

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS**

**Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero
Agrónomo**

**Título: Determinación de zonas áridas dedicadas a la
ganadería y su efecto en la vegetación en agroecosistemas
del municipio Báguano, Holguín.**

Autora: Elianni Osorio Serrano

Tutores: Ing. Roberto Alejandro García Reyes

Holguín 2022

Pensamiento

“Hay que lograr un salto de calidad en la agricultura para que la agricultura no sea un sector de la producción que no aporte a la economía, que incluso le esté costando a la economía y se convierta la agricultura en un sector de la economía nacional que aporte al país”

Fidel Castro Ruz

RESUMEN

La presencia de zonas áridas en el mundo cada vez es mayor, y Cuba no se encuentra exenta a ello pues el efecto del Cambio Climático en el aumento de las temperaturas y el descenso de las lluvias va en aumento en los últimos años. La investigación que se presenta tuvo como objetivo general la determinación de zonas áridas dedicadas a la ganadería y su efecto en la vegetación mediante teledetección en agroecosistemas del municipio Báguano, Holguín. Para la determinación de la aridez se utilizó el Índice de Lang calculado a partir de márgenes de WorldClim 2 referentes a la temperatura media anual y la precipitación anual, mientras que para la determinación de la cobertura vegetal en la zona de estudio se utilizó un imagen del satélite Landsat 8 OLI/TIRS. Se utilizaron los software QGIS 3.10 y ArcGIS 10.5 para el procesamiento de las imágenes y la extracción de los valores que fueron llevados a una base de datos en Excel y procesados en el STATGRAPHICS mediante análisis de regresión lineal. El Índice de Lang arrojó la presencia de una zona semiárida con valores homogéneos que oscilan entre 42 y 47. Los valores de NDVI se corresponden a una escasa presencia de vegetación y valores negativos a la aparición de nubes en la imagen utilizada. Existe una alta correlación y determinación en el análisis de regresión entre las variables Índice de Lang vs. NDVI con valores cercanos a 1 y al 100 %. Los resultados obtenidos se corroboran con los obtenidos por otras investigaciones en el mundo donde el factor uso del suelo dedicado a la ganadería y el efecto del cambio climático son desencadenadores de procesos de aridez.

ABSTRACT

The presence of arid zones in the world each time is older, and Cuba does not find itself exempt to it because the effect of the Climatic Change in the increase of temperatures and the descent of the rains is on the increase of late years. The investigation that presents itself aimed at the determination of arid zones dedicated to the cattle raising and his effect in the intervening vegetation generally remote sensing in agroecosistemas of the municipality Báguano, Holguín. The s utilized for the determination of aridity Lang's index calculated as from márgenes of WorldClim 2 referent to temperature annual mean and the yearly precipitation, while for the determination of the vegetable coverage at the survey area it was utilized one the satellite's image Landsat 8 OLI/TIRS. They utilized themselves them software QGIS 3.10 and ArcGIS 10,5 for the processing of imagery and the extraction of the moral values that were taken to a data base in Excel and defendants in the intervening STATGRAPHICS linear regression analysis. Lang's index yielded the presence of a semiarid zone with homogenous moral values that they oscillate between 42 and 46. The moral values of NDVI correspond themselves to a scarce presence of vegetation and negative values to the appearing of clouds in the utilized image. Exists a loud correlation and determination in the regression analysis between the variables Lang's index vs. NDVI with close moral values to 1 and to the 100 %. They corroborate the obtained results with to you obtained for another investigations in the world where I use the factor of the ground once the cattle raising was dedicated and desencadenadores of processes of aridity are the effect of the climatic change.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1. Teledetección	4
2. Uso de imágenes por satélite para estudios espacio temporales en zonas áridas y secas.....	5
2.1. Datos climáticos geoespaciales	8
3. Factores climáticos involucrados en la determinación de la aridez	9
3.1. Temperatura	9
3.2. Precipitación	11
4. Aridez	13
4.1. Causas de la aridez.....	14
4.2. Adaptaciones de las plantas a la aridez.....	17
4.3. Índices de aridez	19
4.4. La aridez en Cuba	20
MATERIALES Y MÉTODOS	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

INTRODUCCIÓN

Los pastizales naturales de zonas áridas cubren, aproximadamente, el 40% de la superficie terrestre y producen alimentos para alrededor de una quinta parte de la población mundial (Conegliano, 2018). Estos sistemas son el sustento biofísico de una variedad de servicios ecosistémicos que han sido esenciales para el desarrollo de la población humana por miles de años (Reynolds *et al.*, 2002).

Entre los numerosos y variados servicios ecosistémicos, se destaca la provisión de biomasa forrajera para el desarrollo de la ganadería (Salas y Paruelo, 1997). En los pastizales naturales de zonas áridas y semiáridas, la ganadería extensiva se presenta como la práctica más frecuente (Conegliano, 2018).

Cuando este tipo de ganadería se realiza con cargas animales superiores a las admitidas por el sistema o con un inapropiado manejo del pastoreo, provoca la degradación del pastizal natural (Blanco y Biurrum, 2005). Según Cabido *et al.* (1994), los pastizales de zonas áridas presentan una recuperación más lenta, en comparación con sus análogos de zonas húmedas.

En base a esto es menester considerar al pastizal natural como sistemas ecológicos más frágiles y susceptibles a las perturbaciones, por lo cual compatibilizar los sistemas de producción con la conservación del mismo, es un aspecto clave para el desarrollo de la ganadería en las zonas áridas y semiáridas (Vera *et al.*, 2003). En ese sentido y como paso inicial para evitar la degradación del pastizal, es necesario contar con una detallada caracterización de las especies forrajeras y una completa evaluación del estado de conservación (Dalmasso *et al.*, 2018).

