



Tecnociencia, Vol. 25, N°2: 84-107

Julio-Diciembre 2023

ISSN L 2415-0940

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO EN BIOMASA DE CUATRO CULTIVARES DE MAÍZ: CASO DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO PURIO, PROVINCIA DE LOS SANTOS, AÑO 2021

Franklin E. Wilcox C

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Los Santos. Panamá.
franklin.wilcox@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8617-3137>

Jaime A. Rivera S.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas, Panamá.
jaime.rivera@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-8265-7836>

DOI <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v25n2.a4066>

Fecha de recepción: 13 de marzo de 2023

Fecha de aceptación: 24 de marzo de 2023

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el rendimiento en biomasa de cuatro cultivares de maíz. Realizada en la Finca Aranda, Corregimiento de Pocrí, Distrito de Pocrí, Provincia de los Santos, en época de lluvia. Para este fin, inicialmente, se realiza la caracterización morfoclimática y se estiman las curvas de agresividad climática de la lluvia a través del índice modificado de Fournier (IMF), ajustadas a la subcuenca del río Purio. Posteriormente, se evaluaron los cultivares de maíz P30-F35, SV 1020, IDIAP 1102 y ADV 9293. Implementado un diseño de boques completos al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cinco bloques o repeticiones. Como resultado se obtuvo que, el espacio que comprende la cuenca media y alta del río Purio expone valores estimados muy altos de agresividad climática >160; mientras que, la cuenca baja registra valores considerados altos >120 y <160. No obstante, para la variable rendimiento en biomasa el cultivar P30-F35 obtuvo la mayor media con 28 Kg, seguido del SV 1020 con 26 Kg, el ADV 9293 24 Kg y el IDIAP 1102 con 22 Kg. Concluyendo al no existir diferencia significativa, la elección del cultivar a utilizar está sujeta al costo de semilla en el mercado y el nivel tecnológico de cultivo.

PALABRAS CLAVES

Cultivares, biomasa, índice modificado de Fournier (IMF), Panamá cuenca 126, río Purio.

EVALUATION OF BIOMASS YIELD OF FOUR CORN CULTIVARS: CASE OF THE LOWER BASIN OF THE PURIO RIVER, PROVINCE OF LOS SANTOS, YEAR 2021

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the biomass yield of four maize cultivars. Carried out at Finca Aranda, Corregimiento de Pocrí, District of Pocrí, Province of Los Santos, during the rainy season. For this purpose, initially, the morphoclimatic characterization is carried out and the climatic aggressiveness curves of the rain are estimated through the modified Fournier index (INF), adjusted to the Purio river sub-basin. Subsequently, the maize cultivars P30-F35, SV 1020, IDIAP 1102 and ADV 9293 were evaluated. A randomized complete forest design (DBCA) was implemented, with four treatments and five blocks or repetitions. As a result, it was obtained that the space that includes the middle and upper basin of the Purio river exposes very high estimated values of climatic aggressiveness >160 ; while the lower basin registers values considered high >120 and <160 . However, for the biomass yield variable, the cultivar P30-F35 obtained the highest average with 28 Kg, followed by SV 1020 with 26 Kg, ADV 9293 24 Kg and IDIAP 1102 with 22 Kg. Concluding that there was no significant difference, the choice of cultivar to use is subject to the cost of seed in the market and the technological level of cultivation.

KEY WORDS

Cultivars, biomass, modified Fournier index (IMF), Panama basin 126, Purio river.

INTRODUCCIÓN

El estudio geo ecológico permite a través del análisis morfo genético clasificar e inventariar las unidades del paisaje que integran la cuenca hidrográfica; generando indicadores ambientales que facilitarán la toma de decisiones para mitigar los posibles conflictos ambientales que ocasiona el uso inadecuado de los suelos (Mateo et al., 2010; Teixeira y Dos Santos, 2015).

En consecuencia, desde la perspectiva de los estudios agronómicos, el periodo de lluvias se torna un factor determinante relacionado directamente en erosión del suelo, producto de la erosividad (Lince y Castro, 2015). Por tanto, entre los índices más destacados para calcular la capacidad erosiva de la lluvia y su distribución, se encuentran el denominado factor R presentado por Wischmeier y Smith (en 1958), y el índice modificado de Fournier (IMF), desarrollado por Arnoldus (en 1980); el cual se destaca por su utilidad y confiabilidad en las cuencas con deficientes registros pluviométricos (Lince y Castro, 2015; Blanco, 2019; Méndez et al., 2020).

Atendiendo a lo anteriormente expresado, la erosión tiene una incidencia directa en la degradación del suelo, lo cual significa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (FAO, 1993).

Durante los últimos años condiciones climáticas adversas en la península de Azuero, han afectado fuertemente la producción tanto agrícola como pecuaria. Repercutiendo en altos costos de producción y la baja productividad dentro de las explotaciones pecuarias, lo cual están directamente relacionados con la disponibilidad de alimento en los dos periodos climáticos que registra la provincia de Los Santos, en el año. Por ende, impera la búsqueda de alternativas viables de bajo costo, con la finalidad de suplementar las condiciones de alimentación actual.

En consecuencia, para llenar este vacío, la investigación centra su objetivo en evaluar cuatro cultivares de maíz (Pioneer 30-F35, Semillas Valle 1020, Advanta 9293 e IDIAP 1102) y su rendimiento en biomasa, procurando generar una base de datos sobre el comportamiento agronómico de los mismos; ajustado, por ende, a las características morfo climáticas del sitio de pesquisa, datos los cuales, analizados en conjunto, permitirán que los resultados puedan ser aplicado en aquellas áreas del país, donde existan condiciones ambientales similares.

Basados en los conceptos del profesor John Symonds sobre la alimentación del ganado, el ensilaje es un método para conservar verde el forraje, principalmente los desechos agroindustriales o alimentos como el plátano, la yuca, los cítricos y el pescado, en almacenes conocidos como silos. Mediante un proceso de fermentación anaerobia controlada, se mantiene estable la composición del material ensilado durante largo tiempo a través de la acidificación del medio (Valencia, et al. 2011).

