

Estimación de biomasa y carga animal en humedales ribereños utilizando ortofotografías multiespectrales adquiridas con microsensores transportados en vehículos aéreos no tripulados “Drone”

Estimation of biomass and animal load in riverside wetlands using multispectral orthophotographs acquired with microsensors transported in unmanned aerial vehicles “Drone”

Blanca Nélica Puelles Condori¹, Jim Cárdenas Rodríguez², Andrés Corsino Estrada Zúñiga³

Resumen

El estudio se realizó en los humedales ribereños de San Pedro y San Pablo adyacentes al río Vilcanota en la provincia de Canchis, Cusco, en el sur del Perú. El objetivo fue estimar la producción de biomasa aérea y la capacidad de carga animal de estos humedales a partir del análisis de muestras adquiridas en campo y ortofotografías de índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Las imágenes se adquirieron con una cámara multiespectral Parrot Sequoia, transportado por un Drone Matrice 100 DJI y procesadas en el software Pix4D y ArcGIS 10.6. EL estudio identificó 5 clases de uso de suelo: humedal, agricultura, urbanización, salinera y agua. La producción de biomasa estimada con datos de campo fue 2,359.46 kg/ha y 2,885.78 kg/ha, mientras que la estimación de biomasa con ortofotografías NDVI fue de 2,321.71 kg/ha y 3,048.72 Kg/ha para los humedales de San Pablo y San Pedro respectivamente. La capacidad de carga animal estimada a partir de datos de campo fue de 0.48 UV/ha/año y 4.79 UO/ha/año en el humedal de San Pablo y 0.59 UV/ha/año y 5.86 UO/ha/año en el humedal de San Pedro, esta misma variable estimada a partir de ortofotografías NDVI para el humedal de San Pablo fue de 0.47 UV/ha/año y 4.71 UO/ha/año y para el humedal de San Pedro se obtuvo 0.62 UV/ha/año y 6.19 UO/ha/año de carga animal. Las estimaciones realizadas para capacidad de carga muestran diferencias del 1.87% para vacunos, 2.13 % para ovinos. El estudio concluyó que se puede predecir y estimar con precisión la producción de biomasa aérea a partir de imágenes adquiridas con drones.

Palabras clave: Humedal ribereño, estimación de biomasa, capacidad de carga.

Abstract

The study was carried out in the river wetlands of San Pedro and San Pablo adjacent to the Vilcanota River in the province of Canchis, Cusco, in southern Peru. The objective was to estimate the production of aerial biomass and the animal carrying capacity of these wetlands from the analysis of samples acquired in the field and NDVI orthophotographs. The images were acquired with a Parrot sequoia multispectral camera, transported by a Matrice 100dji Drone and processed in Pix4D and ArcGIS 10.6 software. The study identified 5 types of land use: wetland, agriculture, urbanization, salt and water. The estimated biomass production with field data was 2,359.46 kg/ha and 2,885.78 kg/ha, while the estimate with NDVI orthophotographs was 2,321.71 kg/ha and 3,048.72 Kg/ha for the wetlands of San Pablo and San Pedro respectively. The estimated animal load capacity from field data was 0.48 U.V/ha/year and 4.79 U.O/ha/year in the San Pablo wetland and 0.59 U.V/ha/year and 5.86 U.O/ha/year in the San Pedro wetland, the same variable estimated from NDVI orthophotographs for the San Pablo wetland was 0.47 U.V/ha/year and 4.71 U.O/ha/year and for the San Pedro wetland 0.62 U.V/ha/year and 6.19 U.O/ha/year of animal load was obtained. Estimates made for carrying capacity show differences of 1.87% for cattle, 2.13% for sheep.

Key words: Riverside wetland, biomass estimation, carrying capacity.

Recibido: 13/10/2022

Aceptado: 16/10/2022

Publicado: 08/11/2022

Sección: Artículo original

*Autor para correspondencia: andres.estrada@unsaac.edu.pe

Introducción

El humedal es un ecosistema de interacción permanente conformado por agua, vida animal y vegetal (Young, 2014); el regulador principal de este ambiente es el agua. Los humedales resultan de la interacción entre el medio terrestre y el acuático (Cochi, 2021) en colaboración mutua entre los factores bióticos y abióticos (Armenteras *et al.*, 2015).