A nivel mundial, el uso de tecnología informática y electrónica en el ámbito agropecuario se ha establecido como una necesidad para optimizar la producción y forma parte del denominado paquete tecnológico habitual en grandes escalas productivas. No obstante, en la actualidad persiste el auge en la investigación en estas temáticas, generando conocimiento, a partir de diferentes estrategias de aplicación en el ámbito agropecuario, tanto de *Big Data* (Kamilaris, 2017), inteligencia artificial e Internet de las Cosas (Subeesh, 2021), como de soporte para la toma de decisiones (Kukar, 2019) hasta la denominada Agricultura 4.0 (Zhai, 2020). Por otro lado, en el dominio de

la producción ganadera y su relación con el clima en producciones de baja escala existen experiencias en Kenia (Brandt, 2017), Pakistan (Ahmed 2018) y Grecia (Vouraki, 2020), entre otros.

En las últimas décadas los sensores remotos fueron valiosos auxiliares para el estudio de los sistemas naturales. El uso más frecuente de estas herramientas ha sido la caracterización estructural del paisaje. En estos casos, un atributo de la superficie terrestre se relaciona con un comportamiento espectral determinado sin conocer los mecanismos del vínculo (Paruelo, 2008).

Del mismo modo que en otras zonas desérticas del mundo, la vegetación se organiza como un mosaico de dos fases: una fase provista de vegetación con elevada cobertura, donde se destaca un estrato arbustivo (con especies del género *Larrea*) con emergentes arbóreos (con especies del género *Prosopis*), y una fase donde la cobertura vegetal es baja o nula (Bisigato *et al.*, 2009).

Por otra parte, la mayoría de la vegetación de zonas desérticas tiene un área foliar pequeña y tejidos no fotosintéticos durante períodos prolongados, por lo tanto, los índices de vegetación más comúnmente usados (por ejemplo, NDVI) no son apropiados para mapear o cuantificar la cantidad de biomasa verde (Campos *et al.*, 2018).

Por lo antes expuesto se plantea como **problema científico**:

¿Cómo determinar zonas áridas dedicadas a la ganadería y su efecto en la vegetación mediante teledetección en agroecosistemas del municipio Báguano, Holguín?

Como **hipótesis**:

El uso de la teledetección permita determinar zonas áridas dedicadas a la ganadería y su efecto en la vegetación en agroecosistemas del municipio Báguano, Holguín.

Objetivo general:

Determinar zonas áridas dedicadas a la ganadería y su efecto en la vegetación mediante teledetección en agroecosistemas del municipio Báguano, Holguín.

Objetivos específicos:

- Determinar la aridez presente en el área ganadera mediante imágenes de WorldClim 2.
- Caracterizar el NDVI en el área de estudio a partir de su variación espacio temporal en el área de estudio.
- Relacionar el estado de aridez en el área ganadera con el estado de la vegetación mediante información espectral de Landsat 8 OLI/TIRS.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Teledetección

Se puede definir a la teledetección como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde una plataforma satelital, ya sea a partir de la energía reflejada de la luz solar o bien por la reflexión de un haz artificial emitido por el propio sensor (Chuvienco, 2006).

Esta técnica involucra muchos elementos como la fuente de energía, el sistema satélite sensor, la cubierta terrestre (suelos, vegetación y agua), el sistema receptor, el intérprete y el usuario. La teledetección pasiva es aquella que utiliza la energía reflejada de la luz solar (sensores ópticos), así mismo la teledetección activa es aquella capaz de emitir un haz de energía y recibir la reflexión del mismo como es el caso del radar (aunque también existen radares pasivos) (Chuvienco, 2006).

Los sensores remotos obtienen información de la superficie terrestre debido a un flujo energético que proviene de la energía reflejada del objeto iluminado (por el sol o por el mismo sensor). Por lo tanto podemos describir la energía radiante según su longitud de onda (frecuencia), su dirección, su amplitud y su polarización. Según su longitud de onda el espectro electromagnético se divide en varias regiones como los rayos gamma, rayos ultravioletas, región visible, infrarrojo, microondas, y por último las ondas de radio (Chuvienco, 2006).

La dirección se refiere desde donde proviene y hacia dónde se dirige la onda, la amplitud tiene que ver con la magnitud de la misma y finalmente la polarización es la orientación del campo eléctrico de la energía radiante y es influenciado por la forma geométrica de los objetos bajo investigación como así también la interacción de la onda con los mismos.

El rango visible del espectro electromagnético es aprovechado por los sensores denominados ópticos mientras que la porción del espectro ocupado por las microondas (marcada con un recuadro naranja) es utilizado por los sensores de radar para obtener información de la superficie terrestre. En el rango de dicho espectro existen regiones denominadas ventanas atmosféricas que permiten a los sensores remotos recabar

información con la menor interferencia de la atmósfera a causa del vapor de agua, aerosoles y gases.

La teledetección presenta ventajas competitivas frente a la toma de datos tradicional mediante la realización de campañas de campo. Ésta permite explorar una gran cantidad de superficie terrestre en poco tiempo y relativamente a bajo costo. Los satélites permiten, a partir de su tiempo de revisita, obtener información recurrente de un punto específico del globo. De esta manera se generan un conjunto de datos sólidos que permiten la comparación de los mismos de manera coherente. Otra ventaja es la posibilidad de obtener información valiosa de lugares o regiones de difícil acceso como por ejemplo las zonas montañosas, los glaciares o los polos. Por otro lado, la teledetección permite obtener información de otras porciones del espectro electromagnético como el infrarrojo medio, térmico y las microondas que no son accesibles a la ojo humano.

Podemos disponer de esta información en formato digital lo que facilita su interpretación y permite su combinación con otros datos generando mapas de gran utilidad en muchos campos de la ciencia. Esto no quiere decir que las campañas de toma de datos a campo pierdan importancia, sino que se reservan para la calibración y validación de los datos obtenidos a partir de los sensores satelitales. De este modo ocurre una sinergia que permite explorar mayor cantidad de área siendo eficientes en el uso del tiempo y los recursos (Chuvieco, 2006).