Esto se logra comprimiendo bien el forraje y expulsando el aire. La segunda consideración es que se deben favorecer las fermentaciones lácticas, impidiendo por el contrario las fermentaciones perjudiciales como son las butíricas, que producen putrefacción, hongos y mohos, y, por tanto, mico toxinas (Muñoz, 2020).

Relacionando los conceptos anteriores se considera que el principal uso del ensilado es producir alimento para los animales (rumiantes primordialmente), cuando hay escasez en los periodos secos o épocas de estiaje. El producto final debe obtenerse sin que se produzcan sustancias tóxicas para la salud animal durante el proceso, con un mínimo de pérdidas de materia seca y de nutrientes y manteniendo un buen sabor para el ganado (Valencia, et al. 2011).

El maíz es la forrajera que produce más energía por unidad de superficie. Su principal desventaja es la baja proteína y calcio. Del total de la planta, la mazorca aporta un 50% de la materia seca y alrededor de un 70% de los nutrientes. El proceso de acumulación de materia seca se acelera luego del desarrollo inicial de las hojas. A partir del grano lechoso, la acumulación es mayor. Alcanzando el máximo cuando la planta alcanza su madurez fisiológica (Cofré, et al. 1998).

Demagnet (2017), nos dice que el almidón proporciona a la dieta animal una gran cantidad de energía de fácil digestión. Principalmente proviene de los granos de cereales y, en segundo lugar, de ensilajes de granos tradicionales, principalmente del maíz.

El ensilaje de maíz es un componente importante en la dieta del ganado, debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos

de estabulación, estabulación temporal y pastoril. Los productores que establecen este cultivo suplementario no solo buscan alcanzar un buen rendimiento de materia seca: 20 a 26 Tonelada métrica/ha (cosechando la plata completa), sino que también un alimento de alto valor nutricional (Demagnet, 2017).

En las dietas del ganado en general, el ensilaje de maíz es el perfecto complemento al consumo de pasturas permanentes. El sistema de alimentación óptimo es aquel que puede combinar la proteína y la fibra de la pastura con la energía y el almidón del ensilaje de maíz, asegurando así, una alta eficiencia de utilización de ambos recursos forrajeros (Demagnet, et al., 2020).

Por otro lado, el mayor crecimiento de la población a nivel mundial hace necesario que nuestros países cada día realicen esfuerzos tendientes a lograr una mayor producción y productividad de carne vacuna y de leche para satisfacer la demanda creciente por estos productos. Para lograr este objetivo, los países deben elaborar y desarrollar políticas y estrategias para reducir la brecha entre la oferta y la demanda de estos productos (Gálvez, et al. 2009, p. 9).

Dando una visual a la situación en Panamá, anualmente se consumen unos 480 millones de litros (L) de leche entre fluida y diversos productos lácteos nacional e importada, siendo la producción panameña de unos 180 millones de litros y el consumo per cápita está por 120 L (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, 2021).

En consecuencia, justamente debido a las características climáticas de la provincia de Los Santos, los productores utilizan la técnica del ensilado para asegurar el suministro de alimento y garantizar el aporte nutricional diario que sus semovientes demandan durante el periodo seco. Es por este motivo, que la pesquisa tiene por objeto evaluar el potencial de rendimiento del cultivo de maíz en biomasa vegetal; como una alternativa alimentaria que coadyuve a mitigar los estragos que genera el estrés hídrico ambiental en esta región del país.

En mismo contexto de consumo, Gerardo González presidente de la Asociación Nacional de Ganaderos (ANAGAN), citado por Villar (2019) explicó que a la fecha el consumo per cápita por año del

panameño, se sitúa en 13.3 kilos (Kg) de carne deshuesada, con una matanza promedio de 325,000 reses al año.

En el caso de la ganadería, además, se debe lidiar con la estacionalidad de las praderas, donde el recurso forrajero es mayor en algunas épocas del año que en otras. Es decir, la producción de materia seca no es continua, como el consumo de las vacas. Por lo tanto, la conservación del forraje es esencial para poder alimentar todo el año a las vacas. Uno de los recursos más utilizados es el ensilaje de maíz (Muñoz, 2020).

Sin lugar a duda, los datos citados, confirman la importancia que tiene el sector pecuario en el desarrollo socioeconómico del país. Por tal razón, y en aras de colaborar con procedimientos y técnicas agrícolas que faciliten la manutención alimentaria del ganado (durante el periodo seco); la investigación procura ofrecer resultados que le permitan a los productores asegurar su alimento y disminuir los costos de producción. Al respecto, según Muñoz (2020), uno de los aspectos más relevantes y de mayor impacto en el costo de la producción animal, es la alimentación. Más del 65 por ciento (%), aproximadamente de los costos se asocian a este factor, por ende, un manejo eficiente de estos recursos es fundamental a la hora de lograr una óptima rentabilidad en el negocio, ya sea en producción lechera o cárnica.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

Localización: La investigación se realizó en la finca ARANDA, corregimiento de Pocrí, provincia de Los Santos. Ajustada a las recomendaciones de Gordón (2012, p 4), el cual indica que, “para el área de estudio, el mejor periodo de cultivo se extiende de septiembre a enero, especificando que la siembra se realizada del 1 al 15 de septiembre”. La finca experimental donde se ubica el sitio de pesquisa cuenta con $\pm 38,6$ ha, que se localizan sobre la franja marino-costera de la cuenca hidrográfica 126, específicamente, en la subcuenca del río Purio (figura 1).