Los humedales tienen un papel importante en la formación y gestión de las cuencas andinas al

proporcionar servicios ecosistémicos vitales como: regulación hídrica, hábitat, alimento, refugio de flora y

¹Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-1718>

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-9014>

³Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1588-6399>

Como citar: Puelles Condori, B. N., Cárdenas Rodríguez, J., & Estrada Zúñiga, A. C. (2022). Estimación de biomasa y carga animal en humedales ribereños utilizando ortofotografías multiespectrales adquiridas con microsensores transportados en vehículos aéreos no tripulados “Drone”. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 24(4), 248-256. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.442>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

fauna (CONVENCIÓN DE RAMSAR, & GRUPO DE CONTACTO EHAA, 2008). Tienen también influencia en la economía local porque permiten la generación de ingresos económicos a partir del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimento para el ganado (Armenteras *et al.*, 2015).

La principal fuente de ingreso de las familias campesinas de San Pablo y San Pedro proviene de la producción de vacunos de leche y carne que son pastoreados en los humedales ribereños aledaños al río Vilcanota, complementando su alimentación con forrajes producidos en los terrenos adyacentes a estos humedales (Quispe 2019).

El método más utilizado para estimar la biomasa aérea en campo es el método de cosecha destructiva, que es costoso y laborioso (Pimienta *et al.*, 2019). Este método contribuye aportes prácticos en la investigación y se puede usar como instrumento de calibración de métodos basados en teledetección y sensores remotos (Pino, 2019).

Estrada & Ñaupari, (2021) establece que la teledetección con microsensores transportados en vehículos aéreos no tripulados (UAS) “DRONE” es una tecnología reciente y eficaz para la identificación de comunidades vegetales y estimación de biomasa. El uso de la teledetección con sensores pasivos (Soria & Matar 2016) e índices de vegetación, entre ellos el NDVI, permite identificar plantas en sus diferentes etapas fenológicas (Librán *et al.*, 2020), y también permite identificar el uso del suelo y la presencia de agua (Kharuf *et al.*, 2018).

La escasa información y poco conocimiento que tienen los técnicos de las municipalidades y productores de la región sobre el manejo, uso y capacidad de carga animal de los humedales (Zorogastua, 2012; Mandal 2005) llevan a la implementación de prácticas de manejo inadecuadas sobre los humedales, entre ellas el sobre pastoreo, el cambio de uso de los suelos y la quema de pastos que acelera el proceso de deterioro y pérdida de los humedales (Coropuna, 201).

El objetivo del estudio fue determinar la producción de biomasa y capacidad de carga de los humedales de San Pablo y San Pedro de la cuenca alta

del río Vilcanota, con el apoyo de sensores remotos pasivos y vehículos aéreos no tripulados.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los humedales de San Pablo y San Pedro de la provincia de Canchis del departamento de Cusco, que va desde los 3386 msnm hasta los 3490 msnm, respectivamente. Territorio que presenta una temperatura media anual de 7°C y 47.57% de humedad relativa (SENAMHI, 2019). El área total de estudio fue 1803.96 ha., con 867.10 ha. para el distrito de San Pablo y 936.86 ha. para el distrito de San Pedro. El procesamiento de información se realizó en el laboratorio de Ciencia Animal y Cambio Climático de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSAAC.

Adquisición y procesamiento de imágenes (fotografías de campo)

La adquisición de imágenes se realizó con un Drone Multirrotor Matrice 100 DJI, equipado con cámara multispectral Parrot Sequoia; con resolución espacial de 10 cm/píxel a 100 m de altura, con autonomía de vuelo de 23 minutos por batería. Previo al estudio se realizaron vuelos de prueba a 25, 50, 75, 100 y 150 metros de altura (Estrada & Ñaupari, 2021); con la finalidad de identificar la altura de vuelo que permita adquirir imágenes resolución radiométrica adecuada para el estudio (Oliveira *et al.*, 2020), y al mismo tiempo permita coberturas amplias por vuelo. Se determinó que para este estudio la mejor altura es de 150 metros. (Figura 1).

Las imágenes obtenidas a 150 metros de altura fueron procesadas en el programa PIX 4D y se obtuvo fotografías multispectrales; el proceso de clasificación se realizó utilizando el software ArcGis 10.6 (Ishida *et al.* 2017). Para estimar la producción de biomasa aérea del humedal se elaboró algoritmos en Machine Learning en lenguaje de programación Python y R. Los algoritmos elaborados tenían como insumos: i) Ortofotografías georreferenciadas y corregidas en ArcGis ii) Datos de biomasa adquirida en campo debidamente georreferenciada en Materia Verde (MV) y Materia Seca (MS) (Estrada & Ñaupari, 2021).