2. Uso de imágenes por satélite para estudios espacio temporales en zonas áridas y secas

Las imágenes por satélites constituyendo hoy en día herramientas tecnológicas para abordar una gran parte de los fenómenos medioambientales, generando mapas e indicadores que permiten a directivos, técnicos y especialistas de los sectores de la agricultura y medio ambiente su utilización para establecer estrategias de reducción y mitigación de riesgos de desastres y políticas para el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental (Ponvert, 2016)

El fenómeno de la sequía agrícola conjuntamente con la evaluación de zonas áridas y secas, es en la esfera medioambiental y concretamente en el manejo de las tierras

donde el uso de las imágenes por satélites tiene una utilización cada vez mayor. El monitoreo de las sequías existe en la mayoría de los países usando información terrestre con parámetros relacionados como precipitaciones, clima, condición de las cosechas y disponibilidad de agua. Estos parámetros se integran con los datos obtenidos de la observación terrestre desde los satélites, con los que se realiza el monitoreo de estos parámetros de una manera más efectiva (Hernández y Moragues, 2002).

Las razones que hacen posible el uso de la herramienta tecnológica de la teledetección espacial, son su capacidad para discriminar grandes áreas que tienen diferentes características en su composición físico-química de la superficie expuesta sobre el suelo (como suele ser el caso de áreas afectadas por procesos de salinización, humedad y zonas áridas y secas), debido a la propiedad que éstas tienen de reflejar la energía electromagnética proveniente del sol en diferente magnitud y, además, debido a la capacidad resolutive de los sensores a bordo de los satélites de recursos naturales para detectar distintos niveles de reflectancia.

Una de las grandes ventajas de las imágenes satelitales es que los satélites que las capturan, pasan por un mismo lugar periódicamente lo que asegura la multitemporalidad de los estudios. Otra de las ventajas radica en que dependiendo de sus características espaciales pueden ser empleadas para generar cartografía temática a escalas variables, desde poco nivel de detalles como es el caso de las NOAA-AVHRR (sirven para escala de estudio de 1: 1 000 000) hasta escalas de gran nivel de detalle (1: 20 000), como es el caso de las IKONOS, Spot, etc., pasando por aquellas de un nivel de detalles intermedio (escalas entre 1:250 000 a 1: 50 000) como puede ser el caso de las provenientes del Landsat TM o ETM, SPOT, MODIS, etc.

Otras tienen la ventaja de constituir un documento relevante para actualizar la cartografía topográfica, como es el caso de las imágenes del *Google Earth*, siempre y cuando sean de tiempos recientes. Tomando en consideración estos antecedentes, los satélites usados en apoyo al manejo de las sequías (Mu *et al.*, 2012) son:

- I. Para predicción: se usan los satélites meteorológicos estacionarios (GOES-EEUU; METEOSAT-ESA; GMS-Japón, INSAT-India; Fen Yun-China; el SSMI

(Special Sensor Microwave Imager) del DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) y AMI (Active Microwave Instrument) en el ERS-2.

- II. Para monitoreo y alerta temprana: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer; TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) de la serie NOAA; IRS / WiFS (India); Spot-4 /Vegetation (CNES); MMRS, HRTC/SAC-C.

También para el monitoreo aunque es necesario una evaluación, pueden usarse: (TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)-NASA y NASDA; MODIS/Terra y el MERIS/Envisat. *Para el sistema de sequías basados en GIS:* Los satélites de alta resolución espacial Landsat (EEUU), IRS (India) y Spot (CNES).

En el caso de Cuba, se dispone de una cobertura total de imágenes satelitarias de distinta resolución espacial, espectral y temporal, lo cual es un elemento importante a la hora de seleccionar los datos geoespaciales tanto de momentos anteriores como actuales para implementar estudios sobre este fenómeno.

Los distintos tipos de imágenes procedentes de sensores de observación de la Tierra que se disponen en nuestro país y que cubren absolutamente todo el territorio son:

- Landsat Thematic Mapper (TM) Enhanced Thematic Mapper (ETM): estas imágenes tanto actuales como antiguas se pueden descargar gratuitamente desde disímiles portales. Spot-HVR: las imágenes actuales de este satélite no son gratuitas como el caso anterior, es necesario comprarlas a los distribuidores, no obstante una gran parte del territorio nacional se encuentra cubierta con distintos parches que poseen diferentes organismos y centros de investigación, a los cuales se pueden solicitar para realizar estos estudios.
- NOAA/AVHRR: las imágenes provenientes de este satélite están disponibles gratuitamente para todo el país y se pueden adquirir mediante la solicitud a distintas instituciones como el Instituto de Meteorología que diariamente las captura y descarga para los trabajos operativos de monitoreo y pronóstico meteorológico.
- GOOGLE EARTH: en Cuba existe una cobertura completa de muchas regiones del país con este tipo de imágenes que son descargadas gratuitamente mediante el software Google Earth Pro, existiendo organizaciones como GEOCUBA, que dispone de un banco de ellas.

Existe además otro grupo de imágenes proveniente de los sensores IKONOS, y MODIS que han sido adquiridas mediante pago por distintas instituciones empresariales y científicas del país o han sido recibidas en el marco de proyectos de colaboración con instituciones académicas y científicas internacionales, que también pueden ser solicitadas cumpliendo con un protocolo específico.

2.1. Datos climáticos geoespaciales

De acuerdo a Johnston y Matlock (2011), en los recientes años, se han creado modelos de adaptación de la agricultura a escalas nacionales y regionales, para crear políticas de decisión frente al cambio climático, esperando resultados favorables en la seguridad alimentaria, además de las futuras demandas de agua.

Así mismo menciona que estos modelos a menudo son limitados por los formatos de los datos geoespaciales que no son homogéneos. Por ellos, para la aplicación de estos modelos requieren mayor esfuerzo en calibración y validación. Y con respecto a datos climáticos Johnston y Matlock (2011), menciona sobre la necesidad de contar con datos climáticos históricos geoespacialmente procesados, para la agricultura, especialmente para los estudios a nivel regional.

Los modelos de simulación en agricultura, suelen requerir grandes cantidades de datos climáticos, incluyendo temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y radiación solar. Esta información puede ser proporcionada por una variedad de fuentes cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Algunas fuentes públicamente disponibles incluyendo datos de estaciones meteorológicas hasta datos satelitales. Dependiendo de la aplicación el usuario debe seleccionar el conjunto de datos apropiados.