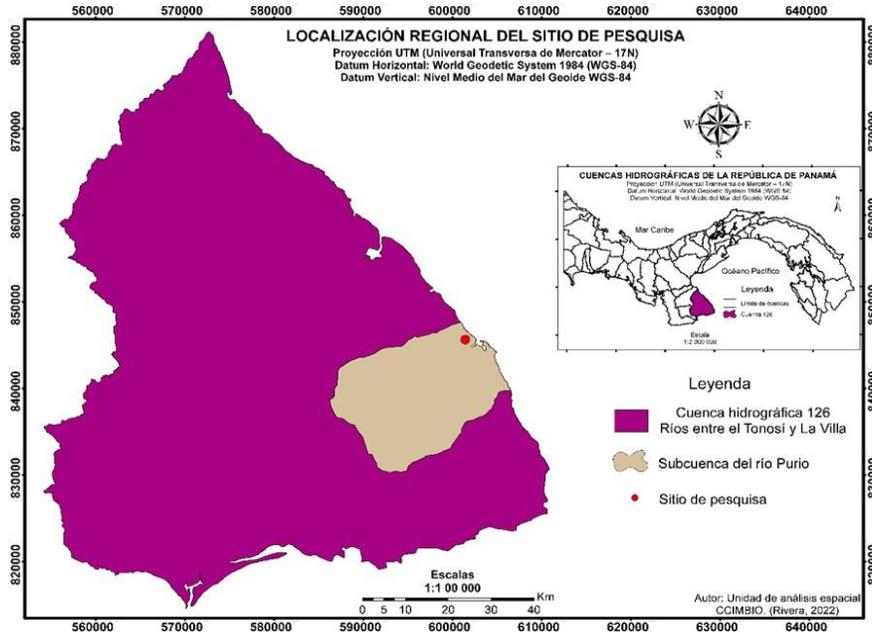


Figura 1: Sitio de pesquisa. Fuente: Rivera (2023)

Procedimientos metodológicos:

Para demostrar hipotéticamente el efecto del clima, se elaboró un cuadro sinóptico donde se relacionan las variables climáticas de temperatura, precipitación y la estacionalidad; con los procesos geomorfológicos determinados. Para alcanzar este objetivo, se adecua la metodología de Peltier 1950 y Chorley et al. 1984 (Gutiérrez, 2009); y posteriormente, se compilan los datos climáticos de la estación meteorológica Pedasí, toda vez que, es la estación más próxima (± 14 km), al sitio de pesquisa.

Para estimar los valores de precipitación y temperatura durante el periodo lluvioso, inicialmente, se delimita la cuenca hidrográfica (archivo shapefile. Cuenca 126), y se localizan sus estaciones al importar en ambiente ArcGIS el archivo excel con los datos X, Y, Z (Berezuk, 2014).

Para despejar el índice modificado de Forner (IMF), y descubrir el valor de las curvas de agresividad climática dentro de la subcuenca del río Purio; se recolectan los datos de precipitación promedio del total (14), de las estaciones meteorológicas localizadas dentro de la gran cuenca

hidrográfica 126. Acto seguido, en ambiente ArcGIS 10.7.1:

- Se abre un nuevo proyecto y se efectúa un *Join*, para importar las tablas de excel con los valores de Z, Y, Z.
- Se importan los archivos *shapefile* que contienen la cuenca y subcuenca hidrográfica.
- Se crean los *raster* mensuales (12), de precipitación siguiendo la rutina *Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW*.
- Se procede a calcular los valores del IMF, despejando la fórmula de acuerdo con Blanco (2019):

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{Pt}$$

Donde:

IMF/ Índice Modificado de Fournier.
 p²/ precipitación media mensual (mm).
 Pt/ precipitación promedio anual (mm).

- Para despejar la ecuación se emplea la rutina (*Spatial analyst tools – Map algebra – Raster calculator*).
- Para interpretar la intensidad los valores obtenidos del IMF, se recomienda utilizar los rangos expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Rangos para la clasificación del IMF.

Índice modificado de Fournier		
Clases	Rangos	Clasificación
1	<60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 – 120	Moderado
4	120 – 160	Alta
5	>160	Muy alta

Fuente: Commission of the European Communities (CEC/1992).

Finalmente, para contextualizar el entorno natural que circunscribe la finca experimental, se discriminan las geofacies por unidades

morfogenéticas. Para tal fin, aunado al trabajo de campo (colecta de puntos UTM), en ambiente ArcGIS 10.7.1., se aplican técnicas de georreferenciación, geoprocesamiento y vectorización sobre las imágenes SRTM y CNES / Airbus 2022 para cuantificar las unidades morfogenéticas y obtener las características morfométricas de la finca experimental.

Culminado los procedimientos metodológicos que facilitarán el reconocimiento de diversos valores y/o indicadores ambientales del espacio natural asociados a la subcuenca del río Purio; inicia la etapa correspondiente con los procedimientos agronómicos.

Preparación de suelo: Para esta investigación se utiliza el sistema de siembra labranza cero, aplicando un control inicial de malezas con el herbicida Bipiridilo Paraquat a dosis 2 L/ Hectárea (ha), posteriormente se realizará la marcación y división de los bloques y tratamientos con cinta y estacas.

Siembra: Se realizó a chuzo, cuatro hileras por tratamiento a razón de 0.20 metros (m) entre plantas y 0.80 m entre hileras, a dos granos por golpe para su posterior raleo a una planta por sitio y asegurar la población de 62,500 plantas/ha, un control de maleza pre emergente con glifosato a 3 L/ha, más un control pos emergente con Dinitroanilina Pendimentalina (Prowl 45,5 CS) + Atrazina (gesaprim 90 WDG) a los 12 días después de germinación (DDG).

Fertilización: Se utilizó la fertilización recomendada por Gordón (2012), 130 a 200 kg de N/ha, 60 kg de P O /ha, 20 a 2 5 30 kg de K y 20 a 30 kg de S/ha. Estas cantidades de nutrimentos se logran aplicando 5 qq de fórmulas como 13-26-6-7 al momento de la siembra. Para completar la cantidad de nitrógeno indicada, es necesario aplicar 5.5 a 8.0 quintales (qq) de urea/ha en una o dos aplicaciones (depende de la precipitación). De realizar una sola aplicación la misma se debe realizar de 30 a 35 dds; mientras que, si se realizan en dos fraccionamientos la aplicación de urea, la primera aplicación se realiza de 17 a 21 dds a razón de 2.5 a 3.5 qq/ha y la segunda aplicación de 35 a 40 dds en dosis de 3.0 a 4.5 qq/ha (p. 7).

