.
- Romeu Álvarez, Beatriz y col. (2012). «Susceptibilidad antimicrobiana de aislamientos de *Escherichia coli* procedentes de ecosistemas dulcea-cuícolas». En: *Revista Cubana de Medicina Tropical* 64.2, 132-141. Online: <https://bit.ly/32iPiKC>.
- Rosadio, A y col. (2012). «Efecto protector de una vacuna polivalente anticlostridial sobre la mortalidad neonatal en alpacas». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 23.3, 299-306. Online: <https://bit.ly/2Tk02of>.
- Ruiz, D., Martha C Suárez y Catalina Uribe (2014). «Susceptibilidad antimicrobiana in vitro de cepas de *Salmonella* spp. en granjas de ponedoras comerciales del departamento de Antioquia». En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 19.3, 297-305. Online: <https://bit.ly/2T7yz91>.
- S., Morales (2018). «Identificación, serotipificación y resistencia de cepas de *Salmonella* entérica aisladas de cuyes (*Cavia porcellus*) clínicamente enfermos.» En: *REDVET - Revista electrónica de Veterinaria* 19.1.
- Salvatierra, Guillermo y col. (2015). «Detección de *Salmonella* sp en carcasas porcinas en camales de Lima, Perú». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26.4, 682-688. Online: <https://bit.ly/3ab3Q1L>.
- Schwarz, Stefan, Anette Loeffler y Kristina Kadlec (2017). «Bacterial resistance to antimicrobial agents and its impact on veterinary and human medicine». En: *Advances in Veterinary Dermatology* 8, 95-110. Online: <https://bit.ly/386SElc>.
- Silvera, Elvis y col. (2012). «Presencia de *Escherichia coli* O157 en crías de alpacas (*Vicugna pacos*)». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 23.1, 98-104. Online: <https://bit.ly/2TykQZl>.
- Siuce, Juan y col. (2015). «Expresión de defensinas en yeyuno de crías de alpacas (*Vicugna pacos*) con enteropatías». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26.2, 317-327. Online: <https://bit.ly/2T1ZaWa>.
- Tacchini A, María Del Mar y col. (2010). «Empiema causado por *Salmonella typhimurium*». En: *Revista chilena de enfermedades respiratorias* 26.2, 91-94. Online: <https://bit.ly/3cecGxx>.
- Talavera Rojas, Martín y col. (2011). «Variabilidad genética de aislamientos de *Salmonella typhimurium* (grupo B) obtenidos de hígados de pollo destinados para consumo humano». En: *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 2.4, Online: <https://bit.ly/3c6Y1Ei>.
- Whitehead, Claire E y David E Anderson (2006). «Neonatal diarrhea in llamas and alpacas». En: *Small Ruminant Research* 61.2-3, 207-215. Online: <https://bit.ly/3abW6g4>.
- Yagui, M. (2018). «Resistencia antimicrobiana: nuevo enfoque y oportunidad». En: *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 35.1, 7-8. Online: <https://bit.ly/3814xtb>.



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

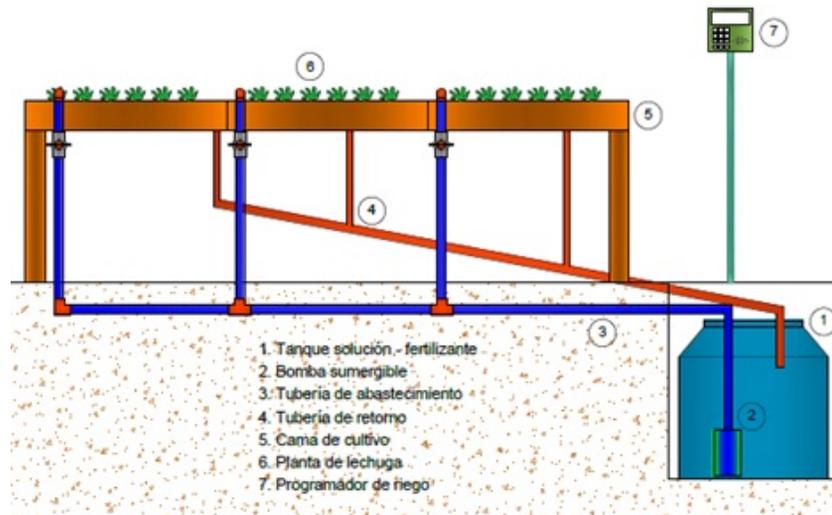


Figura 1. Diagrama de construcción de camas y abastecimiento de solución fertilizante controlada por el programador de riego, en un cultivo protegido de lechuga bajo sistema de raíz flotante.

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

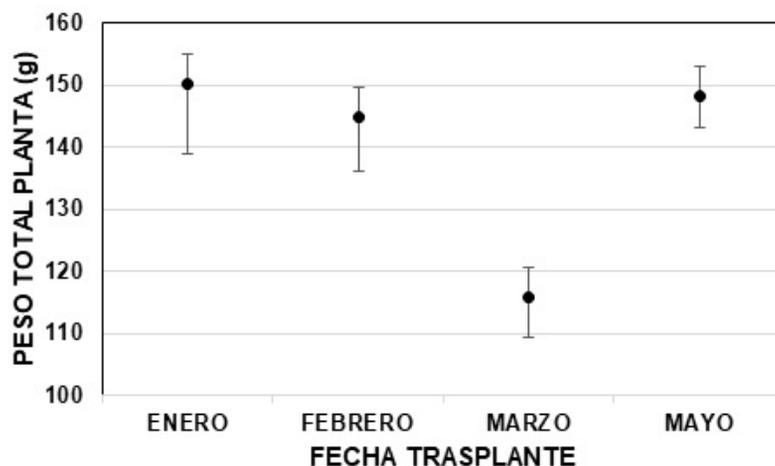


Figura 2. Peso de planta completa a cosecha de lechuga cv. Crespa en cuatro fechas de trasplante (2018), cultivadas en la provincia de Santa Elena bajo sistema de raíz flotante y formulación nutritiva de Hoagland y Arnon.