El mismo autor proporciona la siguiente lista de estaciones meteorológicas mundiales:

- PRISM (Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model): Es un sistema de mapas climáticos con una resolución de 4 Km cuadrados, basados en modelos de regresión, presenta datos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, así mismo es fácilmente aplicable a sistemas de información geográfica.

Entre otras estaciones Johnston y Matlock (2011), mencionan y describen a:

- WORLDCLIM, VEMAP (Vegetation/Ecosystem Modeling and Analysis Project), CRU (Climate Research Unit), NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resource

2.1.1. Estación Meteorológica WORLDCLIM

Según Johnston y Matlock (2011), WorldClim es una alternativa al conjunto de datos PRISM, por su alta resolución que incluye el mundo entero, con exclusión de la Antártida. WorldClim contiene estaciones globales con datos climáticos de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación con una resolución de 1 Km cuadrado y datos históricos de entre los años 1950 y 2000.

Similar a PRISM, WorldClim interpola estaciones meteorológicas para producir rejillas mensuales de las variables climáticas. La variedad de fuentes para la base de datos incluyen estaciones meteorológicas como: GHCN (Global Historical Climate Network data),

WMO Climatological Normals, FAOCLIM 2.0, CIAT (Centro Internacional de agricultura Tropical), y otras bases de datos regionales. El registro de datos de precipitación proceden de 47554 localidades, temperatura media 24542 localidades y las temperaturas máximas y mínimas de 14835 localidades (Fick y Hijmans, 2017).

3. Factores climáticos involucrados en la determinación de la aridez

3.1. Temperatura

Según Mariscal (1992), la temperatura de la tierra, considerado como tierra a todos los elementos que hay en ella, es el valor de la cantidad de calor que se mide en un momento determinado. Este calor es recibido en su mayor parte de una gran fuente de energía que es el sol y esa cantidad para un lugar determinado, depende naturalmente del estado de la atmósfera en ese momento (grado de nubosidad, brumoso, etc.), y especialmente de la altura y de la declinación del sol, que es la que determina las estaciones del año.

Como también Sarochar (2005), indica que las conocidas sensaciones de calor y frío se expresan con adjetivos tales como fresco, tibio, cálido, caliente, etc. Cuando tocamos

un objeto, utilizamos nuestro sentido de la temperatura para atribuirle una propiedad denominada temperatura, que determina si se percibe caliente o frío al tacto.

Cuanto más caliente se percibe, más alta es la temperatura. Sin embargo, para definirla cuantitativamente, hemos de hacerlo mediante métodos independientes de nuestras percepciones sensoriales de calor o frío y que impliquen cantidades objetivamente mensurables.

En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas, Mariscal (1992), indica que en cualquier lugar de la superficie terrestre, en un día cualquiera siempre se presenta una temperatura mínima y máxima, debido a que la superficie terrestre por irradiación va perdiendo continuamente su calor durante la noche, al salir el sol el calor que este envía compensa el calor que la tierra pierde y la temperatura deja de bajar poco después la temperatura de la superficie terrestre va ascendiendo muy lentamente y la pérdida de calor también es pequeña.

A su vez Sarochar (2005), indica que la temperatura máxima es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas. Y por otro lado la temperatura mínima es la menor temperatura registrada en un día, y se puede registrar entre las 06:00 y las 08:00 horas.

La marcha diaria de la temperatura sujeta entre otras a la declinación del sol, hace que las temperaturas medias diarias acusen diferentes valores para cada mes y estación del año, lo que resulta complicada la comparación entre estos. Por ello todas las temperaturas habidas en un día, mes y año se condensan en un solo valor por medio de las temperaturas medias. La temperatura media mensual se calcula sumando la temperatura media diariade todos los días y promediando esta suma por el número de días que posee el mes (Mariscal, 1992).

Según Sarochar (2005), existen variación con los tipos de superficie terrestre: la distribución de continentes y océanos produce un efecto muy importante en la variación de temperatura. Al establecerse diferentes capacidades de absorción y emisión de radiación entre tierra y agua (capacidad calorífica), podemos decir que las variaciones de temperatura sobre las áreas de agua experimentan menores amplitudes que sobre las sólidas.

Sobre los continentes, se debe resaltar el hecho de que existen diferentes tipos de suelos en cuanto a sus características: desérticos, selváticos, cubiertos de nieve, etc. Tal es así que, por ejemplo, suelos muy húmedos, como pantanos o ciénagas, actúan en forma similar a las superficies de agua, atenuando considerablemente las variaciones de temperatura.

El mismo autor señala que también la vegetación espesa tiende a atenuar los cambios de temperatura, debido a que contiene bastante agua, actuando como un aislante para la transferencia de calor entre la Tierra y la atmósfera.

Por otro lado, las regiones desérticas o áridas permiten grandes variación es en la temperatura. Esta influencia climática tiene a su vez su propia variación diurna y estacional. Como ejemplo ilustrativo de este hecho podemos citar que una diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas puede ser de 10°C, o menos, sobre agua, suelos pantanosos o inundados, mientras que diferencias de hasta 40°C o más, son posibles sobre suelos rocosos o desiertos de arena.

3.2. Precipitación

De acuerdo a Sarochar (2005), la precipitación puede, producirse por la caída directa de gotas de agua o de cristales de hielo que se funden, las gotas son mayor cuanta más alta está la nube que las forma y más elevada es la humedad del aire, ya que se condensa sobre ellas el vapor de las capas que van atravesando. Durante el largo recorrido, muchas gotas llegan a juntarse, fenómeno que también se presenta en los cristales de hielo.

Estas gotas caen en virtud de su peso, y lo hacen a una velocidad que varía entre 4 y 8 m/s, según sea el tamaño de las mismas y la influencia del viento. En cuanto a su tamaño, varía entre 0,7 y 5 milímetros de diámetro. No obstante, una típica gota de precipitación denominada lluvia tiene un milímetro de diámetro.

Por otro lado para Mariscal (1992), la precipitación pluvial, abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes y caen a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo.

