







Impact of droughts and El Niño Costero on dry forest and white-tailed deer in the Coto de Caza El Angolo - Perú

Karla Verónica Escate Buitrón¹, Nahily Rubi Caldas Zumaran², Adriano Ávila Apuy³, Bianca Lucia Mendoza Manturano⁴, Jose Manuel Colonna Montero⁵, Ulises Francisco Giraldo Malca, Doctor⁶
Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, PERÚ,
u20221b612@upc.edu.pe¹, u202215645@upc.edu.pe², u202211938@upc.edu.pe³, u202217921@upc.edu.pe⁴,
u20221F523@upc.edu.pe⁵, pcigugir@upc.edu.pe⁶
Universidad Cesar Vallejo, Perú, ugiraldoma@ucvvirtual.edu.pe⁶

*Abstract– Dry forests have a great environmental, social and economic value due to the ecosystem services they provide and the biodiversity they contain, and are being affected by the strong atmospheric fluctuations generated by the increasing climate variability of the last decades, endangering species of flora and fauna as representative as the white-tailed deer (*Odocoileus virginianus peruvianus*) in the tropical premontane zones of the western slope of the Andes. Therefore, we sought to analyze the relationship between the vigor of the vegetation cover and the historical fluctuations of the population density of white-tailed deer, with climatic variations and the incidence of El Niño Costero in the Coto de Caza El Angolo and its buffer zone in the period 1984-2023. For this purpose, statistical data of white-tailed deer in the study area and vegetation vigorosity levels determined with the normalized difference vegetation index (NDVI) calculated by processing Landsat scenes with meteorological data and the occurrence of El Niño Southern Oscillation events were analyzed and correlated. As a result, it was found that the vigorosity of the vegetation fluctuated strongly until 2002, when it showed a more regulated behavior, but in frank ascent, a phenomenon that coincides with the increase in the recurrence of El Niño events, which would have generated a continuous and sustained increase in the area with dense and sparse leaf cover since 2005. These changes are affecting white-tailed deer populations, which, despite showing increasing values (in density and harvested individuals) between 2004 and 2010, have shown a marked decline since 2011, with a negative trend in both indicators. It is concluded that the greater frequency of ENSO in the last 15 years has been generating changes in the vegetation, increasing its leaf area, due to the reduction of dry periods, a factor that paradoxically would be negatively affecting white-tailed deer populations.*

Keywords– ENSO, protected natural area, ICEN, tropical dry forest, remote sensing.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Impacto de las sequías y El Niño Costero en el bosque seco y el venado cola blanca en el Coto de Caza El Angolo - Perú

Karla Verónica Escate Buitrón¹, Nahily Rubi Caldas Zumarán², Adriano Ávila Apuy³, Bianca Lucía Mendoza Manturano⁴, Jose Manuel Colonna Montero⁵, Ulises Francisco Giraldo Malca, Doctor⁶
Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, PERÚ,
u20221b612@upc.edu.pe¹, u202215645@upc.edu.pe², u202211938@upc.edu.pe³, u202217921@upc.edu.pe⁴,
u20221F523@upc.edu.pe⁵, pcigugir@upc.edu.pe⁶
Universidad Cesar Vallejo, Perú, ugraldoma@ucvvirtual.edu.pe⁶

Resumen– Los bosques secos tienen un gran valor ambiental, social y económico por los servicios ecosistémicos que proveen y a la biodiversidad que contiene, y estarían siendo afectados por las fuertes fluctuaciones atmosféricas generadas por la creciente variabilidad climática de las últimas décadas, poniendo en peligro a las especies de flora y fauna tan representativas como los venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*) en las zonas premontanas tropicales de la vertiente occidental de los Andes, por lo que se buscó analizar la relación entre la vigorosidad de las coberturas vegetales y las fluctuaciones históricas en la densidad poblacional del venado de cola blanca, con las variaciones climáticas e incidencia del El Niño Costero en el Coto de Caza El Angolo y su zona de amortiguamiento en el periodo 1984-2023. Para ello se analizó y correlacionó data estadística de venados de cola blanca en el área de estudio y los niveles de vigorosidad vegetal determinada con el índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) calculada con el procesamiento de escenas Landsat, con data meteorológicas y la ocurrencia de eventos del El Niño Oscilación del Sur. Como resultado se encontró que la vigorosidad de la vegetación tiene una fuerte fluctuación hasta 2002, cuando presenta un comportamiento más regulado, pero en franco ascenso, fenómeno que coincide con el incremento en la recurrencia de los eventos de El Niño, los que habría generado el incremento continuo y sostenido del área con cobertura foliar densa y escasa desde el año 2005, cambios que estarían afectando a las poblaciones de venado de cola blanca que a pesar de mostrar valores crecientes (en densidad como en individuos cobrados) entre 2004 y 2010, a partir de 2011 presentan un fuerte descenso con una tendencia negativa en ambos indicadores. Se concluye, que la mayor frecuencia de los ENOS en los últimos 15 años, vienen generando cambios en la vegetación, incrementando su área foliar, debido a la reducción de los periodos secos, factor que paradójicamente estaría afectando negativamente a las poblaciones de venado de cola blanca.

Keywords– ENOS, área natural protegida, ICEN, bosque seco tropical, teledetección.

I. INTRODUCCIÓN

Según Schröder et al. [1] los bosques secos tropicales son áreas arbóreas y arbustivas con largos periodos secos, debido a la estacionalidad de la distribución de las precipitaciones, con climas cálidos durante todo el año, que pueden recibir una cantidad significativa de lluvia anual, generalmente entre 500 y 1,500 mm, cubriendo alrededor de la mitad de la extensión que

tienen los bosques húmedos tropicales en el mundo (500 - 1100 millones de hectáreas). Su importancia radica en brindar servicios ecosistémicos como biodiversidad, protección ante la erosión hídrica y eólica, la provisión de sombra y regulación del clima [1] purificación de aguas, o la extracción de madera, resina, frutos del bosque y hierbas medicinales [2], por lo que juegan un papel crucial en la sostenibilidad a nivel local y global [3], [4], [5]. Pese a su importancia, se ha investigado poco su problemática, y no se ha promovido de manera suficiente su conservación, porque muchas personas no ven factible el aprovechamiento económico de sus recursos, debido al poco conocimiento que se tiene de ellos, lo que ha permitido una acelerada degradación de sus bosques [6]

Los bosques tropicales en el mundo son importantes, debido a que almacenan el 25% de carbono terrestre, contribuyendo así con la regulación del cambio climático [7], cubriendo alrededor del 40% de las áreas tropicales y subtropicales del mundo, de los cuales aproximadamente el 42% son bosques secos [8]. América habría perdido entre el 60% y 72% de los bosques secos que en algún momento cubrieron su territorio, resaltando el alto nivel de alteración del ecosistema en Perú, donde la pérdida alcanzaría un 95% [9]. Recientemente, Stan et al. [10] demostró que más del 90% de bosque secos, pastizales, sabanas y matorrales han sido altamente degradados, por tener una mayor vulnerabilidad ante impactos humanos o fenómenos naturales, debido a un bajo porcentaje de protección, altos índices de desbosque, fragmentación y la variación del clima [10], al alterar la disponibilidad de agua y la dinámica de sucesión ecológica, reduciendo su capacidad para regular su propio microclima [11].