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

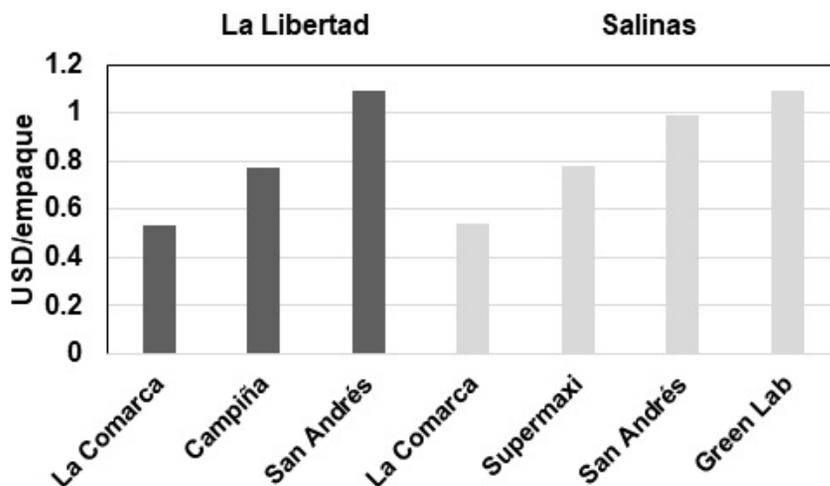


Figura 3. Comparación de precio de venta unitario entre marcas de lechuga hidropónica, en envases de 100 a 200 gramos en supermercados de la provincia de Santa Elena (barras negras = cantón La Libertad; barras grises = cantón Salinas). Valores en dólares americanos a septiembre del 2018.

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. Quagrainie 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). «Sobrería 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 hidropónia*. 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.



EFECTO DE LA CUBIERTA (MICROTÚNEL) EN LA PRODUCTIVIDAD DE DOS VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria vesca*) EN EL SECTOR CAJANUMA CANTÓN LOJA

EFFECT OF THE ROOF (LOW TUNNEL) ON THE PRODUCTIVITY OF TWO VARIETIES OF STRAWBERRY (*Fragaria vesca*) IN CAJANUMA, LOJA

Carlos Fausto Abad Abad*¹ , Leticia Salomé Jiménez Álvarez² y Edwin Daniel Capa Mora^{3,1}

¹ Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano alto s/n, 1101608 Loja, Ecuador

² Departamento de Ciencias Biológicas, Ecología y Sistemática, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano alto s/n, 1101608 Loja, Ecuador

³ Departamento de Ciencias Biológicas, Biotecnología y Producción, Universidad Técnica Particular de Loja, San Cayetano alto s/n, 1101608 Loja, Ecuador

*Autor para correspondencia: cfabad1@utpl.edu.ec

Manuscrito recibido el 12 de diciembre de 2018. Aceptado, tras revisión, el 30 de agosto de 2019. Publicado el 1 de marzo de 2020.

Resumen

La fresa (*Fragaria vesca*) es un cultivo de gran aceptación a nivel mundial, no siendo la excepción en Ecuador. La mayor parte de la producción se realiza a campo abierto, haciendo que existan limitaciones por el ataque de factores bióticos y la influencia de factores abióticos, generando pérdidas en la producción. El presente trabajo se planteó en la provincia de Loja al no existir información precisa de este cultivo e investigaciones sobre el uso de sistemas protegidos (microtúnel). El objetivo principal fue evaluar el efecto de la producción de fresa en los dos sistemas de producción (Campo abierto y microtúnel), con variedades Albion y Monterey; además analizar el costo y rentabilidad de la producción. El sistema a campo abierto fue considerado como un tratamiento testigo para su evaluación frente al de microtúnel. El experimento se realizó en la Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja, bajo condiciones de microtúnel y campo abierto, en la cuales se comparó el desarrollo fenológico y productivo de la fresa. Los resultados encontrados en el estudio en los dos sistemas a campo abierto y microtúnel no presentaron una diferencia estadística en las variables fisiológicas evaluadas, concluyendo que la cubierta con microtúnel al cultivo no influyó en el desarrollo en las dos variedades. En relación al análisis de costos-beneficio de la producción, este fue superior en el sistema microtúnel, la inversión fue más fuerte al inicio, sin embargo, se debe indicar que existen varias ventajas productivas en relación con campo abierto, generando beneficios al productor de fresa.

Palabras clave: Fresa, Microtúnel, producción, rendimiento, rentabilidad.

Abstract

The strawberry (*Fragaria vesca*) is a crop of great acceptance worldwide. In Ecuador, most of the production is done in open field, presenting limitations by the attack of biotic factors and abiotic factors that generate losses in the production. This research was carried out in the province of Loja, since there was no precise information on this crop, and research on the use of protected systems (low tunnels). The main objective of the study was to evaluate the effect of strawberry production on the two production systems (open field and low tunnels), with Albion and Monterey varieties, as well as to analyze the costs and profitability of production. The experiment was conducted at the Agricultural Station of Universidad Técnica Particular de Loja, under low tunnels and open field conditions, in which the phenological and productive development of the strawberry was compared. The results found in the study in the two open field and low tunnel systems did not present a statistical difference in the physiological variables evaluated, which allow to conclude that the low tunnel cover on the crop did not influence the development of the two varieties. In relation to the cost-benefit analysis of production, it was higher in the low tunnel system, the investment was stronger at the beginning, but it must be indicated that there are several productive advantages in relation to the open field that generate benefits for the strawberry producer.

Keywords: Low tunnels, production, profitability, strawberry yield.

Forma sugerida de citar: Abad-Abad, C.F., Jiménez-Álvarez, L.S. y Capa-Mora, E.D. (2020). Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) en el sector Cajanuma cantón Loja. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 31(1):131-141. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.10>.