La lluvia resulta del ascenso y enfriamiento del aire húmedo, ya que a menos temperatura no puede retener todo su vapor de agua, parte del cual se condensa rápidamente, lo que ocurre de varias formas:

- Convección: Se produce cuando una masa de aire asciende debido a que su temperatura es mayor y, por tanto, es más ligera que el aire que la rodea. El resultado es que la masa se enfría y se origina el proceso de condensación, lo que da lugar a la lluvia por convección.
- Lluvia orográfica: Ocurre cuando una masa de aire también puede ser forzada a subir a niveles más fríos, cuando encuentra una cadena montañosa en su camino, por ejemplo. La lluvia producida por este método se denomina lluvia orográfica o de relieve.
- Lluvia frontal o ciclónica: Es un proceso similar al anterior y tiene lugar cuando una masa de aire caliente se encuentra con una gran masa de aire frío. Como las masas de aire generalmente no se mezclan, el aire caliente asciende, deslizándose por encima del frío, produciéndose el enfriamiento, condensación y precipitación (Sarochar, 2005)

Sarochar (2005); Amílcar (1992) y Sánchez(2001), coinciden o tienen opiniones similares con respecto a los tipos de precipitación, los cuales son:

- Agua líquida: es la forma más común y resulta de la caída directa de las nubes. A menudo la precipitación comienza como hielo pero se funde en su trayecto a la tierra. Abarca superficies de regular extensión.

Se compone de gotas mayores de 0,5 mm de diámetro, que caen con una velocidad superior a 3 m/s. La nube que la genera es el Nimbostratus. Según su mayor o menor intensidad, se las denomina lluvia fuerte, moderada o ligera.

- Lluvia general: es una lluvia de larga duración (de 3 a 48 horas) y de importante registro (de 10 a 200 mm), abarca grandes extensiones, comúnmente provincias o países enteros. Es lluvia producida por la elevación de masas de aire calientes y húmedas.
- Llovizna: suele ser también de larga duración, pero de poca intensidad, no pasando de 1 mm por hora. Las lloviznas se producen en igualdad de condiciones que las

lluvias generales, pero las masas de aire de las que provienen, o no son muy húmedas o no fueron elevadas muy altas.

Son precipitaciones uniformes, formadas por gotitas de diámetros menores a 0,5 mm, las que, debido a la pequeña velocidad de caída, parecen flotar en el aire.

- Garúa: es una llovizna de niebla. No afecta mayormente la visibilidad. Debido a su reducido peso y tamaño, las gotitas se mueven aleatoriamente en todas direcciones, por lo que parecen mojar por todos lados. La cantidad de agua que precipita es muy escasa. Las garúas son muy frecuentes en las costas chilenas, especialmente durante los meses de Agosto y Septiembre, época en que las neblinas suelen tener un espesor de 300 a 400 m.
- Chaparrón o chubasco: son lluvias breves pero de muy alta intensidad, pudiendo alcanzar varias decenas de milímetros por hora.
- Aguacero: es también una lluvia breve, pero a diferencia del chaparrón, mucho más abundante. Sus variedades más importantes son: o Aguacero fuerte: es una lluvia breve, muy fuerte, reducida a una pequeña zona
- Aguacero torrencial: es breve, pero fortísimo. Suele producir daños materiales. Tanto el chaparrón como los aguaceros son lluvias de poca duración (de 5 a 60 minutos), pero de mucha intensidad (de 50 a 200 mm).

Son lluvias producidas por el ascenso violento de masas de aire calientes y húmedas.

4. Aridez

La aridez se define como la falta de humedad y es un fenómeno basado en las condiciones climáticas promedio a lo largo del tiempo en una región (Laity, 2008; Ward,2016). Se diferencia de la sequía en que esta es el déficit de agua en escalas menores de tiempo (Maliva y Missimer, 2012). La desertificación es un término generado por las Naciones Unidas para referirse al proceso de reducción o pérdida de productividad económica de la tierra generada por causas antropogénicas o naturales (Spinoni *et al.*, 2014).

Las condiciones de clima árido se presentan cuando la cantidad de agua disponible por precipitación pluvial es menor que la tasas de pérdida de agua por evaporación y/o

transpiración (Ward, 2016). Los desiertos son los ecosistemas localizados en las regiones áridas del mundo y caracterizados por su gran aridez y biota característica.

Los niveles de aridez hacen que todos los desiertos tengan características del clima, ambiente, geomorfología, hidrología, suelos, flora y fauna en común y de formas de vida que los hacen ser distinguibles de otros ecosistemas, pero las regiones en que se presenta son tan variadas y sus historias tan diversas, que hacen de cada uno de los desiertos tenga un ensamble de procesos y elementos del paisaje únicos (Laity, 2008).

En 1942, Shreve definió inicialmente y de manera geográfica a los desiertos, como zonas en las que "hay poca e infrecuente lluvia, alto porcentaje de radiación solar, baja humedad atmosférica, alta temperatura diurna del aire, amplias marchas diurnas de temperatura, muy altas temperaturas de la superficie del suelo, presencia de riachuelos intermitentes, activa erosión por agua y viento y alta concentración de sales en el suelo" (Shreve, 1942).

4.1. Causas de la aridez

De manera global para que la tasa de evapotranspiración sea mayor a los niveles de precipitación, se requiere de la combinación de varios factores climáticos, topográficos y oceanográficos que evitan el soporte de sistemas húmedos y promueven la formación de zonas áridas (Maliva y Missimer, 2012). Las zonas áridas, además pueden ser clasificados como desiertos fríos y los desiertos cálidos.

Franjas subtropicales de alta presión. En la zona ecuatorial convergen los vientos del hemisferio norte y sur (zona de convergencia intertropical). Este movimiento de masas de aire, conocido como celda de Hadley, lleva el aire húmedo hacia el ecuador y deja una zona de alta presión alrededor de los 30° de latitud donde desciende aire seco de capas altas de la atmósfera (Figura 1).

Este cinturón de alta presión, se interrumpe en movimientos anticiclónicos, generando discontinuidades longitudinales en la aridez. En esta categoría tenemos a los mayores desiertos del mundo, como el de Arabia, Australia o Sahara. En estos desiertos, el cielo suele estar sin nubes, y reciben mucha radiación solar, generando altas tasas de evapotranspiración y de desecación. Los niveles de precipitación pueden ser sumamente variables, pero siempre pobres.