Cosecha: Fue realizada de forma manual por tratamiento, en la etapa de madurez fisiológica, cosechando las dos hileras del medio, cortando la plata desde la base a ras de suelo, para su posterior picado (mediante desmenuzadora a gasolina) y posterior pesaje del material.

Diseño Experimental: El ensayo se realizó en una superficie total de investigación de 324 metros cuadrados (m²), que comprende 5 bloques de tratamientos con 60 m² cada uno, y separados entre sí a 0.5 metros (m). Como unidad experimental se consideró cuatro hileras de cultivo separadas a 0.8 m con un total de 12 m² por tratamiento, y se tomaron como muestra de análisis las dos hileras centrales con un total de 4m² cada una, excluyendo las hileras externas como efecto de borde.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), que responde al siguiente Modelo Lineal Aditivo para este experimento (Kuehl, 2001):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = Observación de la respuesta en el nivel o bloque Ith, con el material de maíz jth.

μ = Media poblacional estimada por la media general del ensayo.

τ_i = Efecto del material de maíz jth β_j = Efecto del Ith nivel o bloque.

e = Error experimental

Dónde: i = 1,5

J = 1...4

Bajo el supuesto: E_{ij} NNID (0, σ^2) mejor conocido como supuesto de normalidad, tabla 2.

Tabla 2. Supuesto de normalidad.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloque	r - 1 = 4
Tratamiento	t - 1 = 3
Error	(r - 1) (t - 1) = 12
Total	rt - 1 = 19

Fuente: Elaborado por el autor

Considerando al factor inter-sujeto, tabla 3, se presentan los materiales en estudio los cuales corresponden a su número de tratamiento de la siguiente manera:

Tabla 3. Factor inter-sujeto.

Tratamiento	Material
T1	P30-F35
T2	SV 1020
T3	IDIAP 1102
T4	ADV-9293

Fuente: Elaborado por el autor

El parámetro evaluado o variable de respuesta a cuantificado fue:

- Producción de biomasa (kg/m²)

Se efectuaron análisis cuantitativos y cualitativos, observaciones de tipo fitopatológicas (sólo reportada), observación de daños fisiológicos y en el aspecto económico.

EL análisis de varianza fue realizado mediante el sistema de análisis estadístico (SPSS). Se efectuarán pruebas de comparación de medias para los factores en estudio (Pérez, 2001).

RESULTADOS

Con base en las recomendaciones teóricas antedichas, se logra elaborar el cuadro sinóptico que expone la relación existente entre las variables climáticas citadas y los procesos geomorfológicos actuantes, ajustados para la subcuenca del río Purio (tabla 4).

Tabla 4. Caracterización de la región morfoclimática y procesos geomorfológicos actuantes.

Estación	Prom. Anual T °C	Total Anual Pmm	Estacionalidad Meses >50 mm	Región Morfoclimática:		
				Prom. Anual T °C >25	Total anual Pmm >1000	
Pedasí	27,1	1564,4	8	De II orden: Tropical húmeda estacional		
Procesos Geomorfológicos:						
			Meteorización Física - química Intensa	Erosión Pluvial Moderada	Movimientos de Masas Moderada	Erosión Eólica Mínima

Fuente: Rivera, (2023).

Fuente: Elaborado por el autor.

Respecto a los nuevos valores de precipitación y temperatura estimados por interpolación en ambiente ArcGIS 10.7.1., para el periodo lluvioso (total de meses con >50mm de precipitación); la figura 2 expone el conjunto de isoyetas distribuidas dentro de la cuenca 126 por estacionalidad climática.