El cambio de uso de suelo es la principal amenaza de los bosques secos alrededor del mundo, porque implica su transformación a terrenos agrícolas, que generan la degradación del suelo y la afectación negativa de su microclima, pudiendo derivar en la desertificación del ámbito [12], que en la actualidad se puede monitorear con la tecnología satelital (teledetección o sensoramiento remoto), aplicando técnicas como el índice de vegetación diferencia normalizada (NDVI) que sirve para determinar el nivel de cobertura vegetal presente en el ambiente que se está estudiando [13]. Así, una parte del bosque seco argentino se ha visto alterado por la actividad

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

ganadera y los desmontes ilegales para la producción de pastos, desplazando a la vegetación nativa [14]. En el Perú, se ha identificado que estos problemas están asociados a la expansión urbana costera y el desarrollo agroindustrial que, pese a su importancia por el suministro de agua, solo en la región de Ica se ha tenido una pérdida del 99% de sus bosques secos por la aparición de plagas, habilitación de terrenos urbanos y el cultivo de productos para la agroexportación [15].

En los bosques secos del sureste de Irán, se lograron cuantificar hasta once servicios ecosistémicos, donde los más importantes son la producción de agua, la retención de suelo y el secuestro de carbono [16]. Estos tres beneficios ambientales que se encuentran relacionados a la regulación climática también fueron identificados en América Latina [17]. Por ello es importante preservar los ecosistemas de bosque seco, ya que brindan beneficios tanto ecológicos como económicos. Otro ejemplo es la zona de Caatinga localizada en Brasil, el bosque además de los servicios mencionados previamente, provee materia prima para ciertas industrias como la farmacéutica o alimentaria para la población local, pero a su vez, como bioma es vulnerable a las sequías, por lo que afecta la sostenibilidad de los beneficios que brinda, registrando las mayores caídas de producción primaria de estos ecosistemas en 1914, 1982 y 1993, relacionadas con la ocurrencia de eventos de El Niño [18].

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un evento climático caracterizado por el calentamiento anómalo de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial central y oriental, que refiere a la variabilidad climática que conlleva la ocurrencia de los eventos de El Niño y La Niña [19]. Estos eventos están asociados al ciclo del agua en gran parte del hemisferio sur, alterando la distribución y disponibilidad de aguas subterráneas y superficiales [20], [21], cuyos efectos pueden extenderse a lugares más allá del Pacífico tropical, ejerciendo influencia en los patrones climáticos a nivel mundial a través de teleconexiones atmosféricas [22], y estimando que es capaz de influenciar en casi el 75% de toda la cobertura terrestre [23]. En ese marco, El Niño Costero es una variante del ENOS que afecta principalmente a la costa peruana, con el calentamiento de la superficie del mar cerca de su litoral, provocando fuertes precipitaciones en el desierto costero y yungas marítimas [19]. Haines & Lam [24], comentan que las sequías relacionadas con el ENOS pueden generar incendios tales como los ocurridos en el año 1960 en Indonesia, que produjo emisiones contaminantes y problemas cardiopulmonares en las poblaciones de todo el mundo, provocando solo desde 1997 hasta 2006 un total de 532,000 muertes asociadas a estos fenómenos [24].

Desde finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, varios investigadores han tratado de evaluar y predecir los orígenes e impactos de ENOS [23]. Sin embargo, solo la llegada de la inteligencia artificial y otras tecnologías han permitido obtener mejores resultados en el análisis de su variación, frecuencia, y factores desencadenantes (naturales y antrópicos) como el movimiento de los vientos alisios y el incremento de las actividades humanas [25]. En particular, se impulsó la

creación de modelos de predicción de aprendizaje profundo, cuyos algoritmos tuvieron la capacidad de encontrar una relación cercana entre el ENOS y los inesperados cambios de clima que se vienen dando en los últimos años [25]. Uno de esos modelos fue el de Geng & Wang [26], denominado "Memoria densa de convolución larga a corto plazo", el cual obtuvo una correlación con el ENSO mayor a 0.5 en un periodo de 20 meses [26]. Gracias a estos avances tecnológicos se considera al ENOS uno de los indicadores más importantes de la variabilidad atmosférico-oceánica, relacionados con la mayor probabilidad de ocurrencia de otros eventos como las sequías extremas [27], [28].

Una sequía es un periodo prolongado de déficit de agua, provocado por la falta de precipitaciones durante meses o incluso años, que mediante índices se intenta definir su inicio y fin, además de su intensidad [29]. A veces se suele confundir los periodos secos y la ocurrencia de sequías, considerándose estos un fenómeno normal, aunque algunos lugares tienen temporadas secas todos los años, la sequía significa que estas temporadas son más largas o severas [30]. Aunque se asume que El ENOS suele provocar sequías más severas en diferentes regiones, Zou et al. [31], indica que no se estableció una relación directa con la intensidad de un evento específico en términos de precipitación [31]. Sin embargo, la conclusión a la que llega Zambrano Mera et al. [32], al precisar que las sequías y el ENOS encuentran una relación con coeficiente de Pearson de 0.71, que indica que la aparición de uno de estos periodos influye fuertemente en el surgimiento del otro, señalando que las sequías, en base a su detección temprana, pueden retrasarse entre 7 a 9 meses luego de haber sido detectadas [32]. En el territorio peruano, estos eventos normalmente son recurrentes, debido a la naturaleza cíclica del clima y al comportamiento hidrológico, que, junto a los fenómenos de El Niño, La Niña y el cambio climático, pueden volverse más perjudiciales [33].

Desde julio de 2018, se tienen más de 238 mil áreas naturales protegidas (ANP) a nivel mundial, ocupando aproximadamente el 15% de la superficie terrestre y el 7% de los mares [34], destinadas a la conservación de la biodiversidad y otros recursos naturales [35]. En Perú, el número y extensión de las ANP ha subido considerablemente en los últimos años por ser un país con una gran variedad de especies y ecosistemas [36]. Precisamente el Coto de Caza El Angolo (CCEA) en el departamento de Piura, es una de las ANP que conserva una muestra de bosques secos del *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena [37], que según un informe realizado por el Instituto Geofísico del Perú [38], la vegetación que lo compone es perjudicada por las sequías prolongadas que se presentan, como sucedió en 2011, al registrarse un aumento significativo en la mortalidad de los venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*), atribuido a las sequías y la escasez de forrajes que generaron un debilitamiento de los venados y la propagación de enfermedades transmitidas por garrapatas [39].

Ante esta situación, se necesita conocer los efectos que tiene la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos ENOS, en la dinámica de los bosques secos y la fauna que alberga, los

que pueden afectar a poblaciones, infraestructuras y actividades económicas que dependen de sus servicios ecosistémicos, con el fin de generar nueva información útil para mejorar su gestión y conservación. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre la vigorosidad de las coberturas vegetales y las fluctuaciones históricas en la densidad poblacional del venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*) con las variaciones climáticas e incidencia del ENOS en el CCEA y su zona de amortiguamiento en el periodo 1984-2023.