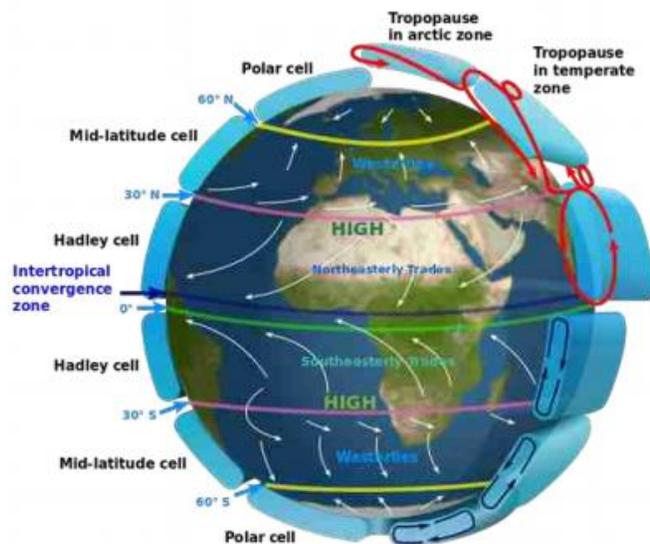


Figura 1. Circulación global de la atmósfera terrestre mostrando la celda de Hadley y la zona de convergencia Intertropical. Imagen de reproducida bajo licencia Creative Commons Attribution-Share 3.0.

- Desiertos interiores continentales y sombra orográfica

Las zonas continentales apartadas del mar pueden ser áridas por su distancia a fuentes de humedad. Las masas de aire van perdiendo agua y al momento de llegar a los interiores se encuentran secas.

En esta categoría tenemos los desiertos de Taklimakan al noroeste de China y el desierto de Gobi en la frontera entre Mongolia y China. La presencia de montañas puede aumentar la distancia recorrida a un área por la masa húmeda debido al efecto de sombra orográfica (Figura 2).

En este, las masas de aire húmedas provenientes del mar, al subir por la montaña se van enfriando y perdiendo humedad por precipitación en la vertiente que da al mar de manera que al llegar a la vertiente continental, están totalmente secas, como sucede en la el desierto Chihuahuense en México, o el desierto Monte-Patagónico en Argentina.



Figura 2. Imagen de relieve generando el efecto de sombra orográfica. Imagen de reproducida bajo licencia Creative Commons Attribution-Share 3.0.

- Corrientes marinas y nieblas

El movimiento del agua profunda del mar de latitudes polares hacia la superficie en latitudes menores, genera corrientes marinas frías en los márgenes oeste de los continentes como lo son la corriente de Humboldt en sud América, la corriente de Benguela en la costa sur de de África, la corriente de California en Norte América o la corriente Canaria en África del Norte.

El aire caliente de las zonas de alta presión genera neblina fría cuando entra en contacto con estas corrientes frías; si esta neblina fría no entra en contacto con masas de aire cálido provenientes del este (generalmente debido a sistemas montañosos en la región oriental), entonces la precipitación se observará principalmente en forma de neblina y se presentan condiciones propicias para la formación de los desiertos llamados fríos como en los casos de Atacama (en Chile), Namibia (en Namibia, sudoeste de África), costa del Sahara (en Sahara occidental, Noroeste de África), la región de la península Arábiga y cuerno de África (en Yemen y Somalia, Sur de península ibérica y noreste de África) y Península de Baja California, en México (Laity, 2008).

4.2. Adaptaciones de las plantas a la aridez

Los desiertos poseen una sorprendente diversidad de flora y fauna. La vegetación de los desiertos se caracteriza por la escasez de cubierta vegetal, baja biomasa vegetal y fuerte temporalidad en la productividad vegetal relacionada con la lluvia y una gran heterogeneidad espacial en ámbitos edáficos (composiciones minerales, nutrientes, contenido orgánico, retención de agua, etc.), topográficos y pluviométricos.

La vegetación desértica presenta diversas adaptaciones que les permiten poder vivir en ambientes áridos mediante tres principales estrategias: evitar, escapar y resistir (Laity, 2008), incluyendo adaptación a condiciones de temperatura extrema, al uso eficiente del agua, uso de nutrientes, estrategias para lograr una reproducción exitosa y adaptaciones a condiciones salinas, principalmente (Ward, 2016),

Escapan cuando las plantas (generalmente anuales) solo crecen y se establecen cuando se presentan condiciones óptimas de agua y no se establecen durante las épocas de mayor sequía; evaden cuando son capaces de establecer sus propias condiciones de supervivencia mediante el desarrollo de raíces profundas, succulencia, fotosíntesis tipo CAM, entre otros; resisten cuando presentan modificaciones fisiológicas de intercambio de gas, durante el período de estrés hídrico, como cerrar estomas durante la desecación, disminuir la conductancia del xilema, etc. Independientemente del grupo de estrategias que se trate, las plantas de los desiertos presentan, a fin de cuentas, varias adaptaciones que les permite funcionar bajo altas temperaturas ambientales (Lipiec *et al.*, 2013).

Algunas especies disminuyen su temperatura interna moviendo la orientación del área expuesta de sus hojas hacia zonas de menor calor, como en el caso de la inclinación de las cactáceas columnares *Cephalocereus* spp. (viejitos); pigmentaciones que reflejan el calor; mientras que otras especies generan una capa de aire con baja insolación en su superficie, cubriéndose de pelos y espinas que absorben y reflejan la radiación; y otras más se enfrían, aumentando su transpiración y disminuyendo su proporción área-volumen (Lipiec *et al.*, 2013).