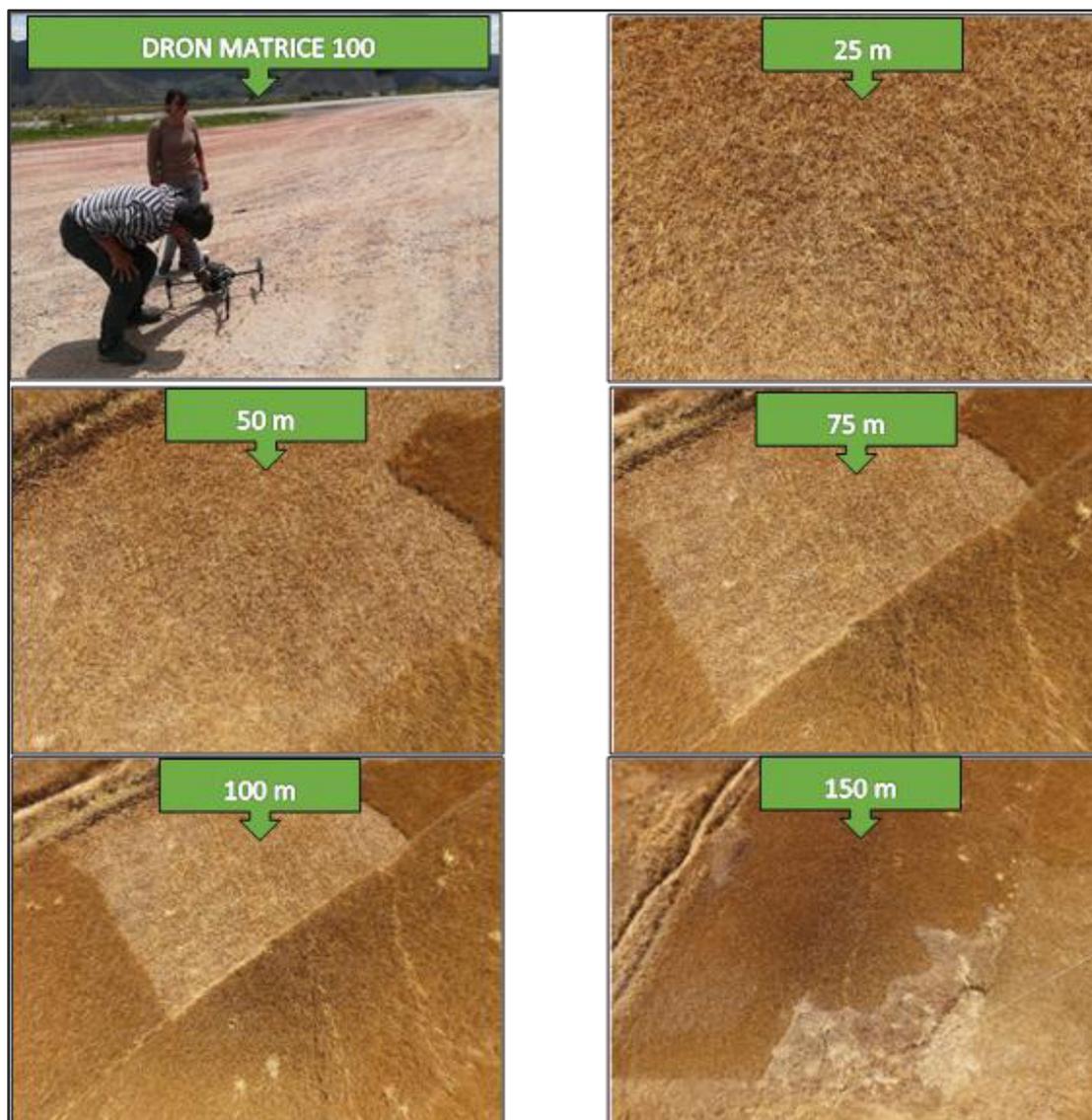


Figura 1. Determinación de la altura de vuelo

Toma de muestras de biomasa materia verde (MV)

Para realizar la calibración y comparación de resultados de la producción de biomasa aérea utilizando el método de estimación de biomasa conocido como destructivo (Pimienta *et al.* 2019) se tomaron un total 542 muestras, 336 muestras en el humedal de San Pablo y 206 muestras en el humedal de San Pedro mediante la técnica de *muestreo sistemático por cuadrante* (Porras, 2014); en campo se hizo el corte respectivo a una altura de 5 cm sobre la base del suelo con un cuadrante metálico de 50 x 50 cm; tras este proceso las muestra recolectadas fueron rotuladas, almacenadas y oreadas en un ambiente seco con sombra durante 30 días. La determinación de materia seca (MS) se realizó a una temperatura de 105 °C, por 24 horas en la estufa de secado (Beteman,1970).