II. ÁREA DE ESTUDIO

Está delimitada por el cuadrante definido entre las latitudes 4°30'35.96" y 4°8'9.6" S, y longitudes 80°58'55.2" y 80°33'29.88" O que alberga al CCEA con una extensión de 65,000 hectáreas y su zona de amortiguamiento de 29,606.3 hectáreas, ubicados en la región de Piura, al noroeste del Perú, en un rango altitudinal de 112 y 1,542 m s.n.m., entre las cuencas de los ríos Fernández, Pariñas y Chira [40], y que es administrada por el Servicio Nacional de ANP de Perú (SERNANP).

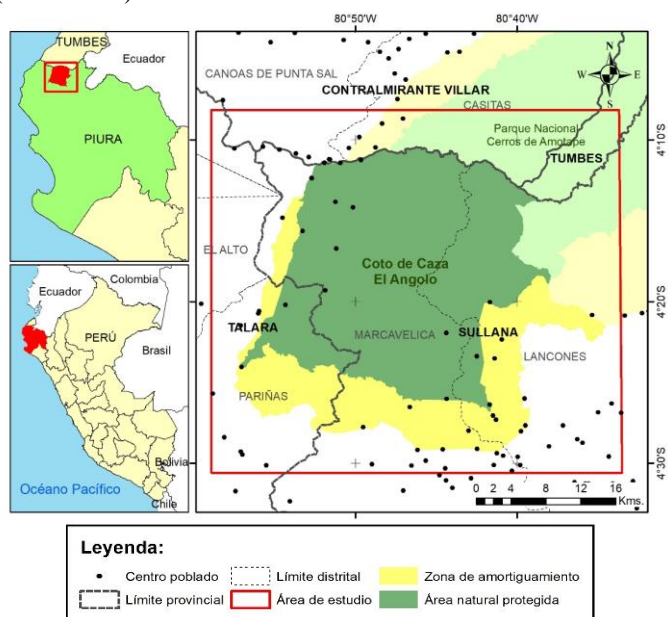


Fig. 1: Ubicación del Coto de Caza El Angolo y su zona de amortiguamiento (área de estudio).

La estación meteorológica convencional (EMC) de Lancones, situada a una altitud de 136 metros sobre el nivel del mar, presenta, según la clasificación climática de Thornthwaite, un clima árido con una precipitación anual de -46.48 mm. Además, se caracteriza por la ausencia de exceso de agua (0 mm) y un perfil mega térmico o cálido con una temperatura media de 24.1 °C. Durante la temporada de verano, la eficiencia térmica alcanza el 34.77% (E d A' a'). Por otro lado, la estación meteorológica automática (EMA) de Huasimo, ubicada a 607 metros sobre el nivel del mar, experimenta un clima semiárido seco con una precipitación anual de -30.67 mm. Presenta un

pequeño exceso de agua de 4.8 mm y se clasifica como mesotérmica semi cálida, con una temperatura media de 22.0 °C. En verano, la eficiencia térmica es del 28.3% (D d B'4 a').

De acuerdo al Mapa Nacional de Ecosistemas de la plataforma Geoservidor del Ministerio del Ambiente, en el ámbito solo se tiene 2 tipos de ecosistemas: el Bosque estacionalmente seco de colina y montaña, con 192,901 hectáreas, y el Bosque estacionalmente seco ribereño (Algarrobal), con 876 hectáreas, caracterizados por ser generalmente caducifolios (por las grandes fluctuaciones en las condiciones climáticas), con un dosel arbóreo entre 8 a 12 metros de altura, donde destaca la presencia de la especie palo santo (*Bursera graveolens*) y el camote (*Ipomoea batatas*) en distintas presentaciones, como el trujillano, amarillo bejuco y morado, y animales como el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) [41].

III. MÉTODOS:

El presente estudio es una investigación cuantitativa, exploratoria y correlacional, desarrollada con técnicas de informática y estadística. Se obtuvo información de diferentes bases de datos, que facilitaron el acceso a revistas científicas con artículos relevantes, confiables y de calidad, además de libros, informes técnicos, tesis, entre otros. De la misma manera, se obtuvo data de interés de instituciones competentes en la gestión y conservación de ANP, y monitoreo de condiciones atmosféricas, tales como SERNANP, MINAM, Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Instituto del Mar del Perú (IMARPE), IGP y SENAMHI.

A. Análisis de datos hidrometeorológicos.

Se procesó la data meteorológica de las estaciones ubicadas en los alrededores del área de estudio, obtenidas de la página web de SENAMHI, para calcular las temperaturas y precipitaciones medias anuales. Se trabajó con los datos recolectados en las estaciones meteorológicas de Pananga, Lancones, La Esperanza, Mallares, El Alto, Huasimo y Cañaverel, así como con data histórica de las estaciones Pananga, Lancones, La Esperanza y Mallares. Su sistematización y procesamiento se hicieron en hojas de cálculo y tablas dinámicas de Microsoft Excel, para obtener las precipitaciones anuales y temperaturas promedio, representando gráficamente sus tendencias o relación con otras variables (ENOS, NDVI, densidad poblacional y número de individuos cobrados de venado de cola blanca).

B. Variación en la abundancia y aprovechamiento del venado de cola blanca

Se obtuvo la información sobre la densidad poblacional y a cantidad de venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) cobrados, tras un requerimiento al SERNANP, siendo proporcionada mediante gráficos de barras para el periodo 2004 - 2022. Ambos datos se usaron para determinar relaciones entre la tasa de aparición de venados o su aprovechamiento económico con cambios en el clima producto de eventos naturales como el ENOS.

C. *Análisis de la variación de vigorosidad de la vegetación en el área de estudio mediante el cálculo de NDVI.*

Se utilizó el Sistema de Información Geográfica QGIS para el procesamiento de imágenes satelitales extraídas del portal *USGS Global Visualization Viewer (GloVis)*, y la obtención de data de la variación de vigorosidad de la vegetación dentro de nuestra área de estudio, calculando el NDVI a una escena multiespectral de cada año dentro del periodo de análisis, siendo reclasificadas posteriormente para identificar el tipo de cobertura presentes en el área de estudio, como: sin cobertura foliar ($NDVI < 0.1$); con cobertura foliar escasa ($0.1 < NDVI < 0.5$); y con cobertura foliar densa ($NDVI > 0.5$) [13]. Asimismo, se sistematizó los valores de NDVI Máximo, NDVI Mínimo y NDVI promedio en Microsoft Excel para determinar su correlación con las otras variables de estudio.

D. *Identificación de ocurrencia del ENOS*

La ocurrencia e intensidad del ENOS en el área de estudio se determinó mediante el uso del Índice de El Niño Costero, generado por el Estudio del Fenómeno El Niño (ENFEN) [42] y publicado a través de la página web del IMARPE. La data disponible por meses se procesó con una tabla dinámica en Microsoft Excel para calcular los promedios anuales dentro del periodo de análisis.