Para tolerar las condiciones de ausencia de agua, las plantas tienden a presentar bajas tasas de crecimiento, y han desarrollado diferentes estrategias para evitar la pérdida de

agua: cutículas gruesas que aíslan y evitan la pérdida de agua; estomas hundidos formando una bóveda que evitan la transpiración excesiva y con sistemas de cierre rápido; pelos en la superficie que disminuyen la evapotranspiración; presencia de tejidos de almacenamiento; raíces con sistemas de fuerte presión de succión (sobre 100bar; 10,000 kPa) para poder tomar agua del suelo de manera eficiente, y presencia de raíces laterales superficiales para tomar agua de la superficie; pérdida o reducción de hojas para disminuir la evapotranspiración.

La fotosíntesis tipo Metabolismo Ácido Crasuláceo (CAM, por sus siglas en inglés), es una ruta fotosintética (además de la C3 y C4) que presentan muchas plantas suculentas de zonas áridas. Es un tipo de fotosíntesis que se presenta en dos fases, una durante el día y otra durante la noche. Cuando la radiación solar es menor y la temperatura desciende, la planta abre sus estomas facilitando la entrada de CO₂ y su conversión y almacenamiento como ácido málico. Cuando la radiación solar es mayor, los estomas se cierran y el ácido málico se metaboliza hacia azúcar mediante la RbcL carboxilasa (Yamori *et al.*, 2014).

Algunas plantas, como los Agaves, son capaces de cambiar su ruta fotosintética entre de CAM a C3 cuando hay agua disponible en el medio (Hartsock y Nobel, 1976). Debido a las variación en la disponibilidad de recursos y de polinizadores, las plantas también presentan adaptaciones reproductivas para poder subsistir: suelen sincronizar la reproducción cuando las condiciones ambientales son propicias para el establecimiento de plántulas y suprimirla cuando no; pueden alargar los tiempos de dispersión de semillas o retrasar y extender los períodos de germinación incluso por varios años hasta que coincida con temporadas adecuadas para el establecimiento (como con fenómenos tipo El Niño (Bowers, 1997)). Muchas plantas también presentan mecanismos para evitar la dispersión a larga distancia y asegurar el ambiente de la plántula.

La succulencia es otra adaptación para la vida en los desiertos. El incremento en contenido de agua en los tejidos vegetales con respecto a la superficie celular diluye la concentración de electrolitos en el protoplasma cuando las plantas se encuentran en

suelos demasiado salinos y aumenta la cantidad de agua disponible para las funciones celulares.

4.3. Índices de aridez

Aunque existen características comunes que unifican las zonas áridas del mundo, dentro de ellas existe un amplio rango de condiciones de aridez, que, junto con las características geográficas y bióticas específicas de cada región hacen de cada desierto un sistema único. En un esfuerzo por identificar y cuantificar los niveles de aridez en el mundo, se han desarrollado diferentes índices (para una revisión, ver Stadler, 2005).

Por ejemplo, Grove (1977), utiliza los niveles de precipitación para clasificar los desiertos del mundo en hiperáridas (con ciclos irregulares de precipitación en los que puede haber 12 meses continuos sin lluvia) como el desierto de Atacama o la región oeste del Sahara en Egipto; en áridos, cuando tienen precipitaciones anuales entre 25 mm y 200 mm; y semiárido cuando reciben entre 200 y 500 mm. Todas las regiones con precipitaciones mayores, pero considerable evapotranspiración son considerados como secos subhúmedos.

Aunque este sistema mide directamente la precipitación el primer carácter relacionado a la aridez no considera la posibilidad de pérdida del agua por evapotranspiración o por evaporación directa.

Como este sistema dejaba fuera muchas zonas claramente identificadas como zonas áridas, en 1979 la UNESCO desarrolló un índice de aridez ampliamente utilizado y aceptado en la actualidad (Spinoni, 2014) y que incorpora el segundo elemento de la 10 aridez: la pérdida de agua mediante la evapotranspiración potencial.

El índice de aridez de la UNESCO (AI), utiliza la precipitación anual total en milímetros dividida entre la tasa de evapotranspiración potencial (habilidad de la atmósfera para eliminar agua por medio de la evaporación o transpiración). A partir, de este índice, la UNESCO (1979), propuso clasificar las zonas áridas como hiperáridas.

A partir de estos índices, se puede observar que las zonas áridas ocupan prácticamente un tercio de la superficie emergida de la Tierra (aproximadamente 49 millones de km²,

localizándose principalmente en las zonas intertropicales de los hemisferios norte y sur (Laity, 2008).

Las regiones más áridas del mundo, se encuentran encabezadas por el desierto de Atacama en Chile en Sud América (el más árido), el pequeño desierto del Altar, en el estado de Sonora al norte de México, el desierto del Sahara al norte de África (el más extenso), el de Namibia al sur de África, el desierto Somalí-Chalib en la costa del mar Rojo al noreste Africano, los desiertos Nubo Índico y Árabe en la península del mismo nombre, el desierto del Thar en la frontera Indo-Paquistaní, el gran desierto de Taklamakan en la región noroeste de China y el desierto del Gobi, en Mongolia.

4.4. La aridez en Cuba

Desde comienzo de la década de los 90, Cuba ha prestado atención al tema del cambio climático, incorporándolo desde entonces en su agenda ambiental. Los resultados de las investigaciones indican un incremento de la temperatura (entre 1,6 y 2,5 °C para el 2100); un mayor incremento de la temperatura en el verano (mayor que la esperada para el invierno); el comportamiento incierto de las precipitaciones; un aumento de la evaporación debido al aumento de temperatura, el cual favorecerá la aridez; y el aumento del nivel del mar (CITMA, 2012).

Las variaciones más significativas se describen para los distritos localizados en la zona oriental del país, coincidiendo con el macizo montañoso NipeSagua-Baracoa, debido a la complejidad geomorfológica y biológica de esta región, que se refiere como la más sensible al cambio climático. La situación proyectada indica que puede haber variaciones en algunos ecosistemas, especialmente por el desplazamiento hacia zonas de mayor altitud de la franja costera semidesértica Maisí-Guantánamo (Lapinel *et al.*, 2006).

Las proyecciones del clima y su efecto sobre la agricultura han sido estudiadas por investigadores considerando que las condiciones climáticas darán lugar al aumento de la evapotranspiración potencial y a tendencias desfavorables en el ciclo hidrológico, con disminución de los valores de humedad del suelo y mayor grado de aridez que tendrá su máxima expresión en la zona oriental del país; además, se espera un aumento de la frecuencia, duración y severidad de los episodios de sequía.