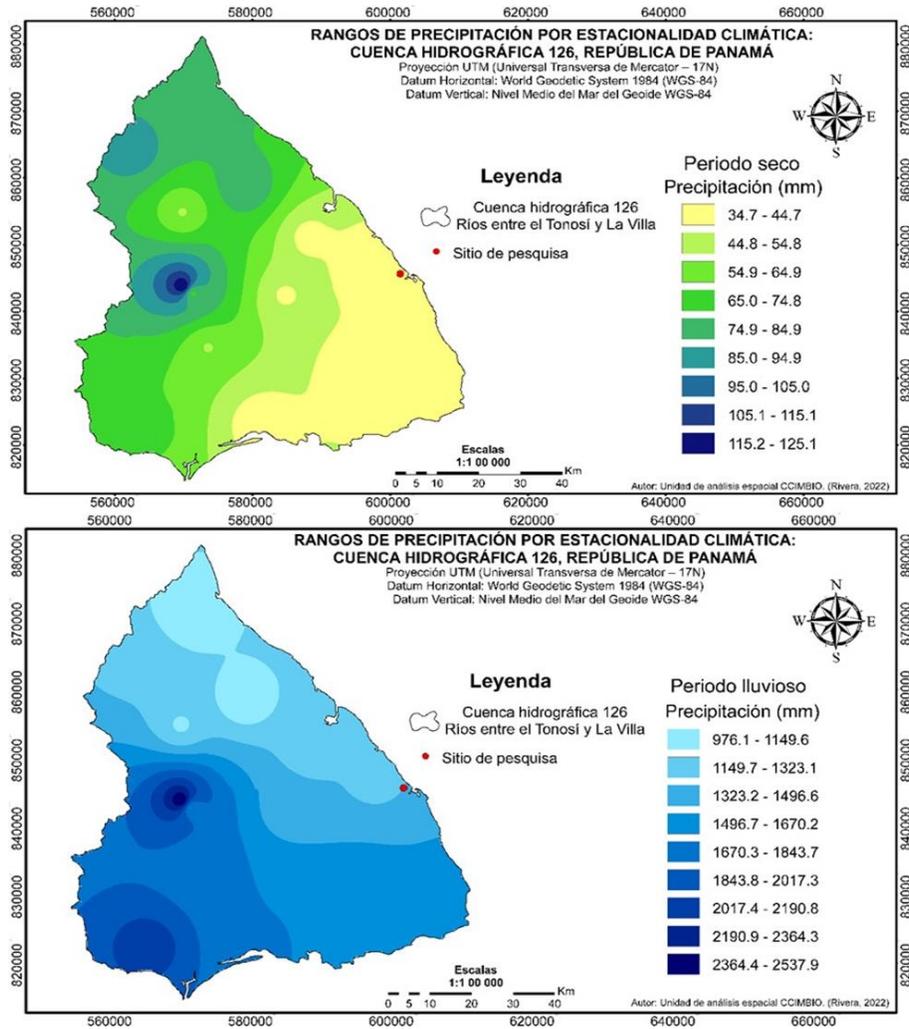


Figura 2. Distribución espacial de la precipitación por estacionalidad climática. Fuente: Rivera, (2023).

En atención con los valores estimados para demostrar los valores de erosividad según el IMF, la figura 3, expone el mapa coroplético que ilustra la distribución espacial de los rangos de agresividad climática.

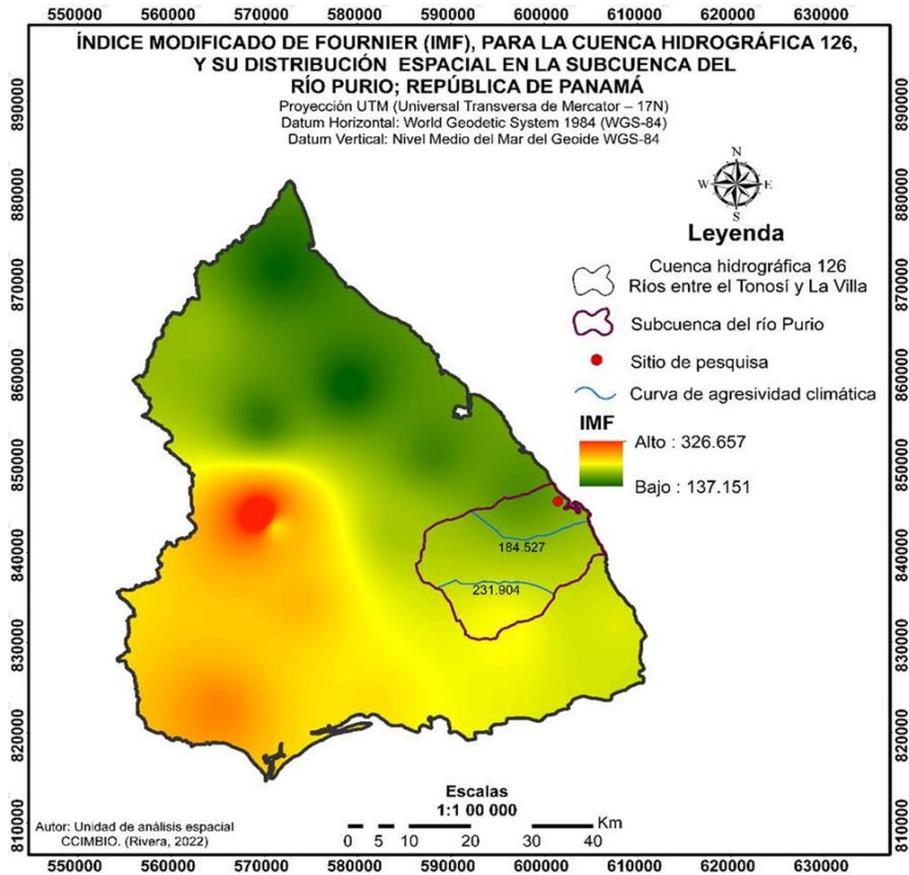


Figura 3. Cálculo del IMF para la cuenca hidrográfica 126. Fuente: Rivera, (2023).

Finalmente, producto del tratamiento en GIS de imágenes satelitales seleccionadas, la figura 4, contiene las diferentes unidades morfogénicas por geofacies que integran la finca experimental; además, de los datos morfométricos por polígono.

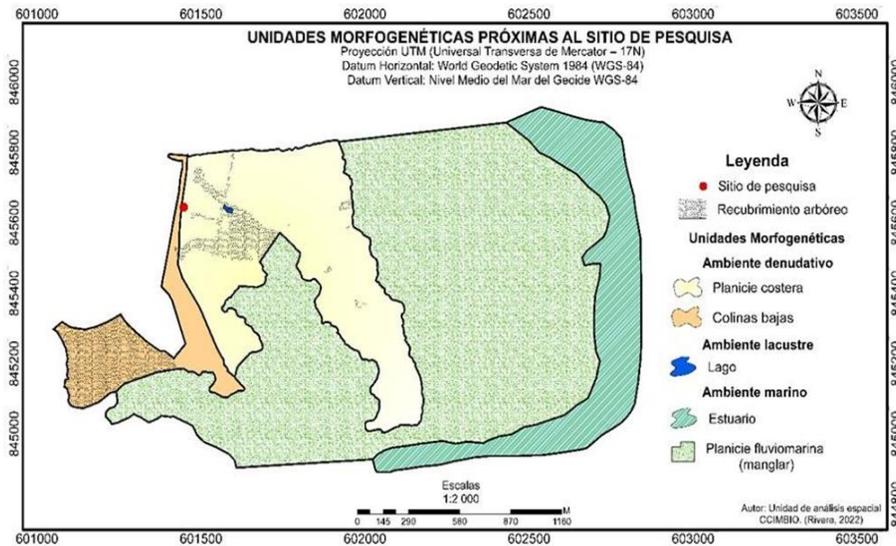


Figura 4. Geofacies que integran las unidades morfogénicas de la finca experimental. Fuente: Unidad de análisis espacial. CCIMBIO - CRUV

Para el análisis de prueba de efecto inter-sujeto, tabla 5 se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, si existe diferencia significativa entre los bloques, atribuible a la topografía inclinada de la parcela en estudio. De la misma forma se observa que el R al cuadrado ajustado (0,458) está dentro de los parámetros aceptables (5%), lo cual indica que el diseño planteado y la metodología en la toma de datos para esta investigación es aceptable.