Estimación de carga animal

Para estimar y determinar la capacidad de carga animal de los humedales ribereños de San Pablo y San Pedro se utilizó la siguiente información: i) Resultados de estimación de biomasa mediante ortofotografías NDVI (Estrada & Ñaupari 2021), ii) Resultados de producción de biomasa con datos de campo (Kg de biomasa herbácea aérea/ hectárea/ año) y iii) Consumo de forraje por unidad vacuno, (UV) considerada como una vaca adulta de 450 kg de peso, en mantenimiento o gestación, que para satisfacer sus necesidades alimenticias y cumplir con su función zootécnica consume el 3% de materia seca de su peso vivo por día (Villalta *et al.*, 2016; Vergara & Ortiz, 2010) y como Unidad Ovino (UO) un animal de 2 años, con 45 kg de peso, no lactante, en condición corporal de 3 (Mandal *et al.* 2015).

Capacidad de carga animal

$$CC = \frac{RP}{CAP}$$

Donde:

CC = Capacidad de carga animal.

RP = Rendimiento de pasto por hectárea.

CAP = Consumo de pasto/animal/periodo.

Resultados

Clasificación de uso actual del suelo a partir de ortofotografías

A partir del análisis de las ortofotografías utilizando el NDVI, para el área de estudio se han identificado 5 clases de uso de suelo (Tabla 1 y Figura 2); los humedales con pastizal para la producción ganadera son los que tienen el 52.76 %, seguida del área agrícola que es del 24.80%; el incremento de población y las nuevas urbanizaciones ocupan el 14.65% del territorio estudiado y a orillas del río Vilcanota encontramos un 4.89% de coberturas salinas. Si bien la característica de un humedal es la permanente presencia de agua, en la época de estudio se encontró 2.91% del territorio con espejos de agua.



Figura 2. Usos del suelo de los humedales de San Pedro y San Pablo

En los mapas de coberturas obtenidos a partir de las imágenes NDVI (Figura 3), para el distrito de San Pablo, se estima un área del total de 867.10 ha. distribuidas en 450 ha. de humedal propiamente dicho,

232.52 ha. de suelo incorporado a la agricultura, 148.11 ha. de suelo tierras urbanizadas, 12.25 ha. de espejos de agua y 24.16 ha. de afloramientos salinos o “Salinera” (Tabla 3).

Tabla 1. Clasificación de uso del suelo – 2019

CLASES DE USO DE SUELO	SAN PABLO (ha)	SAN PEDRO (ha)	TOTAL (ha)	%
Humedal	450.05	501.92	951.97	52.76
Agricultura	232.52	214.9	447.42	24.80
Urbanización	148.11	116.22	264.33	14.65
Salinera	24.6	63.61	88.21	4.89
Espejos de Agua	12.25	40.22	52.47	2.91
TOTAL	867.53	936.87	1804.4	100.00