IV. RESULTADOS

Tras procesar las imágenes satelitales, se observó que en 1987 hubo la máxima vigorosidad registrada de la vegetación en el CCEA, donde la clase de cobertura foliar densa alcanzó las 28,195 hectáreas, seguido del año 1999 al contabilizar las 25,453 hectáreas, además de 1990, 1993, 2000 y 2009 que contabilizaron más de 8,500 hectáreas (**Fig. 2**), pero que a lo largo de todo el periodo de análisis muestra una ligera tendencia incremental. Asimismo, al contabilizar de forma conjunta las superficies de vegetación con cobertura foliar densa y escasa, los años que destacan son 1987, 1993, 1998, 1999, 2000, 2013, 2015 - 2019, 2021 y 2023 sumando más del 70% del área de estudio.

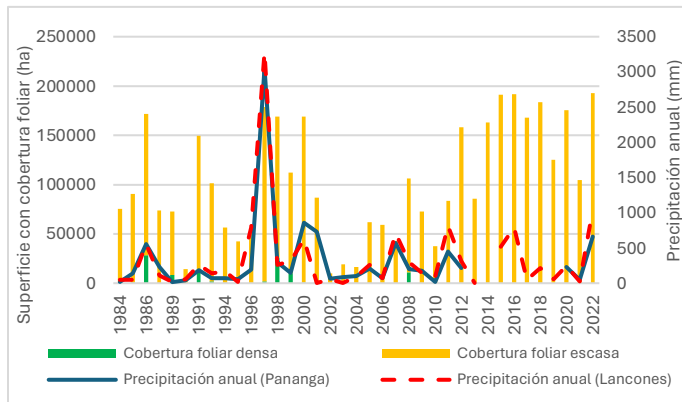


Fig. 2: Clasificación del terreno perteneciente al Coto de Caza El Angolo según el nivel de cobertura foliar y precipitaciones de las EMC Pananga y Lancones

El año con más precipitaciones registradas fue 1998, obteniéndose los valores más altos en las estaciones de Pananga y Lancones con 3,059.8 mm y 3,277.5 mm, respectivamente, por lo que se evidencia los altos valores de la cobertura foliar densa y escasa en ese mismo año con 178,964 hectáreas (92%) y en 1999 con 169,053 hectáreas (87%). Sin embargo, las mayores extensiones de vegetación con cobertura foliar que superan las 191,147 hectáreas se dieron en años con precipitaciones significativamente menores, como el 2016, 2017 y 2023 (**Fig. 2**).

Con respecto a una conexión entre las variables, se determinó que desde el año 2013 hasta 2023, los niveles de precipitación en las estaciones de Pananga y Lancones resultaron poseer una correlación altamente significativa con el incremento del NDVI promedio ($R^2 = 0,9861$; $p\text{-value} = 0.007$ y $R^2 = 0,8965$; $p\text{-value} < 0.0001$, respectivamente) y moderadamente fuerte con la superficie de vegetación con cobertura foliar ($R^2 = 0,6912$; $p\text{-value} = 0.1686$ y $R^2 = 0,5039$; $p\text{-value} = 0.0215$ respectivamente). Sin embargo, al extender la correlación a todo el periodo de análisis la regresión disminuye significativamente en ambas estaciones ($R^2 = 0.1758$ y $R^2 = 0.173$ respectivamente).

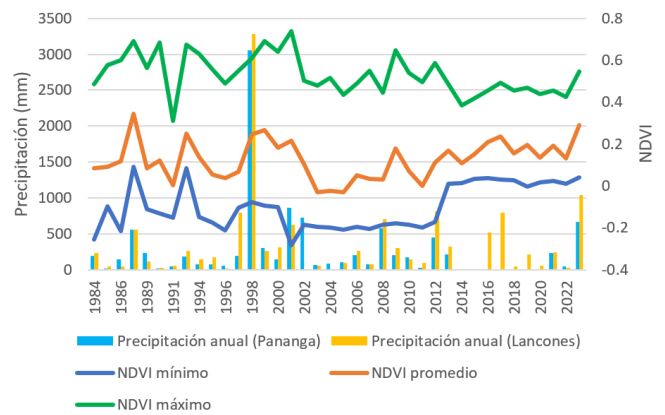


Fig. 3: Evolución de valores NDVI y precipitaciones anuales en las estaciones de Pananga y Lancones.

Por otro lado, como se indica en la **Fig. 3**, a pesar de obtener una correlación baja y poco consistente entre la densidad poblacional de venados de cola blanca y el número de individuos cobrados en el CCEA ($R^2 = 0,1793$; $R^2 = 0.1945$; $p\text{-value} = 0.0999$) ambas variables estuvieron influenciadas con las precipitaciones anuales desde 2004 hasta 2009. Asimismo, solo en este periodo se encontró una correlación significativa, como se muestra en la **Fig. 4**, entre la densidad poblacional de venados y el Índice del Niño Costero ($R^2 = 0.5091$; $p\text{-value} = 0.1113$), lo que se debería a una mayor estabilidad de los valores del ENOS para este periodo y el incremento en su fluctuación para la última década. Esto se debería a que las poblaciones de venados se desarrollan mejor en condiciones climáticas equilibradas, y son más afectadas cuando se presentan condiciones con cambios más fuertes o extremos como prolongadas sequías, olas de calor o precipitaciones intensas,

las cuales están muy asociadas a las fuertes fluctuaciones del ENOS en el Pacífico tropical.

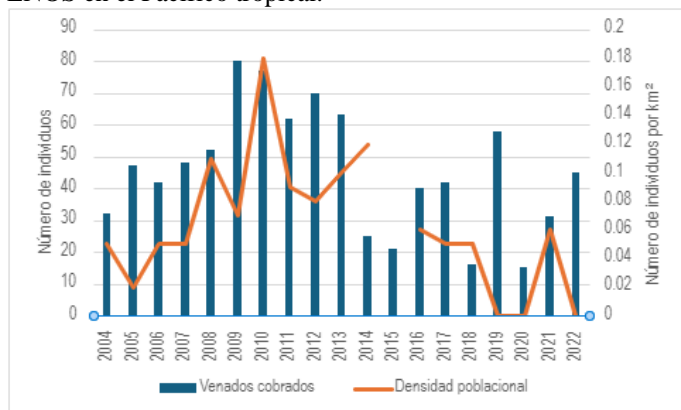


Fig 4: Distribución anual del número de venados cobrados y la densidad poblacional de venados en el periodo 2004 – 2022.

El ENFEN determinó la magnitud de El Niño Costero a lo largo de los años, clasificando como extraordinarios los periodos 1982 – 1983 y 1997 – 1998, que mostraron una duración prolongada, variando entre 17 y 19 meses. De la misma forma, se catalogó como fuerte al periodo 2015–2016, que tuvo un lapso de 16 meses. Otros eventos como 1986 – 1987, 1991 – 1992, 1993 y 2016 – 2017, están categorizados como moderados, con periodos entre los 6 y 13 meses. Finalmente, se consideran eventos de magnitud débil los de 1994 – 1995, 2002, 2006 - 2007, 2008, 2009, 2012, 2014 y 2018- 2019; con una duración que varía entre los 3 y 7 meses [42].