IDs Orcid:

Carlos Fausto Abad Abad: <http://orcid.org/0000-0003-4349-8446>

Leticia Salomé Jiménez Álvarez: <http://orcid.org/0000-0002-7933-1368>

Edwin Daniel Capa Mora: <http://orcid.org/0000-0002-9843-0388>

1 Introducción

La producción del cultivo de fresa por parte de los productores agrícolas y el consumo del fruto por parte de las personas, tiene una muy buena aceptación en todo el mundo (Khoshnevisan, Raffie y Mousazadeh, 2013), ocurriendo lo mismo para Ecuador, donde ha tomado una gran solidez y ha empezado a formar parte de la canasta familiar (Vizcaino, 2011). El fruto es bastante atractivo para el consumidor, por su aroma y sabor exquisito; también posee gran cantidad de vitaminas, minerales y ácidos orgánicos, actuando como desinfectantes y antiinflamatorios que hace que disminuya el colesterol. Además se pueden extraer aceites esenciales, y su consumo puede ser fresca o procesada (Karim y col., 2011; Giampieri y col., 2012; Pradas y col., 2015; Bernarda y Bawab, 2017; Estrada y col., 2017).

El cultivo de fresa se caracteriza por ser herbáceo y perenne, es muy susceptible a condiciones ambientales y su desarrollo está sujeto a las características climáticas, propiedades químicas, físicas y estructurales del suelo (Ferriol, 2010; López y col., 2011; Pineda, 2017). Existen variedades de día corto sujetas a fotoperiodo, menos horas de luz para el desarrollo de yemas florales; y variedades de día neutro que no están sujetas a fotoperiodo para el desarrollo de las yemas florales (Undurraga y Vargas, 2013; Pérez y col., 2017).

Los sistemas de producción mayormente utilizados son a campo abierto y bajo protección (Rubio y col., 2014). La producción a campo abierto es muy susceptible a factores de carácter biótico y abiótico como plagas, enfermedades, altas temperaturas, precipitaciones, vientos y heladas (Domini, 2012; Pineda, 2017), lo cual puede afectar su productividad. El sistema protegido (invernaderos, macro y microtúnel), son construcciones de mucha durabilidad, que permite más de un ciclo de cultivo, disminuyendo el costo de inversión y aumento de la productividad (Rubio y col., 2014). Lamont y William, (2009) mencionan que es una tecnología que ayuda a tener un mejor control de las condiciones climáticas para el cultivo. Los factores ambientales, genéticos y variedades son de mucha importancia en el crecimiento de las plantas, en la productividad y calidad del fruto (Rodríguez y col., 2012). El cultivo de la fresa en sistemas protegidos como el sistema microtúnel puede ser una alternativa en la

producción de este cultivo, esto debido a que en dichos sistemas protegidos se tienen algunas ventajas como bajo costo, reducido tamaño y practicidad de instalación (Juárez y col., 2011; Pernuzz y col., 2016), en comparación con otros sistemas protegidos como los invernaderos.

En Ecuador se cosecha un área de 108 ha, alcanzando un rendimiento de 16,27 T/ha, siendo muy baja en relación a otros países productores de fresa, como por ejemplo Estados Unidos con 66,90 T/ha de producción; España (47,6 T/ha); Egipto 46,6 T/ha; Israel con 43,5 T/ha, y a nivel de América del Sur está Colombia con 36,5 T/ha de producción de fresa al año (Corrêa y Peres, 2013; FAOSTAT, 2016). Sin embargo, en la última década ha tenido un crecimiento interesante, ya sea por la adopción de nuevas tecnologías o nuevas variedades.

La búsqueda y aplicación de nuevas innovaciones en la producción agrícola, ante la necesidad de mejorar los sistemas productivos son de suma importancia, ya que cada zona dedicada al cultivo de fresa tiene sus particularidades. En la provincia de Loja, al no existir información precisa o investigaciones sobre el uso de sistemas protegidos (microtúnel) en este cultivo, se hace necesario realizar investigaciones con relación al tema. Por lo cual, el presente trabajo buscó evaluar el efecto del uso de protección (microtúnel) frente al desarrollo del cultivo a campo abierto, sobre el desarrollo y productividad del cultivo de fresa en las variedades Albion y Monterey, que son las de mayor comercialización en este sector, con la finalidad de analizar las alternativas de mayor viabilidad, para que los pequeños agricultores a nivel local incrementen el rendimiento y beneficio económico.

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en la provincia de Loja – Ecuador, en la Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja, ubicada en el sector Cajanuma en el cantón Loja, a 9 km de la ciudad, con las coordenadas X: -4,0887 Y: -79,2082 (Google Maps, 2018). A una altitud aproximada de 2230 m.s.n.m; temperatura promedio de 16 °C y una precipitación media de 780 mm/m² según datos de Estación meteorológica «La Argelia», (2017).

2.2 Diseño experimental

La elección del área de estudio estuvo sujeta a un lugar con rasgos homogéneos en topografía y características edafoclimáticas. Se establecieron cuatro parcelas (tratamientos), bajo un diseño experimental de bloques completos. Los tratamientos establecidos fueron: dos bajos cubierta (microtúnel) en los que se cultivó las variedades Monterey y Albion (una variedad en cada microtúnel), y los mismos tratamientos fueron establecidos a campo abierto (sin cubierta). Cada tratamiento tuvo un total de 54 plantas (F1) y, cada una de ellas fue considerada como una unidad experimental (Pernuzz y col., 2016).

Las simbologías establecidas para los tratamientos fueron: **CAV1** = Tratamiento campo abierto variedad monterey, **CAV2** = Tratamiento campo abierto variedad albion, **MTV1** = Tratamiento sistema microtúnel variedad Monterey, **MTV2** = Tratamiento sistema microtúnel variedad Albion. El tamaño de los microtúneles fue de 8 m de largo \times 1 m de ancho y 0,90 m de altura, con cubierta de plástico de polietileno N°8. En cada tratamiento se utilizó una densidad de siembra de 0,30 \times 0,40 m entre hilera y planta (54 plantas por tratamiento). La fertilización realizada fue similar en todos los tratamientos, usando abono orgánico (BioCompost) de fondo al momento del trasplante (250 g/planta), y fertilizantes minerales a base de N – P₂O₅ – K₂O – MgO – CaO – S (200 – 200 – 300 – 40 – 100 – 40 Kg/ha, respectivamente), todo esto en consideración de los análisis de suelos y necesidades del cultivo (Patiño y col., 2013; Avitia y col., 2014).