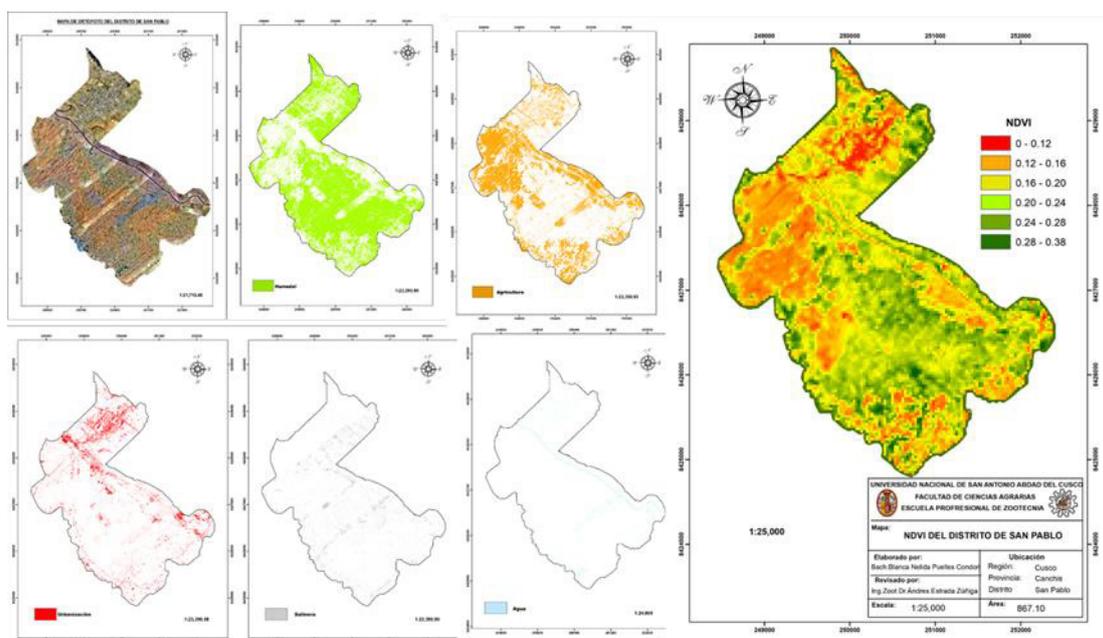


Figura 3. Clasificación de uso de suelos del humedal de San Pablo mediante ortofotografías

El mismo análisis de coberturas, realizado para el humedal de San Pedro, estima un área total de 936.86 Ha, con 501.92 ha. humedal con pastos, 214.90 ha. de suelos

de uso en agricultura, 116.22 ha. de tierras utilizadas para urbanización, 63.61 ha. de suelos convertidos en salinera y 40.22 ha de espejos de agua (Figura 4).

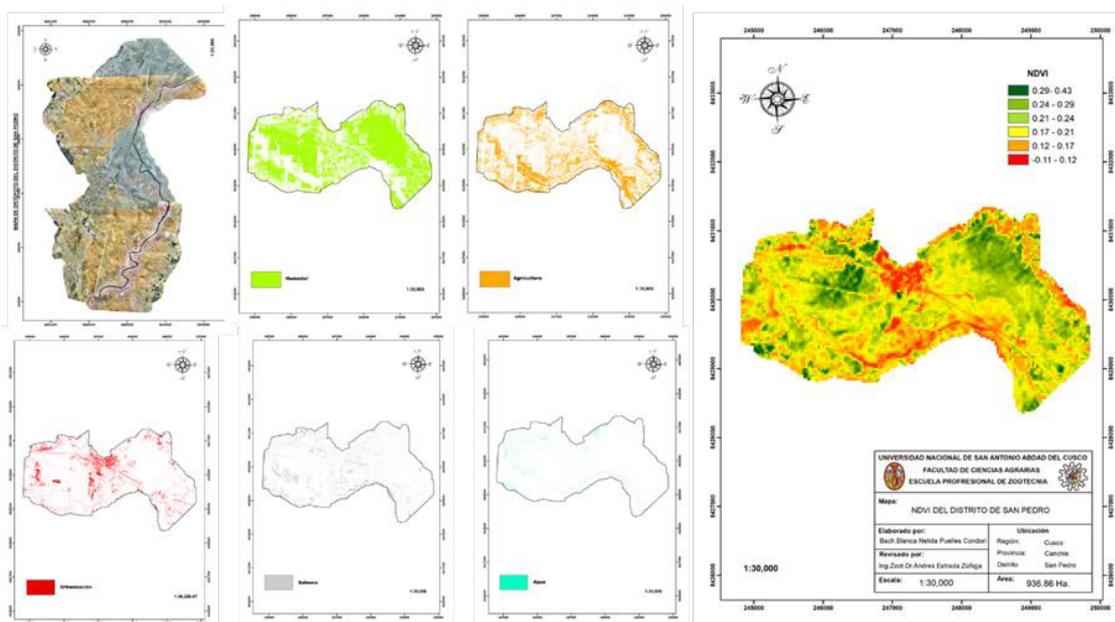


Figura 4. Clasificación de uso de suelo del distrito de San Pedro mediante ortofotografías.