Tabla 5. Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	119,337a	7	17,048	3,290	0,034
Interceptación	13109,760	1	13109,760	2529,814	0,000
Bloques	50,387	4	12,597	2,431	0,105
Tratamientos	68,950	3	22,983	4,435	0,026
Error	62,185	12	5,182		
Total	13291,283	20			
Total corregido	181,522	19			

a. R al cuadrado = 0,657 (R al cuadrado ajustada = 0,458)
Fuente: Elaborado por el autor

Por otro lado, en la prueba comparativa de medias, tabla 6 y la figura 5 de medias marginales estimadas en kilogramos muestran que el tratamiento 1 obtuvo la mayor media con 28 kilogramos (Kg), seguido del tratamiento 2 con 26 Kg, el tratamiento 4 con 24 Kg y el tratamiento 3 con 22 Kg en orden descendente de producción. En cuanto a los intervalos de confianza vemos que los valores máximos o mínimos respecto a la media general poblacional por tratamiento son aceptables, lo cual corrobora la metodología planteada en esta investigación.

Tabla 6. Prueba comparativa de Medias.

Tratamientos	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
T1	28,040	1,018	25,822	30,258
T2	26,400	1,018	24,182	28,618
T3	22,990	1,018	20,772	25,208
T4	24,980	1,018	22,762	27,198

Fuente: Elaborado por el autor

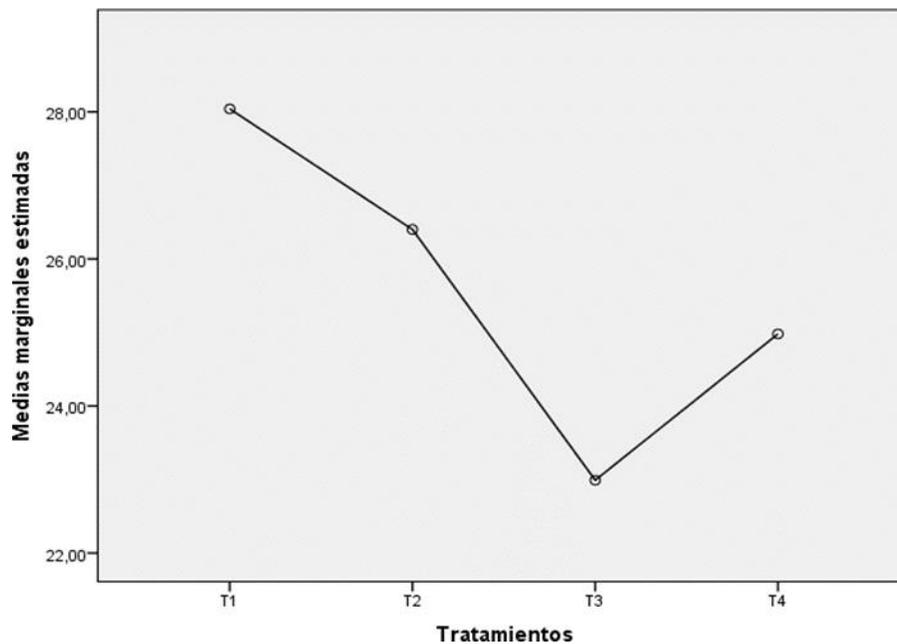


Figura 6. Medias Marginales estimadas en kilogramos.

Fuente: Elaborado por el autor

En el análisis de diferencia mínima significativa (DMS) o prueba de comparación múltiple de medias, tabla 7 indica que existe diferencia significativa del tratamiento 3 con la menor media respecto al tratamiento 1 y 2; no así con el tratamiento 4. De manera general no existe diferencia significativa entre los tratamientos 1, 2 y 4 mostrando una diferencia mínima entre sus medias (Tabla 7).

Tabla 7. Comparaciones múltiples.

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	1,6400	1,43974	,277	-1,4969	4,7769
	T3	5,0500*	1,43974	,004	1,9131	8,1869
	T4	3,0600	1,43974	,055	-,0769	6,1969
T2	T1	-1,6400	1,43974	,277	-4,7769	1,4969
	T3	3,4100*	1,43974	,035	,2731	6,5469
	T4	1,4200	1,43974	,343	-1,7169	4,5569
T3	T1	-5,0500*	1,43974	,004	-8,1869	-1,9131
	T2	-3,4100*	1,43974	,035	-6,5469	-,2731
	T4	-1,9900	1,43974	,192	-5,1269	1,1469
T4	T1	-3,0600	1,43974	,055	-6,1969	,0769
	T2	-1,4200	1,43974	,343	-4,5569	1,7169
	T3	1,9900	1,43974	,192	-1,1469	5,1269

Fuente: Elaborado por el autor

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El estudio geocológico centrado en el análisis espacial por cuencas hidrográficas, comprobó que es posible estimar los rangos de precipitación estacional en sitios específicos. También, la posibilidad de generar indicadores ambientales que coadyuvan con el desarrollo de las ciencias agronómicas, con es el caso del IMF.

Así, con apoyo de los datos pluviométrico que en conjunto promedian 42.5 años de registros (14 pluviómetros / cuenca 126); los valores

estimados de precipitación para la finca experimental son de 39,7mm para el periodo seco, y de 1409,9 durante el lluvioso. Por tanto, en atención a la metodología recomendada para la caracterización de la región morfoclimática (Gutiérrez, 2009); y de acuerdo con los parámetros expuestos en la tabla 4, al mantener precipitaciones anuales >1000mm, en el sitio de pesquisa, los procesos geomorfológicos actúan con la intensidad característica de las regiones morfoclimáticas de II orden (tropical húmeda estacional).