El sistema de riego se instaló mediante goteo de bajo caudal, con emisores vortex insertado y con salida de caudal 2 a 4 Lt/hora, y fue regado en base a las condiciones de clima, como comúnmente lo manejan los agricultores de la zona. El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIP) fue minucioso, se monitoreó cada una de las plantas, realizando de manera preventiva podas de saneamiento para evitar enfermedades como *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum sp.* y de *Trips sp.* (Santoyo y Martinez, 2010).

2.3 Variables evaluadas

Las variables de evaluación se detallan a continuación: **Porcentaje de prendimiento:** se la realizó mediante el conteo del total de plantas (unidad expe-

rimental) de cada tratamiento que tuvo éxito en su prendimiento, indicando que los resultados fueron expresados en porcentaje (Ibadango, 2017).

Número de flores: Se realizó un conteo del número de flores en cada planta de los cuatro tratamientos; estos datos se registraron durante todo el tiempo de evaluación del proyecto (Yaselga, 2015).

Número de frutos: Se determinó la cantidad de frutos en las plantas de cada tratamiento por un periodo de 6 meses, los datos se registraron diariamente, esto con el fin de tener mayor detalle de la productividad por sistema productivo y variedad de fresas cultivadas (Ibadango, 2017).

Diámetro de frutos: el dato se tomó de los frutos cosechados con un calibrador Vernier, la medición se realizó de la parte central del fruto (infrutescencia), expresando los valores en centímetros (Verdugo, 2011).

Peso del fruto: Se tomó el peso de cada fruto cosechado. Cabe indicar que los frutos de la fresa fueron recolectados cuando estaban maduros, de igual manera que el registro de las variables anteriores, esto se realizó a diario una vez iniciada la producción (Verdugo, 2011).

Análisis económico de la producción de fresa: Se calculó la producción del cultivo considerando el total y el neto cosechado (descontando pérdidas), y la producción final de los tratamientos se transformó y expresó en kg/ha.

El ingreso neto (beneficio) de estos sistemas de producción en este estudio se estimó con la diferencia entre el ingreso y los costos de la producción de fresa (Costo/beneficio (C/B) = Ingresos/egresos) (Infante Villarreal, 1984), calculando el ingreso a partir de las ventas del fruto a precios promedio según el MAG, (2018). Los costos totales se estimaron a partir del promedio de los costos del establecimiento de la plantación y su manejo: fertilización, control de malezas, sistema de riego, control de plagas y enfermedades, poda, cosecha, entre otras.

2.4 Análisis estadístico

Para establecer diferencias estadísticas en los parámetros medidos (variables), se comprobó la normalidad o no de los datos con pruebas KS, después se aplicó ANOVAS de una vía con pruebas de Tukey subconjuntos homogéneos, a un nivel de significancia $p < 0,05$, para esto se utilizó el software estadístico SPSS 24,0.

3 Resultados y discusión

Tabla 1. Porcentaje de prendimiento, número de flores, número de frutos, diámetro del fruto y peso del fruto de *Fragaria vesca* en los tratamientos evaluados.

	CAV1	CAV2	MTV1	MTV2
Parámetros				
% Prendimiento	94,45 ± 0,23 a	94,45 ± 0,23 a	100,00 ± 0,00 a	98,15 ± 0,13 a
Número de flores	37,92 ± 7,20 a	34,85 ± 6,70 a	37,35 ± 8,83 a	36,57 ± 7,53 a
Número de frutos	36,20 ± 7,87 a	34,57 ± 6,78 a	36,62 ± 6,63 a	35,07 ± 9,11 a
Diámetro del fruto (cm)	3,26 ± 0,39 a	3,29 ± 1,11 a	3,26 ± 0,32 a	3,30 ± 1,09 a
Peso del fruto (g)	23,74 ± 6,60 a	23,79 ± 6,74 a	23,94 ± 5,59 a	23,95 ± 7,06 a

Tabla 1 muestra los datos medios y la desviación estándar del porcentaje de prendimiento, número de flores, número de frutos, diámetro del fruto (cm/fruto) y peso del fruto (g/fruto). Letras minúsculas diferentes indican diferencia estadística significativa entre tratamientos. **CAV1** = Tratamiento campo abierto variedad monterey, **CAV2** = Tratamiento campo abierto variedad albion, **MTV1** = Tratamiento sistema microtúnel variedad monterey, **MTV2** = Tratamiento sistema microtúnel variedad albion.

En la Tabla 1 se detallan los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos establecidos, aquí se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre las variables fisiológicas evaluadas, indicando en este caso que la cubierta con microtúnel al cultivo no influyó en el desarrollo del cultivo de fresa en las dos variedades, probablemente a que no existieron fuertes periodos de lluvias, heladas.

Los altos porcentajes de prendimiento en este estudio posiblemente se debe al buen manejo agrotécnico que se dio al cultivo, cumpliendo así con todos los estándares de buenas prácticas agrícolas. Este trabajo refuerza lo indicado por los estudios de Montero, (2016) y Yaselga, (2015), los que dicen que un tratamiento de riego adecuado, un sustrato enriquecido con abundante materia orgánica, un control adecuado de plagas y enfermedades y la correcta desinfección del suelo facilitó el prendimiento de las plántulas y por tanto su adaptabilidad, lo cual está en relación directa con el porcentaje de prendimiento de las plántulas. A esto se suma lo dicho por Nin y col., (2018) que para una mejor supervivencia de la plántula recomiendan ajustar la fecha de siembra de acuerdo con las condiciones de luz/temperatura, y así poder controlar las interacciones entre la planta y el medio ambiente. El porcentaje de prendimiento del cultivo jugó un papel importante en la producción del fruto por el número de plantas vivas en cada tratamiento.