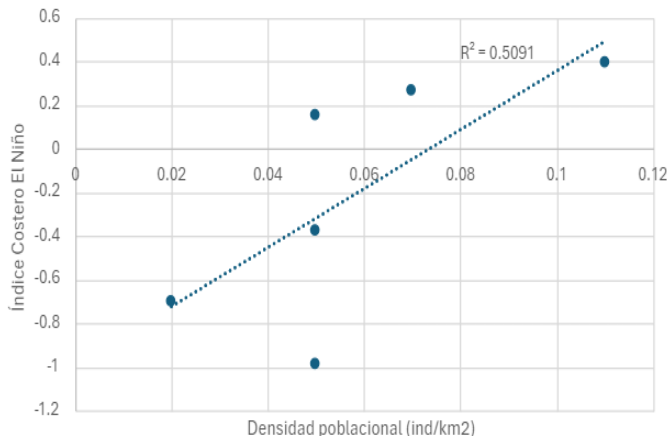


Fig. 5: Correlación de la densidad poblacional de venados con el Índice del Niño Costero durante el periodo 2004-2009.

Finalmente, al comparar los patrones de evolución del NDVI promedio con el Índice de Niño Costero, se logra observar que en algunos años se presentan coincidencias en el registro de valores altos y en ascenso en ambas variables como 1987, 1993, 2006, 2015, 2019 y 2023, así como en la ocurrencia de valores bajos como 1989, 1995, 1996, 2005, 2007, 2010, 2018, 2020 y 2022. Pero también se observa que, en algunos años con un Índice de El Niño Costero elevado, la respuesta en

el NDVI promedio se presenta en el periodo siguiente, como es el caso de 1997 a 1998, 1998 a 1999, 2008 a 2009, 2012 a 2013 y 2015 a 2016. A pesar de estas coincidencias, al estimar la correlación entre ambas variables se obtuvo una pobre relación evaluando todo el periodo de 1984 hasta 2023 ($R^2 = 0,0925$), solo encontrándose una correlación significativa en determinados intervalos del periodo evaluado, entre 1984 a 1996 ($R^2 = 0,5724$; $p\text{-value} = 0.007$) y entre 2006 y 2023 ($R^2 = 0,7002$; $p\text{-value} = 0.0096$).

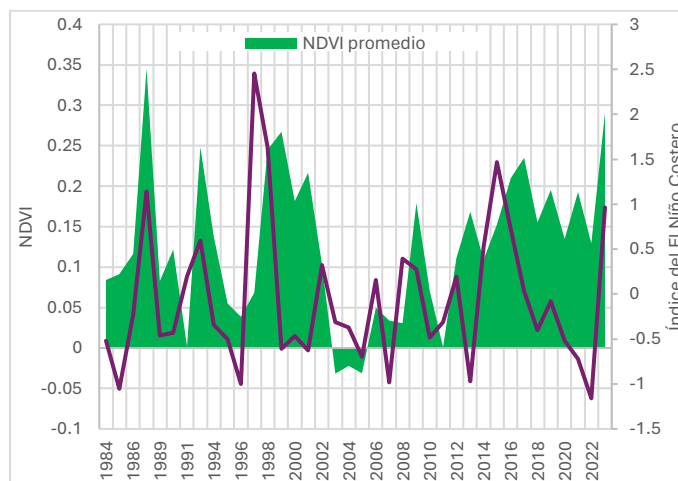


Fig 6: Evolución del NDVI promedio del área de estudio y el Índice de Niño Costero.

V. DISCUSIÓN

El área de estudio, al ser un ANP y su zona de amortiguamiento, tiene poca intervención antrópica y no ha sido seriamente afectado por procesos de deforestación, por lo que la abundancia de árboles en el bosque seco no ha tenido grandes cambios a lo largo del periodo de análisis. Sin embargo, al clasificar las escenas NDVI, y comparar los resultados de cada imagen, se puede ver una gran diferencia entre las extensiones de las clases utilizadas (cobertura foliar densa, cobertura foliar escasa y sin cobertura foliar), que se debería a la abundancia de hojas y clorofila. Este efecto se da por la ocurrencia de precipitaciones anuales superiores a lo normal como en los años 1987, 1993, 1998, 2001, 2008, 2009, 2012, 2013, 2016, 2017 y 2023 (superior a la mediana de 186.5 mm al año⁻¹), donde el área foliar se incrementó significativamente por el rebrote de hojas en árboles y arbustos caducifolios presentes en el bosque seco. Asimismo, se puede apreciar un efecto acumulativo en la ocurrencia de precipitaciones y la respuesta que se tiene en el aumento del NDVI en el territorio, por lo que en años con precipitaciones importantes no se obtuvo un incremento considerable en el NDVI, como en 1998 que registró una mayor precipitación (2,640 mm) y un NDVI promedio (0.2447) inferior al de 1999 (0.2676) que tuvo una precipitación de apenas 307 mm.

Los máximos registros de NDVI se presentan en 1987 y 2023, años con precipitaciones que oscilan entre 500 y 700 mm,

que curiosamente difieren de periodos con más precipitaciones como 1997-1998 que superó los 3000 mm al año⁻¹, obteniendo un NDVI ligeramente menor. Ello se debería a un posible exceso de agua, que supera los umbrales óptimos de desarrollo fenológico de la vegetación del área de estudio, ya que tanto la carencia como el exceso de agua puede afectar el crecimiento de la vegetación e incluso el desarrollo de su follaje [43], porque en algunas especies de árboles, la defoliación es causada por la demasía de agua presente en el suelo que ocasiona una pérdida de nutrientes, además de la falta de oxígeno [44], [45]. Este tipo de escenarios, en el que la disponibilidad de agua supera la demanda máxima de la vegetación del bosque seco puede ocurrir con la precipitación extrema de un ENOS extraordinario como el acontecido en los años de 1997 y 1998.

Al correlacionar los valores del NDVI promedio con las precipitaciones anuales de la EMC de Pananga, en todo el periodo de análisis registra una baja correlación ($R^2 = 0.1758$) para un total de 31 meses de datos. Sin embargo, al considerar que en todo el periodo de estudio (1984-2023) se trabajó con imágenes capturadas por diferentes sensores (Landsat 4 MSS, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 y Landsat 9 OLI/TIRS), además de tener la ocurrencia de eventos extremos como el ENOS 1997-1998, se hizo correlaciones en periodos parciales de años en los que se usó el mismo sensor y fuera del periodo de efecto del ENOS extraordinario, obteniéndose valores alto de correlación en los periodos 1985-1996 ($R^2 = 0.6512$; p-value = 0.0048) y 2013-2023 ($R^2 = 0.9861$; p-value = 0.007). Este efecto se debería a las diferencias que presentan los sensores dispuestos en cada satélite que como los niveles de resolución espectral o radiométrica como lo afirma Ke et al. [46], respecto al rendimiento de Landsat 8 OLI/TIRS y las versiones anteriores como el Landsat 7 ETM+, menos preciso al detectar superficies con vegetación, generando valores más altos de NDVI en superficies acuáticas; o las variaciones en el NDVI que reporta Zhang & Roy [47], generados a partir de escenas Landsat 5 durante los periodos de 1995 a 2000 y de 2003 a 2007, debido a cambios en la órbita del sensor provocando detecciones incorrectas en eventos de reverdecimiento.