En consecuencia, para expresar cuantitativamente el grado de erosividad de esta lluvia estacional, se utilizó el índice modificado de Fournier (IMF), porque se calcula con base en registros pluviométricos y no pluviográficos (Blanco, 2019). Para el computo de los resultados, en ambiente ArcGIS, se empleó el método de interpolación de distancia ponderada inversa (IDW), por su eficacia al ponderar los nuevos datos a partir de los puntos de valores más próximos (Belasri y Lakhouili, 2016). En efecto, como el IMF expresa la relación de la precipitación promedio anual, y su potencial erosivo vinculado con la carga en suspensión que transportan los cursos fluviales ($Tm/km^2/año$), (Gutiérrez, 2009); de acuerdo con la figura 3, la cuenca 126 expone valores extremos entre 326,657 y 137,151, mientras que, la tabla 8 presenta los valores de las curvas de agresividad climática por área y clasificación para la subcuenca.

Tabla 8. IMF para la subcuenca del río Purio.

Subcuenca del río Purio	Análisis espacial	Clasificación (CEC/1992), y análisis porcentual
Max. 231,904	Cuenca alta sector S – W área de 52,4 km ²	>160 Muy alta (79,2 %)
Inter. 184,527	Cuenca media centro – W y centro – E área 115,0 km ²	
Min. 137,151	Cuenca baja sector N área 43,7km ²	120 – 160 Alta (20,8 %)

Fuente: Unidad de análisis espacial. CCIMBIO – CRUV.

Finalmente, como es necesario inventariar las unidades del paisaje, para generar indicadores ambientales que nos permitan monitorear su estado (resiliencia, degradación y recuperación), en el tiempo. así, con relación a las unidades morfogenética y sus valores morfométricos, la figura 4 resalta la existencia de tres (3), unidades; donde el ambiente denudativo detalla colinas bajas (9,32ha), recortadas por cotas de 20msnm, y una planicie costera (29,32ha), que colinda con la planicie fluvio-marina; de esta correlación se obtiene una pendiente de 3,07%. También, coadyuba a mitigar los procesos erosivos la coexistencia del ambiente marino conformado por dos geofacies, el estuario (18,54ha), y la presencia de manglar sobre la planicie fluvio-marina (78,59ha), que bordean el perímetro de la finca experimental; aunado a una cobertura de bosque tropical estacional que sobre la finca abarca 8,6ha.

En cuanto al parámetro rendimiento en la prueba comparativa de medias, tabla 7 nos indica que no existió diferencia estadística a nivel de significancia 0.05 entre los tratamientos 1 con 28,04 kg, 2 con 26,40 kg y 4 con 24,98 kg, más sin embargo si existió diferencia entre los tratamientos 1 y 2 respecto al tratamientos 3 con 22,99 kg; aunado a esto en la interrelación entre el tratamiento 3 con, y 4 no se presenta diferencia significativa.

A manera de discusión, la tabla 9 muestra la transformación de los resultados obtenidos en la parcela efectiva en Kg/4m², a rendimiento en tonelada t/ha por cada cultivar en estudio. Siendo el P30-F35 el que presenta la media de producción más alta.

Tabla 9. Rendimiento en toneladas/hectárea por cultivar.

Tratamiento	Cultivar	Kg/4m ²	t/ha
T1	P30-F35	28,04	70,1
T2	SV 1020	26,40	66,0
T3	IDIAP 1102	22,99	62,5
T4	ADV 9293	24,98	57,5

Fuente: Elaborado por el autor

Considerando las medias de rendimiento obtenidas en el análisis estadístico, los cuales se muestran en la tabla 6, los valores obtenidos por cultivar se muestran altos con respecto a lo reportado por Cuevas et al. 2002, con una media de 20 t/ha, considerando el bajo manejo

agronómicos aplicados a la producción de silos.

Lo anteriormente expresado marca una gran diferencia en rendimiento sin importar el cultivar, al utilizar las prácticas ergonómicas (densidad, siembra, fertilización, protección vegetal) correctamente recomendadas para el establecimiento de cultivo de maíz.

Correlacionando los resultados de los indicadores del análisis morfoclimático estudiados, los cuales muestran una pendiente 3%, un índice de agresividad alta (>160), provocado por la cantidad y distribución pluviométrica en época de lluvia que se recomienda el establecimiento del cultivo de maíz en el sitio de pesquisa, consideramos que utilizar el sistema de labranza cero es la práctica agrícola correcta, con la finalidad de provocar pérdida de suelo y por ende, disminución de la fertilidad de los mismos.

Como consideración final, destacando los altos rendimientos obtenidos en esta investigación, es necesario realizar periódicamente análisis de distintos materiales híbridos o variedades, en diferentes épocas del año

y bajo los sistemas de producción adecuados al momento. En la misma línea, es imperante ensayar arreglos topológicos considerando las distintas arquitecturas de los cultivares, la incorporación de bioestimulantes para maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes aplicados y el monitoreo de las condiciones edafoclimáticas las cuales se han presentado inestables durante los últimos años en la Península de Azuero, por la evidente variabilidad climática provocada por el Cambio Climático Global.

CONCLUSIONES

Al comprobar el IMF (índice de agresividad climática o de la lluvia), empleando las técnicas geomáticas es posible identificar y calcular con precisión las áreas susceptibles a erosión, producto de la cantidad de precipitación versus la escorrentía superficial.

Al cotejar los cálculos del IMF, la distribución espacial de las curvas de agresividad climática obedece a la configuración geomorfológica de la subcuenca, en la cual, los valores máximos registrados (231,904), se encuentran hacia la cuenca alta (de recepción), y disminuyen paulatinamente hacia la cuenca media (184,527), hasta alcanzar sobre las planicies costera los valores más bajos identificados (137,151); siendo este comportamiento iterativo para casi toda la cuenca 126. En consecuencia, se recomienda realizar las prácticas agrícolas supervisadas por un especialista.