Por otra parte, el número de flores/planta en to-

dos los tratamientos instalados no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Si se compara este estudio con el de Juárez, Rodríguez y Sandoval, (2007), el número de flores fue alto, ya que el estudio llevado a cabo por los autores mencionados obtuvo un menor número (cinco flores/planta), atribuyendo este bajo número de flores a los factores climáticos que no fueron los adecuados para el cultivo, indicando que las plantas son sensibles al efecto del fotoperiodo y a las altas temperaturas, que pudieron influir en estas diferencias.

Del mismo modo León y col., (2014), mencionan que los requerimientos nutricionales en el cultivo de fresa son esenciales para su desarrollo floral, por lo que un buen plan de nutrición realizado en función de los requerimientos del cultivo y la calidad de suelo también apoyaron a que el número de flores sea alto en esta investigación, independientemente del tratamiento aplicado. Autores como Caruso y col., (2011) indican que la fotosíntesis influye en el número de flores, lo que estaría influyendo para obtener estos resultados. Además, el hecho de estar ubicados en el centro de la tierra con aproximadamente 12 horas de luz también ha jugado un rol esencial en el presente trabajo, lo cual contribuyó a la buena floración del cultivo en los dos sistemas de producción.

La variable de números de frutos/planta en el presente estudio (Tabla 1), y para la evaluación de las primeras producciones ha sido considerada co-

mo aceptable. Cabe indicar que está en relación directa con el número de flores. Los resultados obtenidos, se asemejan a los expuestos por Montero, (2016) y Radin y col., (2011) que encontraron 29 y 37 frutos/planta, respectivamente. Vale mencionar que la investigación de Montero se realizó en la Sierra del Ecuador, con condiciones similares a la provincia de Loja. Los autores antes mencionados sugieren que para obtener un buen número de frutos se debe tener en cuenta la influencia de los factores ambientales como déficit hídrico, temperatura, radiación solar, entre otros. Esto quiere decir que cambios de temperaturas relativamente bajas y altas, en relación a su rango ideal de temperatura que está entre 18 y 25 °C, afectan negativamente en el cuajado del fruto (Ledesma, Nakata y Sugiyama, 2008).

Otro factor muy importante a tener en cuenta para una mejor producción es el de sanidad y nutrición de las plantas, sumado a lo indicado por Poveda y col., (2018) quienes indican que el viento y la presencia de insectos polinizadores también influyen significativamente para obtener un mayor número de frutos y de buena calidad, sea a campo abierto o bajo protección, como lo es en este caso.

El diámetro promedio del fruto en cada uno de los tratamientos (Tabla 1), de manera similar a los otros parámetros evaluados, no ha mostrado diferencias significativas. El diámetro tiene relación directa con el peso del fruto. Hollender y col., (2012) mencionan que el diámetro varía dependiendo del número de carpelos y número de aquenios presentes en el fruto, los aquenios salpican la superficie del receptáculo y producen auxinas para estimular el crecimiento.

De igual forma, Ledesma, Nakata y Sugiyama, (2008) indican que, cuando los aquenios no son fertilizados correctamente, el desarrollo del área en la fruta alrededor de los aquenios se inhibe, lo que se refleja en la malformación del fruto entero, que es evidenciado en el diámetro del fruto. Esto está en concordancia con este estudio, ya que el diámetro del fruto no varió al tener las mismas dosis de fertilización en todos los tratamientos.

Por otra parte, Radin y col., (2011) mencionan que la insuficiente polinización y daño causado por insectos causa la malformación de la fruta en la fre-

sa, lo cual no se presentó en este estudio debido al seguimiento y control estricto del cultivo en todos los tratamientos; sin embargo, este dato se debe tomar en cuenta para plantaciones de áreas comerciales o más grandes.

En lo que respecta a la variable de peso del fruto, no se apreció una diferencia entre los tratamientos (Tabla 1). Estos resultados se asemejan con los que encontró Ibadango, (2017) que también muestra que no existen diferencias en el peso promedio de fruto de fresa cultivado bajo un sistema protegido y bajo un campo abierto. En otro estudio afirman que el peso de los frutos dependerá principalmente del estado nutricional de las plantas y los sólidos solubles totales, que son una característica dependiente de la variedad (Ortiz y col., 2016); esto concuerda con el presente trabajo, que al tener los mismos tratamientos en fertilización, no ha mostrado diferencia en los pesos de los frutos de fresa producido bajo microtúnel y campo abierto. Esto además se corrobora con el estudio realizado por Vignolo y col., (2011), quienes encontraron diferencias significativas en el peso promedio del fruto, probando diferentes dosis de abonamiento y fertilización. Otra de las causas que puede atribuir mayor o menor peso a los frutos es lo explicado por Radin y col., (2011), quienes mencionan que el peso está relacionado con la variedad cultivada, y que la diferencia entre el peso medio por fruto puede estar asociada a factores genéticos, sin dejar de lado a las condiciones del ambiente.