De igual forma, la correlación entre el NDVI promedio y el Índice de El Niño Costero a pesar de ser bajo ($R^2 < 0.1$), al hacer un análisis visual, se encuentran coincidencias cronológicas entre los picos alcanzados en ambas variables, lo que permite asumir la existencia de una relación más fuerte entre la ocurrencia de un ENOS que afecte la costa peruana y el desarrollo vegetal en el área de estudio, planteamiento que encuentra respaldo en las regresiones más elevadas que se tienen en los periodos parciales de 1984 a 1996 y 2016 a 2023 ($R^2 > 0.57$). Este fenómeno se debería a un efecto de distorsión que tendrían en los resultados del análisis numérico-estadístico valores atípicos registrados durante los años del ENOS extraordinario de 1997-1998, por las precipitaciones extremadamente elevadas con relación a los demás años, o las de fuertes sequías que reporta Carbajal et al. [48] en 2003, 2004,

2011 y 2014 que hicieron caer los valores de NDVI para esos años [48].

En ese sentido, hay una relación entre las sequías en Piura y su ocurrencia antes de un ENOS (de diferente magnitud) en el periodo de 1982 a 2007, contabilizándose 4 casos. Sin embargo, pasado este periodo no hay una clara relación, que se debería a que no se tiene más registros de sequía en Piura luego de 2002. Esto se debería a que en el periodo 2002 – 2023, se presentó una mayor recurrencia de eventos ENOS, la mayoría de poca intensidad, con menos tiempo entre una y otra, por lo que en los 25 años de diferencia que hay en el periodo de 1982 y 2007, ocurrieron 8 eventos ENOS, el mismo número que se presentó en los 16 años que hay entre 2007 y 2023, lo que habría generado que el poco tiempo que se tienen en este últimos entre un evento y otro, provoca una disminución de la duración de periodos secos, que no llegan a ser calificado como sequías, debido al incremento en la frecuencia de lluvias, lo que a su vez habría generado que se incremente los valores NDVI promedio y el área con cobertura foliar en el área de estudio en la última década.

En el caso de la baja correlación que se presenta entre la densidad poblacional de venados, o el número de individuos cobrados con las demás variables de estudio (NDVI, precipitaciones, temperaturas o el Índice de El Niño Costero), se debería a factores como la movilidad de las poblaciones, que, al no ser estáticas, pueden migrar hacia otras zonas por temporadas, incluso fuera del CCEA, en búsqueda de alimento o agua. Además, la administración del ANP no necesariamente tiene que lograr alcanzar la cuota máxima de cabezas ofertadas al año, debido a que influyen diversos factores como los que limitan la llegada de cazadores (periodos de elecciones, ocurrencia de conflictos sociales o desastres naturales). Asimismo, es probable que la administración del ANP maneje otro indicador poblacional para definir el número de individuos a ser ofertados a los cazadores para cada temporada.

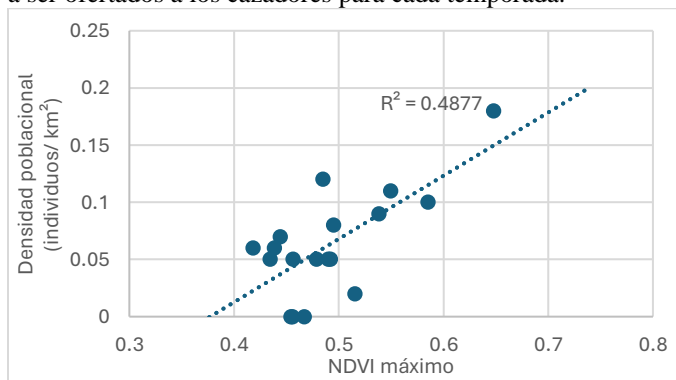


Fig. 7: Correlación entre la densidad poblacional del venado de cola blanca y el NDVI máximo por año.

En el caso del NDVI máximo, que es un indicador del nivel de vigorosidad al que puede llegar la vegetación, se encontró una relación moderada entre la densidad poblacional de venados y el NDVI máximo ($R^2 = 0.49$; p-value = 0.0026) correspondiente al año anterior (Fig. 7), fenómeno que se

debería a que la imagen satelital muestra indirectamente la disponibilidad de alimentos en el momento en el que fue tomada y que la fauna local consumirá en los siguientes meses, por lo que una escena que muestre una mayor vigorosidad de la vegetación, tendrá como efecto una mejora en los inventarios o censos de fauna en el periodo siguiente. Y dado que la dieta de los venados consiste en ramoneo leñoso, hierbas, leguminosas [49] y menor medida gramíneas, tendrán un mayor consumo cuando haya mayor cantidad de brotes tiernos como sucede después de un periodo de intensas lluvias [50].

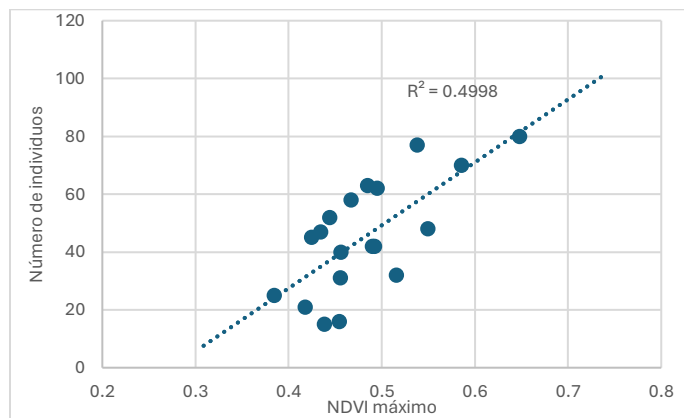


Fig. 8: Correlación entre el número de individuos del venado de cola blanca cobrados y el NDVI máximo por año.

Asimismo, se obtuvo una relación moderada entre el número de venados cobrados por año y el NDVI máximo ($R^2 = 0.50$; $p\text{-value} = 0.0007$) que se debería al mismo efecto que tiene el nivel de vigorosidad de la vegetación sobre las poblaciones de esta especie (Fig. 8), que permitiría una mayor disposición de individuos para su aprovechamiento comercial sin afectar la viabilidad de su población. Debido a su flexibilidad dietética, los venados de cola blanca son especies no migratorias con áreas de distribución altamente localizadas, lo que ha llevado a algunos autores a sugerirlos como una especie herbívora ideal para establecerse [51]. Además, la tasa de reproducción varía significativamente según la estación del año, posiblemente por una alteración en la dieta de los venados tras la disminución del crecimiento de la vegetación en los meses con condiciones climáticas desfavorables [51]. Como señala Martínez et al. [40], la temporada de caza de venados ocurre a inicios de mayo o junio y termina a finales de noviembre, por lo que la densidad poblacional no suele ser directamente proporcional a la cantidad de venados cobrados en el CCEA [40]. En ese sentido, se confirmaría lo planteado por Goldingay et al. [52], al indicar la que un efecto posterior a la ocurrencia de una sequía es el descenso en la abundancia (o densidad) de las poblaciones de mamíferos no voladores [52].