Durante el muestreo se identificó las especies existentes en el humedal: Grama *Distichlis spicata*, Totorá *Scirpus californicus*, Junco *Juncus procerus*, Trébol blanco *Trifolium repens*. De estas cuatro especies que componen la biomasa disponible para la alimentación de vacunos y ovinos, el trébol blanco fue introducido en los programas de mejoramiento de praderas.

Estimación de la producción de biomasa aérea

En el humedal de San Pablo la producción de biomasa aérea estimada por el método destructivo en términos de materia verde (MV) fue 2,820.46 kg/ha. y en materia seca (MS) fue 2359.46 kg/ha. Mientras que en el humedal de San Pedro la producción de biomasa aérea en términos de MV fue 3,318.60 kg/ha. y en términos de

MS fue 2,885.78 kg/ha. El estudio muestra una diferencia de 526.32 Kg/ha, que hace una diferencia de 18.42% de producción entre distritos, atribuida a la diferencia en la tecnología de manejo del humedal (Tabla 2).

La producción de biomasa estimada utilizando ortofotografías con el índice de vegetación NDVI obtenidas a partir de signos espectrales adquiridos por drones, para el humedal de San Pablo estima una producción de biomasa aérea de 2,321.71 Kg/MS/ha/año y para el humedal de San Pedro fue 3,048.72 Kg/MS/

ha/año. El estudio muestra una diferencia de 23.85% de estimación de biomasa entre distritos (Tabla 2).

La estimación de producción de biomasa aérea con datos del método destructivo para estudio de biomasa en campo y estimación a partir de ortofotografías NDVI muestra la misma tendencia, aun cuando hay diferencias porcentuales, con mayor producción para el humedal de San Pedro. Ello indica que existe diferencias en el manejo del humedal entre los distritos.

Tabla 2. Estimación de producción de biomasa.

DISTRITO	ESTIMACIÓN DE BIOMASA		DIFERENCIA	
	(MS/Kg/ha)		Kg/ha	%
	DATOS DE CAMPO	NDVI		
San Pablo	2359.46	2321.71	37.75	1.60
San Pedro	2885.78	3048.72	-162.94	5.65

El análisis realizado entre métodos de estimación, para el humedal de San Pablo muestra una diferencia de 1.6%; siendo menor la estimación realizada por el algoritmo que utiliza ortofotografías NDVI obtenidos a partir de signos espectrales. Para el distrito de San Pedro la comparación entre métodos de estimación de

biomasa muestra una diferencia del 5.65% a favor de las predicciones realizadas para producción de biomasa a partir de imágenes NDVI. La diferencia entre los métodos de estimación de biomasa está influenciada por el grado de verdor del humedal (Tabal 2).



Figura 5. Humedales ribereños (Izquierda en época de lluvia y derecha en época seca)

Estimación de la capacidad de carga animal

La capacidad de carga animal anual estimada para el humedal de San Pablo en base a datos recolectados por el método destructivo fue de 0.48 UV/ha. y 4.79 UO/ha. y para el humedal de San Pedro fue 0.59 UV/ha. y

5.86 UO/ha., mientras que la estimación de la capacidad de carga animal anual para el humedal de San Pablo, en base a ortofotografía NDVI, fue 0.47 UV/ha. y 4.71 UO/ha. Y para el humedal de San Pedro fue 0.62 UV/ha. y 6.19 UO/ha. (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación de la capacidad de carga.

ESPECIE	DATOS DE CAMPO			NDVI			DIFERENCIA	
	SAN PABLO	SAN PEDRO	PROMEDIO	SAN PABLO	SAN PEDRO	PROMEDIO	UA/ha/año	%
Vacunos (UV/ha/Año)	0.48	0.59	0.535	0.47	0.62	0.545	-0.01	-1.87
Ovino (UO/ha/año)	4.79	5.86	5.325	4.71	6.19	5.45	-0.125	-2.13

Las estimaciones realizadas muestran pequeñas diferencias entre los dos métodos, para el caso de la capacidad de carga de vacunos la diferencia es de 0.01 UV/ha/año, que asciende al 1.87%. Mientras que la estimación de la capacidad de carga para ovinos muestra diferencia de 0.125 UO/ha/año, que asciende a 2.13%. Este resultado muestra que es posible realizar estimaciones de capacidad de carga a partir de predicciones de producción de biomasa realizadas con ortofotografías NDVI adquiridas con sensores remotos transportados en plataformas de vehículos aéreos no tripulados o Drone (Tabla 3).