3.1 Análisis productivo y económico del cultivo

En la Figura 1 se muestra la producción total de los diferentes tratamientos de fresa evaluados en el presente estudio, expresado en Kg/ha/año. Se obtuvo una mayor producción neta en el sistema microtúnel en las dos variedades, existiendo una diferencia estadística significativa frente a la producción de campo abierto. Estos resultados concuerdan con los estudios realizados en Colombia por Grijalba y col., (2015), en donde obtuvieron mayores producciones en los sistemas de microtúnel (1260 g/planta) que a campo abierto (1197 g/planta), haciendo la relación para el mismo periodo de tiempo que el de esta investigación (840 g/planta sistema campo abierto y 860 g/planta sistema microtúnel). Grijalba y col., (2015) atribuyen esta mayor producción a que en sus cultivos protegidos hubo menor incidencia de

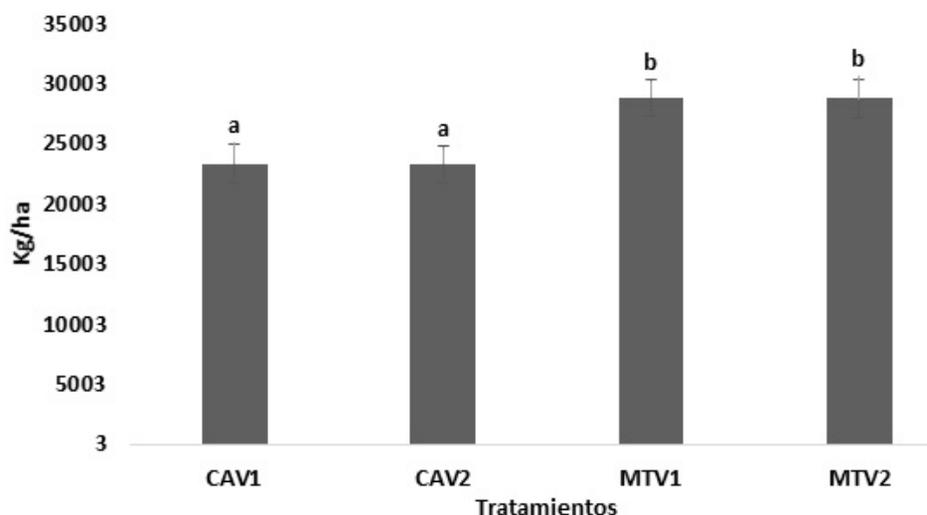


Figura 1. Producción neta (kg/ha/año) de *Fragaria vesca* en los tratamientos evaluados.

Nota: se muestra la producción final expresada en una kg/ha. Las barras representan la media de cada tratamiento con su respectiva desviación estándar. Letras minúsculas diferentes significan diferencia estadística significativa. **CAV1** = Tratamiento campo abierto variedad monterey, **CAV2** = Tratamiento campo abierto variedad albion, **MTV1** = Tratamiento sistema microtúnel variedad monterey, **MTV2** = Tratamiento sistema microtúnel variedad albion.

plagas y enfermedades. El sistema de cultivo (campo abierto o bajo cubierta) puede jugar un papel importante en el rendimiento, como la calidad del fruto (Nin y col., 2018). Además la productividad está relacionada a dos características del cultivo, el peso medio de frutos y el número de frutos producidos por planta a lo largo del ciclo (Otto y col., 2009), dato que concuerda con los pesos de frutos obtenidos en este trabajo. Si bien no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 1), el peso de los frutos producidos bajo invernadero fue mayor, lo que se ha expresado en una mejor producción total.

En el estudio realizado por Rubio y col., (2014), existe un mayor número de ataque por enfermedades en el sistema campo abierto, siendo afectado principalmente por *Botrytis cinerea*, *Sphaerotheca macularis*, lo cual afecta directamente a la producción neta, frente a un sistema protegido y con menor ataque, esto debido a que la humedad es menor en el sistema protegido, y las pérdidas en la producción son menores. De igual forma, el ataque por lepidópteros y ácaros afectó al sistema protegido, dado que en dicho estudio la producción neta fue menor a la de este estudio, ya que obtuvieron y 15365 kg/ha a campo abierto y 20070 kg/ha en sistema

Según Pernuzz y col., (2016) en su estudio de comparación en sistemas producción de micro y macrotúnel, el sistema microtúnel presenta una mayor producción neta que la del presente estudio, que alcanzó 45950 kg/ha; no obstante, sigue confirmando la hipótesis de los buenos resultados de producción al cultivar bajo microtúneles o bajo cubierta. Además, indican que posiblemente la baja producción en el sistema de campo abierto se debe a que se vio afectada por las condiciones climáticas en la época de cosecha, haciendo que el cultivo sea mayormente atacado por plagas y enfermedades.

protegido, siendo una de las posibles causas para la disminución productiva en los dos sistemas. Los rendimientos netos en este estudio, al ser comparados con los datos de los autores antes mencionados, son buenos y aceptables, siendo superiores hasta en un 10% sobre la producción obtenida por Rubio y col., (2014), y en alrededor de un 30% superior sobre la producción media neta de Ecuador. Sin embargo, estos valores son inferiores a otros países como Colombia que tiene una producción alrededor de los 40000 Kg/ha.

3.2 Costo-beneficio (C/B).

En la Tabla 2 se muestra el costo-beneficio por ha/año de producción en todos los tratamientos. Se evidencia que en el sistema a campo abierto y sistema protegido microtúnel son muy similares en el primer año de producción en su relación C/B: 1,57 frente a 1,59, respectivamente. En cualquiera de los

dos sistemas la inversión sería rentable dentro de este primer año. Sin embargo, hay que considerar que los costos de inversión en los sistemas de microtúnel han sido mayores por la infraestructura inicial requerida; pero, dada a la buena producción obtenida su relación de costo-beneficio es positiva como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación del costo-beneficio de *Fragaria vesca* en los tratamientos, expresado en ha/año de producción.

Tratamientos	Ingresos (USD)	Egresos (USD)	Beneficio (USD)	Relación costo Beneficio
CAV1	276777,77	175638,88	101138,89	1,57
CAV2	276740,74	175638,88	101101,86	1,57
MTV1	342324,07	215055,55	127268,52	1,59
MTV2	342101,85	215055,55	127046,30	1,59

Tabla 2 muestra los datos de ingresos, egresos, beneficio y relación costo/beneficio de los tratamientos evaluados. **CAV1** = Tratamiento campo abierto variedad Monterey, **CAV2** = Tratamiento campo abierto variedad Albion, **MTV1** = Tratamiento sistema microtúnel variedad Monterey, **MTV2** = Tratamiento sistema microtúnel variedad Albion.