Por consiguiente, consideramos que la elección de los sistemas de cero labranza y labranza de conservación, son los recomendados para las parcelas de producción que se encuentran en las áreas de alta agresividad climática, ya que un índice de erosividad alto constituye una fuente de degradación directa de la fertilidad de los suelos agrícolas con pérdida de la materia orgánica y microbiota.

Considerando los rendimientos por cultivar obtenidos (250% más que lo reportado por Cuevas et al. 2002) en esta investigación, los cuales se muestran en la tabla 9, y conociendo que estadísticamente no existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, podemos concluir que la elección de un material para la producción de biomasa dependerá de la disponibilidad de semilla, el costo de la semilla en el mercado y el nivel tecnológico del productor. Las recomendaciones quedan sujetas a la disponibilidad del recurso monetario, para la implementación de prácticas agrícolas requeridas.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento es para Juan Santos y María Jiménez por el apoyo durante los monitoreos en campo. Este estudio fue apoyado parcialmente por fondos de Idea Wild 501c (3), a través de la fundación Biodiversity Conservation Organization.

REFERENCIAS

Belasri, A. & Lakhouili, A. (2016) Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) & Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 8, 98-107. <http://dx.doi.org/10.4236/jgi>

Berezuk, G. (2014). Análisis das tendencias do ritmo pluviométrico na bacia hidrográfica do Amambai-MS/Brasil. *Experimentos em Climatologia Geográfica*. (pp. 325 – 340). Brasil. Editora da UFGD.

Blanco, M. (2019). Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del lago Xolotlán, Managua. *Revista científica Nexo*. Vol. 32 (1), pp. 41-51. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7986>

Cofré, P. & John E. (1998). Ensilaje de Maíz. INIA [Archivo PDF]. bit.ly/3sMIWB6.

Commission of the European Communities (CEC). (1992). CORINE soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. EUR –Luxembourg. <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-soil>

Cuevas, M; Medina, L; González, G; & Yoshida, M. (2002). UP – PROMEGA. Técnicas de Producción de Ensilaje. [Archivo PDF]. bit.ly/3DkYH8A

Demagnet, R. (2017). Ensilaje de Maíz. “Tiempo entre Sellado y Apertura” [Archivo PDF]. Plan Lechero WATT’S N° 3. Universidad de La Frontera. bit.ly/3GTC9uu

Demagnet, R. & Canales, C. (2020). Manual. Cultivo del maíz para ensilaje [Archivo PDF]. bit.ly/3BtZMZh

Gálvez, R. & Rodríguez, I. (2009). MIDA - FAO. Programa Nacional de Zonificación Agroecológica. Resultados de la Zonificación Agro-Ecológica de 20 Especies de Pastos y Forrajes en la República de Panamá [Archivo PDF]. bit.ly/3BowETg

Gordón, R. (2012). Manejo Integrado del Cultivo de Maíz. Guía Técnica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Impresora Central S. A. Panamá.

Gutiérrez, M. (2009). Geomorfología. Madrid, España: Pearson Educación.

Hernández R. Fernández C. & Batista P. (2014). Metodología de la Investigación 6a Edición. <https://www.uca.ac.cr>.

Kuehl, R. (2001). Segunda Edición. Diseño de Experimentos Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigación. THOMSON EDITORES, S. A. México.

Lince, L. & Castro, A. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Cenicafé*, 66 (1), pp. 25-31. <https://n9.cl/sdjg1>

Mateo, J.; Da Silva, E. & Brito, A. (2010). *Geoecologia das paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental*. (3ª ed.). Fortaleza, Brasil: Edições UFC.

Méndez, W; Pacheco, H; Landaeta, L; Menéndez, E; Pérez, M; Parra, G; y Fuentes, J. (2020). Indicadores de erosividad de la lluvia en una cuenca de la Serranía del Litoral Central de Venezuela. *Revista de Geografía Norte Grande*, 76, pp. 279-301. <https://n9.cl/a67ut>

Muñoz Hinrichsen, A. (marzo 2020). Hablemos de ensilaje de maíz. Su importancia como recurso forrajero & la relevancia del monitoreo periódico. *Revista Infortambo Lechería Chile*. Edición 202, 34-38. bit.ly/3gPosBZ

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura & la Alimentación (FAO). (1993). *Erosion de suelos en America Latina*. Tema 2 Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo. <https://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>

Panamá. Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). (2021). *Producción de leche en Panamá a buen ritmo de crecimiento*. bit.ly/3I7GrQ0

Pérez López, C. (2001). Técnicas Estadísticas con SPSS. PERSON EDUCACION, S. A. Madrid.

Rivera, J. (2023). Estimación de la Capacidad Erosiva de Lluvia según Índice Modificado de Fournier: Caso de la Cuenca Hidrográfica 126, República de Panamá. *Gobernanza, Comunidades Sostenibles & Espacios Portuarios*. (pp. 1291 – 1307). España. Editorial/ Asociación de Geógrafos Españoles (AGE). DOI: <https://doi.org/10.21138/dl/2023.lc>.

Teixeira, A. & Dos Santos, M. (2015). Geomorfología Ambiental. (7ª ed). Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil.

Valencia Castillo, A. Hernández Beltrán, A. & López de Buen, L. (Mayo-Agosto 2011). El ensilaje: ¿qué es y para qué sirve? *Revista de Divulgación Científica & Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. Volumen XXIV, Número2, 9. [bit.ly /3gN0ojn](http://bit.ly/3gN0ojn)

Villar, V. (13 noviembre de 2019). Consumo de carne de res disminuye 18% en los últimos cinco años. *Capital Financiero*. [bit.ly /34JztT3](http://bit.ly/34JztT3).