VI. CONCLUSIONES

A pesar de que el área de estudio presenta un buen estado de conservación, con poca intervención antrópica, el

incremento en la frecuencia de los eventos ENOS que se viene teniendo en los últimos 3 quinquenios, genera cambios significativos en los ecosistemas de la costa y yungas marítimas ecuatoriales al norte de Perú, como la mayor vigorosidad vegetal que muestran sus bosques secos, por la reducción de los periodos secos en los últimos años, lo que significaría cambios en sus condiciones de humedad y composición florística, que a su vez estaría afectando a la fauna que alberga, como lo evidenciaría los valores decrecientes de densidad poblacional y número de venados cobrados reportados por SERNANP a partir de 2011 en el CCEA.

Asimismo, se confirma que las herramientas de teledetección como las imágenes satelitales Landsat permiten hacer análisis temporales de años pasado, permitiendo conocer la evolución de ecosistemas clave como los bosques secos mediante el cálculo del NDVI y otros índices, que faciliten la obtención de datos para su evaluación y comparación con otras variables de interés.

REFERENCES

- [1] J. M. Schröder, L. P. Á. Rodríguez, and S. Günter, "Research trends: Tropical dry forests: The neglected research agenda?," *For Policy Econ*, vol. 122, p. 102333, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.forpol.2020.102333.
- [2] A. Khosravi Mashizi and M. Sharafatmandrad, "Dry forests conservation: A comprehensive approach linking ecosystem services to ecological drivers and sustainable management," *Glob Ecol Conserv*, vol. 47, p. e02652, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.gecco.2023.e02652.
- [3] J. Razafindramanana and K. Scobie, "Biodiversity, Ecosystem Services and the Conservation of Madagascar's Dry Gallery Forests and Freshwater Ecosystems," in *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, Elsevier, 2022, pp. 167–177. doi: 10.1016/B978-0-12-821139-7.00065-9.
- [4] M. Tabarelli, B. K. C. Filgueiras, E. M. S. Ribeiro, A. V. Lopes, and I. R. Leal, "Tropical Dry Forests," in *Encyclopedia of Biodiversity*, Elsevier, 2024, pp. 294–312. doi: 10.1016/B978-0-12-822562-2.00090-6.
- [5] G. Enrica et al., "Landscape features shape people's perception of ecosystem service supply areas," *Ecosyst Serv*, vol. 64, p. 101561, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.ecoser.2023.101561.
- [6] Z. G. Siyum, "Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives," *Ecol Process*, vol. 9, no. 1, p. 25, Dec. 2020, doi: 10.1186/s13717-020-00229-6.
- [7] G. B. Bonan, "Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests," *Science (1979)*, vol. 320, no. 5882, pp. 1444–1449, Feb. 2008, doi: 10.1126/science.1155121.
- [8] P. G. Murphy and Ariel E. Lugo, "Ecology of Tropical Dry Forest," vol. 17, pp. 67–68, 1986, Accessed: Sep. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/2096989>
- [9] C. A. Portillo-Quintero and G. A. Sánchez-Azofeifa, "Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas," *Biol Conserv*, vol. 143, no. 1, pp. 144–155, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.biocon.2009.09.020.
- [10] K. D. Stan, A. Sanchez-Azofeifa, and H. F. Hamann, "Widespread degradation and limited protection of forests in global tropical dry ecosystems," *Biol Conserv*, vol. 289, p. 110425, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.biocon.2023.110425.
- [11] L. K. Werden, E. Calderón-Morales, P. Alvarado J., M. Gutiérrez L., D. A. Nedveck, and J. S. Powers, "Using large-scale tropical dry forest restoration to test successional theory," *Ecological Applications*, vol. 30, no. 6, Sep. 2020, doi: 10.1002/eap.2116.
- [12] T. G. F. da Silva et al., "Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area," *Soil Tillage Res*, vol. 207, p. 104852, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.still.2020.104852.