Siguiendo el patrón de producción de este año 1 en el sistema de producción protegido, se asume que los posibles beneficios económicos en los años posteriores deberían ser mayores en este sistema de producción (microtúnel), ya que las inversiones en infraestructura se reducirían considerablemente, por lo que su uso sería recomendable. Además, estos sistemas son una opción para producir en lugares con condiciones climáticas adversas a los requerimientos climáticos del cultivo, como constantes heladas, bajas temperaturas o fuertes precipitaciones (Rowley, Black y Drost, 2010).

La producción del cultivo está relacionada directamente con el beneficio económico, factor importante para obtener una mejor rentabilidad. Por otra parte, Caruso y col., (2011) mencionan que el rendimiento es uno de los factores básicos para mejorar los ingresos, aunque indican que la calidad del producto también lo es, ya que en muchos mercados la calidad es un valor deseado. Sin embargo, en muchos de los casos los productores no tienen un beneficio satisfactorio, siendo bajas o nulas su rentabilidad por la producción de este cultivo, lo cual se atribuye principalmente a los altos costos de producción (Pineda, 2017), y más aún en la parte inicial de un sistema protegido. No obstante y como lo in-

dica Pernuzz y col., (2016), hay que considerar que el sistema protegido tiene un vida útil de alrededor de 10 años, a excepción de las cubiertas plásticas que podrían ser útiles en promedio unos 5 años, siendo un beneficio en la producción del cultivo, lo cual se verá reflejado en ganancia neta a largo plazo.

Por otra parte, también hay que considerar lo indicado por Rubio y col., (2014), quienes mencionan, desde el punto de vista de la inversión, que el valor de las pérdidas a campo abierto en cada ciclo es aproximadamente la quinta parte de lo que cuesta hacer la inversión de construir el sistema protegido, por lo que muchos productores para no arriesgar capital deciden optar por un sistema de producción tradicional y obtener menores beneficios.

4 Conclusiones

En este caso, en los dos sistemas de producción (tradicional-campo abierto y bajo cubierta), no existió diferencia estadísticamente significativa en las variables fisiológicas evaluadas ($p < 0,05$). Sin embargo, hay que indicar que al ser mayor el peso de los frutos del sistema bajo microtúnel, esto se ha visto reflejado en mayor producción neta final por

ha, siendo esta producción superior a la de campo abierto.

En el análisis de costo-beneficio de producción, la inversión en el sistema de microtúnel fue superior comparada con el sistema de campo abierto. No obstante, se debe acotar que los beneficios de los microtúneles, en cuanto a su mejor productividad, facilidad de manejo e incluso durabilidad de la infraestructura, a mediano y largo plazo, generan mayores beneficios económicos al productor.

El uso de microtúneles en la producción de fresa es una opción viable para los pequeños agricultores, especialmente cuando se presentan condiciones climáticas adversas a los requerimientos climáticos del cultivo, además de la posibilidad de lograr hasta un 30% de mejor producción frente a la media nacional.

Referencias

- Avitia, E. y col. (2014). «Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)» En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5.3, 519-524. Online: <https://bit.ly/32EpAyO>.
- Bernarda, M. y A. Bawab (2017). «Estudio del proceso de secado de fresa usando horno microondas Study of the strawberry drying process using microwave dryer». En: *Revista Prospectiva* 5.1, 29-34. Online: <https://bit.ly/332Tw7W>.
- Caruso, G. y col. (2011). «Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics». En: *Scientia Horticulturae* 129.3, 479-485. Online: <https://bit.ly/2Xury3Z>.
- Corrêa, L. y N. Peres (2013). «Strawberry Production in Brazil and South America». En: *International Journal of Fruit Science* 13.1-2, 156-161. Online: <https://bit.ly/2QzgnFU>.
- Dominí, A. (2012). «Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos». En: *Cultivos Tropicales* 33.3, 34-41. Online: <https://bit.ly/34UzFsT>.
- Estación meteorológica «La Argelia» (2017). *Clima LOJA/LA ARGELIA*.
- Estrada, M. y col. (2017). «Potencialidades para el fortalecimiento de exportación de fresa de Michoacán a Estados Unidos de América». En: *Revista Chapingo Serie Horticultura* 23.3, 135-146. Online: <https://bit.ly/2ra848Q>.
- FAOSTAT (2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO., 2017.*
- Ferriol, M. (2010). «Propiedades nutritivas y otras curiosidades de la fresa». En: *Revista CitriFrut* 27.3005, 72-74. Online: <https://bit.ly/2QxfoG3>.
- Giampieri, F. y col. (2012). «The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health». En: *Nutrition* 28.1, 9-19. Online: <https://bit.ly/2CY19lz>.
- Google Maps (2018).
- Grijalba, C. y col. (2015). «Strawberry yields with high-tunnel and open-field cultivations and the relationship with vegetative and reproductive plant characteristics». En: *Agronomía Colombiana* 33.2, 147-154. Online: <https://bit.ly/35hC8hn>.
- Hollender, C. y col. (2012). «Flower and early fruit development in a diploid strawberry, *Fragaria vesca*». En: *Planta* 235.6, 1123-1139. Online: <https://bit.ly/2raJh49>.
- Ibadango, F. (2017). «Eficiencia y rentabilidad del sistema hidropónico vertical frente al convencional en la producción de tres variedades de fresa (*Fragaria vesca* L.), en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura». Tesis de maestría. Ibarra-Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Online: <https://bit.ly/2Q3ugMd>.
- Infante Villarreal, A. (1984). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Juárez, C., M. Rodríguez y M. Sandoval (2007). «Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero». En: *Terra Latinoamericana* 25.1, 17-23. Online: <https://bit.ly/2K9lmJl>.
- Juárez, P. y col. (2011). «Estructuras utilizadas en la agricultura protegida». En: *Revista Fuente* 3.8, 21-27. Online: <https://bit.ly/2Q8k3Ok>.
- Karim, M. y col. (2011). «In vitro response of strawberry (*Fragaria x ananassa* Dutch.) for callus induction and shoot regeneration». En: *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 1.1, 29-36. Online: <https://bit.ly/2Q5UxJK>.
- Khoshnevisan, B., S. Rafiee y H. Mousazadeh (2013). «Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production». En: *European Journal of Agronomy* 50, 29-37. Online: <https://bit.ly/2O3h5Ju>.
- Lamont, J. y J. William (2009). «Overview of the use of high tunnels worldwide». En: *HortTechnology* 19.1, 25-29. Online: <https://bit.ly/2p9nrx5>.