Discusión

Los humedales son territorios continentales, bordes marinos y de ríos, en los cuales existe diversidad biológica; además poseen interés social y cultural (CONVENCIÓN DE RAMSAR, & GRUPO DE CONTACTO EHAA 2008). Estos ecosistemas ofrecen diversos servicios a los seres humanos y sus actividades productivas o de desarrollo (Díaz, 2018; Flores, 2014). En el caso de los humedales de San Pablo y San Pedro, además de la regulación de la temperatura ofrecen servicios de aprovisionamiento de alimento para el ganado, y contribuyen de manera significativa al ingreso de las familias campesinas y al desarrollo de estos distritos (Cochi, 2021; Quispe *et al.* 2021).

A nivel global se calcula que existen aproximadamente 12.1 millones de Km² de humedal, sin embargo cada vez el área viene disminuyendo y desde 1970 a la actualidad se ha perdido el 70% de humedales, por la presión antrópica y el cambio climático (García & Otto, 2012; Pizarro, 2017). El estudio realizado en los bofedales de San Pedro y San Pablo muestra esta misma dinámica de pérdida de humedal por incorporación de suelos para la agricultura e incremento de los asentamientos humanos que en conjunto ocupan el 39.45% y redujeron el humedal al 52.76 %.

En los Andes hay diferentes tipos de humedales: los generados por lagos en proceso de eutrofización, los humedales de ribera del río como el estudiado, los humedales de altura o bofedales (Cochi, 2021). Todos estos ecosistemas tienen importancia en el proceso de conversión de la energía luminosa en energía química

a través de la producción aérea de biomasa. Estrada *et al.*, (2018) encuentran 3265 kg/ha de producción en humedales de altura, mientras que el presente estudio estima 2,820.46 kg/ha en San Pablo y 3,318.60 kg/ha San Pedro, diferencias que se pueden atribuir a las diferentes técnicas de manejo del humedal.

La teledetección y el uso de microsensores viene tomando mayor protagonismo e importancia en la gestión de los recursos naturales; y con el avance de los microsensores se incrementan las precisiones. Paredes (2018) utilizó imágenes multiespectrales para determinar biomasa en los pajonales del centro del Perú. El presente estudio se apoyó en imágenes y ortofotografías multiespectrales obtenidas con Drone e imágenes NDVI utilizando el software de fotogrametría Pix 4D. A partir de las imágenes NDVI asistidos por un algoritmo preparado en el lenguaje R, se estimó la producción de biomasa; para el humedal de San Pablo estimó una producción de biomasa 2,321.71 Kg/ MS/ ha/año; para el humedal de San Pedro fue de 3,048.72 Kg/MS/ha/año. Resultados que muestran la misma tendencia con los humedales altoandinos estudiados en Chalhuanca, Arequipa (Estrada & Ñaupari, 2021, Coropuna *et al.* 2021; Soria & Matar, 2016).

Conclusiones

Utilizando ortofotografías NDVI obtenidas con microsensores transportados por vehículos aéreos no tripulados "Drone" se puede estimar producción de biomasa aérea y capacidad de carga de humedales ribereños con diferencias que van del 1.6% al 5.65% respecto a las estimaciones realizadas con datos de muestras vegetales obtenidas en campo.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento al Proyecto "Efectos del cambio climático sobre los sistemas de producción pecuaria en la sierra sur del Perú". Proyecto canon donde se gestó la investigación que culmina con el presente artículo; y al laboratorio de Ciencia Animal y Cambio Climático de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Referencias