- [13] S. Ezaidi *et al.*, “Multi-temporal Landsat-derived NDVI for vegetation cover degradation for the period 1984-2018 in part of the Arganeraie Biosphere Reserve (Morocco),” *Remote Sens Appl*, vol. 27, p. 100800, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.rsase.2022.100800.
- [14] M. J. Mosciaro, L. Seghezze, M. Texeira, J. Paruelo, and J. Volante, “Where did the forest go? Post-deforestation land use dynamics in the Dry Chaco region in Northwestern Argentina,” *Land use policy*, vol. 129, p. 106650, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.landusepol.2023.106650.
- [15] O. Q. Whaley, D. G. Beresford-Jones, W. Milliken, A. Orellana, A. Smyk, and J. Leguía, “An ecosystem approach to restoration and sustainable management of dry forest in southern Peru,” *Kew Bull*, vol. 65, no. 4, pp. 613–641, Dec. 2010, doi: 10.1007/s12225-010-9235-y.
- [16] A. Khosravi Mashizi and M. Sharafatmandrad, “Dry forests conservation: A comprehensive approach linking ecosystem services to ecological drivers and sustainable management,” *Glob Ecol Conserv*, vol. 47, p. e02652, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.gecco.2023.e02652.
- [17] S. Quijas *et al.*, “Linking biodiversity, ecosystem services, and beneficiaries of tropical dry forests of Latin America: Review and new perspectives,” *Ecosyst Serv*, vol. 36, p. 100909, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ecoser.2019.100909.
- [18] M. P. S. Pereira *et al.*, “Brazilian Dry Forest (Caatinga) Response To Multiple ENSO: the role of Atlantic and Pacific Ocean,” *Science of The Total Environment*, vol. 705, p. 135717, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135717.
- [19] K. Takahashi, “Fenómeno El Niño: ‘Global’ vs ‘Costero,’” *Instituto Geofísico del Perú (IGP)*, pp. 4–7, Apr. 2017. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5101>
- [20] M. J. McPhaden, S. E. Zebiak, and M. H. Glantz, “ENSO as an Integrating Concept in Earth Science,” *Science (1979)*, vol. 314, no. 5806, pp. 1740–1745, Dec. 2006, doi: 10.1126/science.1132588.
- [21] C. E. Ndehedehe, O. E. Adeyeri, A. O. Onojeghuo, G. Ferreira, I. Kalu, and O. Okwuashi, “Understanding global groundwater-climate interactions,” *Science of The Total Environment*, vol. 904, no. June, p. 166571, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.166571.
- [22] T. Le, “Increased impact of the El Niño–Southern Oscillation on global vegetation under future warming environment,” *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 14459, Sep. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-41590-8.
- [23] P. Yang, H. S. Fok, and Z. Ma, “Mapping long-term spatial impact of ENSO on hydroclimatic variables in China,” *Advances in Space Research*, vol. 72, no. 6, pp. 2195–2216, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.ASR.2023.05.031.
- [24] A. Haines and H. C. Y. Lam, “El Niño and health in an era of unprecedented climate change,” *The Lancet*, vol. 402, no. 10415, pp. 1811–1813, Feb. 2023, doi: 10.1016/S0140-6736(23)01664-1.
- [25] G.-G. Wang, H. Cheng, Y. Zhang, and H. Yu, “Survey paper ENSO analysis and prediction using deep learning: A review,” *Elsevier*, vol. 520, pp. 216–219, 2022, doi: 10.1016/j.neucom.2022.11.078.
- [26] H. Geng and T. Wang, “Spatiotemporal Model Based on Deep Learning for ENSO Forecasts,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 12, no. 7, p. 810, Feb. 2021, doi: 10.3390/atmos12070810.
- [27] Y. Hao, Z. Hao, S. Feng, X. Zhang, and F. Hao, “Response of vegetation to El Niño–Southern Oscillation (ENSO) via compound dry and hot events in southern Africa,” *Glob Planet Change*, vol. 195, p. 103358, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.gloplacha.2020.103358.
- [28] Z. Hao, F. Hao, V. P. Singh, and X. Zhang, “Quantifying the relationship between compound dry and hot events and El Niño–southern Oscillation (ENSO) at the global scale,” *J Hydrol (Amst)*, vol. 567, pp. 332–338, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.022.
- [29] D. F. Campos-Aranda, “Estudio de sequías meteorológicas anuales por medio del índice de aridez, en el estado de Zacatecas, México,” *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 17, no. 3, pp. 405–417, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.riit.2016.07.010.
- [30] E. Colotti, M. Cedeño, and C. Montañez, “La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004,” *Terra. Nueva Etapa*, vol. XXIX, no. 45, pp. 11–53, 2013, Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72130180002>
- [31] L. Zou, S. Cao, Z. Zhu, and A. Sanchez-Azofeifa, “Assessment of the response of tropical dry forests to El Niño southern oscillation,” *Ecol Indic*, vol. 133, p. 108390, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108390.
- [32] Y. E. Z. Mera, J. F. R. Vera, and M. Á. Pérez-Martín, “Linking El Niño Southern Oscillation for early drought detection in tropical climates: The Ecuadorian coast,” *Science of The Total Environment*, vol. 643, pp. 193–207, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.160.
- [33] D. Soto and L. Del Castillo, “Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú,” 2013. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/571/mod_page/content/87/PERU_2_2.pdf
- [34] E. Belle *et al.*, *Protected Planet Report 2018*. 2018. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/330106546_Protected_Planet_Report_2018
- [35] Z. Gu, J. Gong, and Y. Wang, “Construction and evaluation of ecological networks among natural protected areas based on ‘quality-structure–function’: A case study of the Qinghai-Tibet area,” *Ecol Indic*, vol. 151, p. 110228, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.110228.
- [36] S. Shanee, N. Shanee, W. Lock, and M. J. Espejo-Urbe, “The Development and Growth of Non-Governmental Conservation in Peru: Privately and Communally Protected Areas,” *Hum Ecol*, vol. 48, no. 6, pp. 681–693, Dec. 2020, doi: 10.1007/s10745-020-00188-8.
- [37] J. Jordan and K. Eckhardt, “Evaluation of the water quality of Laguna Marvilla in Pantanos de Villa (Lima – Peru),” *South Sustainability*, p. e022, 2020, doi: 10.21142/SS-0102-2020-022.
- [38] Instituto Geofísico del Perú, “Ecosistemas del norte del Perú: El Coto de Caza El Angolo.” 2017, Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/1273/ENP_CCEA1.pdf
- [39] R. Elías Piperis and P. Vásquez Ruesta, “Protocolo Sanitario para Venados Cola Blanca (*Odocoileus virginianus peruvianus*) del Sector Sauce Grande - Coto de Caza El Angolo, Piura, Perú,” *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 27, no. 3, p. 531, Oct. 2016, doi: 10.15381/rivep.v27i3.12001.
- [40] A. Martínez, D. Flores, and L. Céspedes, “Ecosistemas del norte del Perú: El Coto de Caza El Angolo.” Feb. 2017. [Online]. Available: https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/1273/ENP_CCEA1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [41] Ministerio del Ambiente, “Mapa Nacional de Ecosistemas.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/Mapa_ecosistemas_2018.pdf
- [42] Estudio del Fenómeno del Niño, “Índice Costero El Niño (ICEN),” Instituto del Mar del Perú.
- [43] M. Toigo, M. Nicolas, M. Jonard, L. Croisé, L. M. Nageleisen, and H. Jactel, “Temporal trends in tree defoliation and response to multiple biotic and abiotic stresses,” *For Ecol Manage*, vol. 477, p. 118476, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.FORECO.2020.118476.
- [44] R. Ortiz, “FENOLOGIA DE ARBOLES EN UN BOSQUE SEMIDECIDUO TROPICAL DEL ESTADO COJEDES,” *JSTOR*, vol. 16, no. 1, pp. 93–116, 1990, Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/41740491>
- [45] J. A. Pardos, “Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo,” *Fuera de serie*, pp. 101–107, 2004, Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/40bf/cfe828ea9cbceeffb23519a533ffb696e8.pdf>
- [46] Y. Ke, J. Im, J. Lee, H. Gong, and Y. Ryu, “Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations,” *Remote Sens Environ*, vol. 164, pp. 298–313, Feb. 2015, doi: 10.1016/J.RSE.2015.04.004.
- [47] H. K. Zhang and D. P. Roy, “Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change,” *Remote Sens Environ*, vol. 186, pp. 217–233, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.RSE.2016.08.022.
- [48] G. Carbajal, B. Willems, and W. Lavado, “Identificación de patrones relevantes a la sequía agrícola a partir del análisis espacial y temporal

- del Índice de Condición de la Vegetación – Caso estudio: Áreas agrícolas de la región Piura, Perú (2000 - 2017),” *Revista ECIPerú*, vol. 15, no. 2, Feb. 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2018.0013/>
- [49] C. M. McKinney *et al.*, “Forage quantity and protein concentration changes across a forest-savanna gradient with management implications for white-tailed deer,” *For Ecol Manage*, vol. 538, p. 120987, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.foreco.2023.120987.
- [50] S. J. Noe, G. D. Wilson, A. VanDerwarker, R. J. George, and D. J. Kennet, “Deer, drought, and warfare: Managing risk in the central Illinois river valley (CIRV) from the eleventh through fourteenth centuries,” *Quaternary International*, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.quaint.2023.08.001.
- [51] T. Malasek *et al.*, “Evaluating the fidelity of enamel isotopic data and environmental variation in paleoecological studies: A case study in wild, known-aged, modern white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*),” *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, vol. 622, p. 111587, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.palaeo.2023.111587.
- [52] R. L. Goldingay, J. L. Parkyn, and D. McHugh, “Drought-induced population decline in an exudivorous mammal and its relevance to forest management,” *For Ecol Manage*, vol. 548, p. 121424, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.foreco.2023.121424.