- Ledesma, N., M. Nakata y N. Sugiyama (2008). «Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. "Nyoho" and "Toyonoka"». En: *Scientia Horticulturae* 116.2, 186-193. Online: <https://bit.ly/2QEm9WN>.
- León, L. y col. (2014). «Consideraciones para mejorar la competitividad de la región "El Bajío" en la producción nacional de fresa». En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5.4, 673-686. Online: <https://bit.ly/37k3vta>.
- López, J. y col. (2011). «Strawberry production in mild climates of the world: A review of current cultivar use». En: *International Journal of Fruit Science* 11.3, 232-244. Online: <https://bit.ly/2pCboco>.
- MAG (2018). *Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018*.
- Montero, M. (2016). «Determinación productiva de la frutilla (*Fragaria vesca*) probando dos tipos de acolchamiento y tres distancias de trasplante en la zona agroecológica de Guano». Tesis de grado. Universidad Estatal de Bolívar. Online: <https://bit.ly/2KbMIUy>, pág. 102.
- Nin, S. y col. (2018). «Soilless systems as an alternative to wild strawberry (*Fragaria vesca* L.) traditional open-field cultivation in marginal lands of the Tuscan Apennines to enhance crop yield and producers' income». En: *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 93.3, 323-335. Online: <https://bit.ly/2Xus6H5>.
- Ortiz, J. y col. (2016). «Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante». En: *Terra Latinoamericana* 34.2, 177-185. Online: <https://bit.ly/2NDuUy9>.
- Otto, R. y col. (2009). «Cultivares de morango de día neutro: produção em função de doses de nitrogênio durante o verão». En: *Horticultura Brasileira* 27.2, 217-221. Online: <https://bit.ly/2KaN88d>.
- Patiño, D. y col. (2013). *Manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas*. Ed. por Curso actualización en el cultivo de fresa SADRA. Online: <https://bit.ly/2QbHtT5>.
- Pérez, M. y col. (2017). «Atributos de calidad en frutos de fresa "capitola" cosechados en diferentes condiciones climáticas en Venezuela». En: *Bioagro* 29.3, 163-174. Online: <https://bit.ly/36Quvjv>.
- Pernuzz, C. y col. (2016). «Evaluación de la conveniencia de los macrotúneles en comparación con microtúneles para el cultivo de frutilla en Coronda». En: *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 15.2, 51-62. Online: <https://bit.ly/2NBMkLw>.
- Pineda, D. (2017). «Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo / beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido Linear programming model design for production planning in a st». En: *Ingenierías USBMed* 8.1, 7-11. Online: <https://bit.ly/2D1dp4E>.
- Poveda, C. y col. (2018). «Eficiencia de polinización de colonias huérfanas de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) en fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo cubierta». En: *Acta Biológica Colombiana* 23.1, 73-79. Online: <https://bit.ly/2XtmdtD>.
- Pradas, I. y col. (2015). «"Fuentepina" and "Amiga", two new strawberry cultivars: Evaluation of genotype, ripening and seasonal effects on quality characteristics and health-promoting compounds». En: *Journal of Berry Research* 5.3, 157-171. Online: <https://bit.ly/2r3kxeq>.
- Radin, B. y col. (2011). «Desempenho de quatro cultivares de morangueiro em duas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul». En: *Horticultura Brasileira* 29.3, 287-291. Online: <https://bit.ly/32ZPbCF>.
- Rodríguez, G. y col. (2012). «Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades Mexicanas y extranjeras de fresa». En: *Revista Chapinango Serie Horticultura* 18.1, 113-123. Online: <https://bit.ly/2X5APPV>.
- Rowley, D., B. Black y D. Drost (2010). «High Tunnel Strawberry Production». Tesis de maestría. Logan: Utah State University Cooperative Extension. Online: <https://bit.ly/2pBe75Q>.
- Rubio, S. y col. (2014). «Determinación de los costos de producción de la fresa cultivada a campo abierto y bajo macrotúnel». En: *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8.1, 67-79. Online: <https://bit.ly/2CZZVGo>.
- Santoyo, J. y C. Martínez (2010). *Paquete tecnológico para la producción de fresa*. Inf. téc. Sagarpa. Online: <https://bit.ly/32HQLJn>.
- Undurraga, P. y S. Vargas (2013). *Manual de Frutilla, Boletín INIA N 262*. Chillán, Chile.: Editorial Trama Impresores S.A. Online: <https://bit.ly/37gzN8p>.
- Verdugo, W. (2011). «Introducción de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) y técnica de fertilización empleando cuatro biofertilizantes líquidos

- dos en Pablo Sexto - Morona Santiago». Tesis de maestría. Universidad Técnica de Ambato. Online: <https://bit.ly/2CzijG3>.
- Vignolo, G. y col. (2011). «Produção de morangos a partir de fertilizantes alternativos em pré-plantio». En: *Ciência Rural* 41.10, 1755-1761. Online: <https://bit.ly/35dmxzt>.
- Vizcaino, L. (2011). «Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de frutilla (Fragaria chiloensis) en Checa – Pichincha». Tesis de maestría. Universidad San Francisco de Quito. Online: <https://bit.ly/34PRYQ8>.
- Yaselga, R. (2015). «Rendimiento de dos variedades de fresa (Fragaria vesca L.) bajo dos tipos de cobertura de suelos en sistemas de microtúneles». Tesis de maestría. Carchi – Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Online: <https://bit.ly/2KaRKv2>.