- Armenteras, D., Gonzáles, T., Veragara, L., Luque, F., Rodríguez, N. & Bonilla, M. (2015). Revisión del concepto de ecosistema como unidad de la naturaleza, 80 años después de su formulación. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No. 45 – 03, Bogotá, Colombia. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-1.12.
- Bateman, J. (1970). *Nutrición Animal. Manual de métodos analíticos*. Herrera Hermanos, Sucesores. México, D. F., México. 468 p.
- Cochi, N. (2021). Evaluación del potencial productivo y dinámica socioecológica de la ganadería en bofedales Altoandinos de la cordillera Real del Departamento de La Paz”, Universidad Mayor de San Andrés la Paz, Bolivia.
- CONVENCIÓN DE RAMSAR & GRUPO DE CONTACTO EHAA. (2008). *Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de Humedales Altoandinos*. CONDESAN. Convención de Ramsar, Gobiernos de Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile.
- Coropuna, T., Villasante, J., Pauca, G., Quispe, J. & Luque, C. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú) *Revista de Investigaciones Altoandinas* DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2021.314>
- Díaz, I., Carrión, E., Sedas, J. & Burguillo, M. (2018). *Servicios ecosistémicos en bofedales*, Secretaria de Medio Ambiente del Estado de Veracruz México, ISBN 978- 607-7844- 92- 1
- Estrada, A. & Ñaupari, J (2021) Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, Bofedal y Tolar de Puna Seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones Sistemas Aéreos no Tripulados. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.032>
- Estrada Zuñiga, A. C., Cárdenas Rodríguez, J., Ñaupari Vásquez, J. & Zapana Pari, J. G. (2018). Capacidad de carga de pastos de puna húmeda en un contexto de cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 361–368. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.399>.
- Flores, E. (2014). Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales UNALM.
- García, E. & Otto, M. (2015). Caracterización eco hidrológica de humedales altoandinos usando imágenes satelitales multitemporales en la cabecera de la cuenca del río Santa, Ancash, Perú. *Ecología Aplicada*, 14(2), ISSN 1726-2216
- Ishida, T., Kurihara, J., Viray, F., & Takashi, J. (2017). Un enfoque novedoso para la clasificación de la vegetación con base en UAV imágenes hiper espectrales. *Revist Computers and electronic in agriculture* 144(80-85).
- Kharuf, S., Hernandez, L., Orosco, R., & Delgado, I. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados, *Revista de ingeniería electrónica automática y comunicación*.
- Liberan, F., Klaus, F., Tschardtke, T., & Grass, I. (2020). Unmanned aerial Vehicles for biodiversity friendly agricultural landscape a systematic review, *Science of the total environment* 732.
- Mandal, N., Ruiz, R. & Oregui, M. (2005). Propuesta de definición de unidad animal y metodología de estimación, para su aplicación en sistemas de pastoreo extensivo, XLV Reunión Científica de la Sociedad Española de Estudios de los Pastos, Madrid España.
- Oliveira, A.; Ferreira, G., Rodrigues, G., Cabreira, A., Cardoso, M., Aparecido, M. & Carvalho, T. (2020). Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão Drones potentiality use in precision agricultura *Brazilian Journal of Development*. DOI: 10.34117/bjdv6n9-010.
- Pimienta, D., Reyes, J., Rodríguez, J. & Marroquin, P. (2019). Estimación de biomasa aérea total y contenido de carbono en *Pinus maximinoi* H:E Moree Margaritas Chiapas México, Universidad de Colima México.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología Drones, IDESIA (Chile)
- Pizarro, S. (2017). *Degradación y Vulnerabilidad al cambio climático en pastizales altoandinos* (tesis de maestría) Universidad Nacional Agraria la Molina Lima Perú.

- Porras, A. (2014) Tipos de muestreo para el análisis de información geoespacial, centro de investigación en geografía y geomática, México.
- Quispe, J. (2019) Plan estratégico de la provincia de Canchis 2019 al 2021, Municipalidad provincial de Canchis, Cusco, Perú
- Quispe, R., Chirinos, D., Contreras, J. & Curasma, J. (2021). Evaluación de especies de pastizales consumidos por alpacas madres y tuis (Vicugna pacos) en época seca en bofedales de Yauyos, Perú.
- SENAMHI (2019) Memoria anual del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú <https://hdl.handle.net/20.500.12542/851>
- Soria, M. & Matar, M. (2016). Nociones sobre teledetección, Instituto de Investigación Mineras, Universidad Nacional San Juan Argentina. Argentina
- Vergara, J. & Ortiz, I. (2010). Cómo medir la Carga Animal y el Índice de Agostadero. México.
- Villata, P, Zapana, JG, Zapana, JC, Araoz, J. & Escobar, F. (2016). Evaluación de pastos y capacidad de carga animal en el fundo "Carolina" de la Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú; Revista de Investigación Altoandinas 2016 Vol 18 N°2- 303 – 310.
- Young K. (2014). Ecología de los cambios de Cobertura del Paisaje de Glaciares de Montañas Tropicales. Revista Peruana de Biología 21(3) 259 -270 Lima.
- Zorogastua et al. (2012). Dinámica de los bofedales en el altiplano peruano-boliviano. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 8(2), 63-75. Recuperado a partir de <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/202>