En cuanto a los rendimientos agrícolas, diversos autores señalan que como tendencia, el cambio climático impactará negativamente en ello afectando numerosos cultivos y provocando disminuciones progresivas a todo lo largo del siglo XXI (Planos, 2013).

Se aprecia que esta reducción alcanzará valores del 10 al 25 % para la mayoría de los cultivos para el 2100 con relación a los rendimientos actuales. Específicamente para la caña será entre el 5 y el 10 % y para la papa entre el 45 y 50 %. La evapotranspiración de los cultivos disminuirá en general y los rendimientos de los cultivos de secano disminuirán entre un 15 y 30 % (Planos, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en CPA “2 de Abril” del municipio Báguanos, provincia Holguín. La unidad se encuentra ubicada en el lugar conocido por Santa Rita, y la misma tiene 6 lotes de tierra agrupados de la siguiente forma:

Lote No 1: Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con la UEB Silvícola Camazán.

Lindero este: linda con la UEB Silvícola Camazán.

Lindero sur: linda con la UEB Silvícola Camazán.

Lindero oeste: linda con el camino de Santa Rita a Yarey.

Lote No 2: Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con la UEB Silvícola Camazán.

Lindero este: linda con el camino de Santa Rita a Cieneguita .

Lindero sur: linda con el camino de Santa Rita a Yarey.

Lindero oeste: linda con Saturnino Almaguer Gámez.

Lote No 3 : Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con la UEB Silvícola Camazán y el camino de Santa Rita a Los Novillos.

Lindero este: linda con el camino de Santa Rita a Los Novillos .

Lindero sur: linda con el camino de Santa Rita a Yarey.

Lindero oeste: linda con el camino de Santa Rita a Vallejo.

Lote No 4: Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con caserío de Santa Rita.

Lindero este: linda con el camino de Santa Rita a Tacajó.

Lindero sur: linda con Diógenes Hernández.

Lindero oeste: linda con Diógenes Hernández.

Lote No 5: Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con Erasmo Almaguer Tamayo.

Lindero este: linda con el camino de Santa Rita a Tacajó.

Lindero sur: linda con UBPC pecuaria Rafael Moreno.

Lindero oeste: linda con la Unidad de Flora y Fauna.

Lote No 6: Se encuentra en Santa Rita

Lindero norte: linda con el camino de Santa Rita a Cieneguita .

Lindero este: linda con Francisco Mariño Batista.

Lindero sur: linda con la UEB Integral Agropecuaria Báguano.

Lindero oeste: linda con el camino de Santa Rita a Tacajó.

Tabla 1. Datos de uso y superficie.

Zona	No. De	Superficie	Tipo de Uso
Catastral	Lote	ha	

2	Lote No. 1	3.30	Bosque
2	Lote No. 2	84.41	Pasto Natural
3	Lote No. 3	53.74	Pasto Natural
2	Lote No. 4	1.21	Caserío
2	Lote No. 5	80.99	Pasto Natural
3	Lote No. 6	5.41	Pasto Natural
<i>SUPERFICIE TOTAL</i>		229.06	

La Tabla 1 ilustra los datos referentes a la superficie por uso de la tierra en el área de estudio en la que predominan el bosque y el pasto natural. En la Figura 3 se muestra una imagen del área de estudio tomada del SAS Planet sobre la cual se construyó una capa vectorial y una de 100 puntos completamente aleatorizados con una separación de 1000 metros entre cada uno lo cual abarca toda la superficie de la unidad.

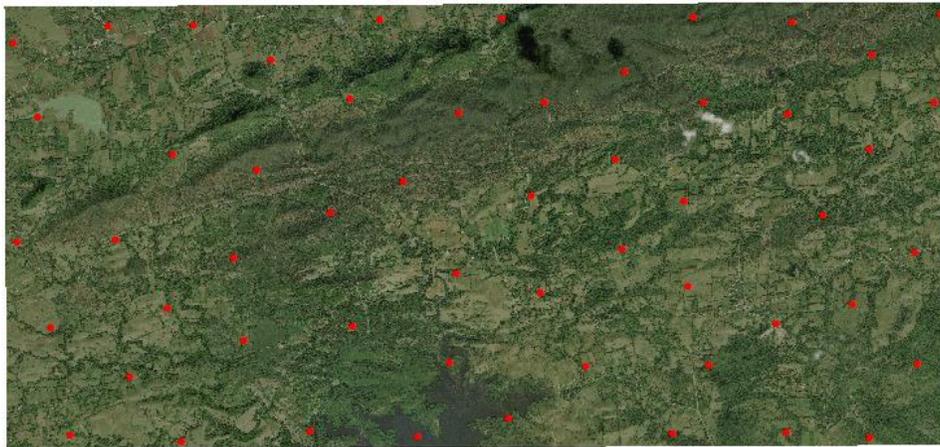


Figura 3. Imagen del área de estudio tomada del SAS Planet sobre la cual se construyó una capa vectorial y una de puntos aleatorios.

Para la determinación de la aridez se utilizaron dos imágenes provenientes del Wordclim 2 las cuales mapifican las variables de precipitación anual y temperatura media. Utilizando la opción de Raster Calculator en el software ArcGIS 10.5 se procedió al cálculo del Índice de Lang para la determinación de la aridez propuesto por (IGAC, 2014).

$$I = \frac{Pa}{Tm}$$

$$I = \frac{Pa}{Tm}$$

(1)

Donde I es el Índice de Lang, Pa es la precipitación anual expresada en mm y Tm es la temperatura media anual expresada en °C.

Para la determinación del estado de la vegetación se utilizó una imagen del satélite (LC8_L2SP_011046_20211111_20220119_02_T1) Landsat 8 OLI/TIRS del Servicio Geológico de los Estados Unidos, la cual se proyectó en el Sistema WGS 84 UTM Zona 18 Norte en la cuadrícula 011/046. La imagen utilizada tiene como características las siguientes (Tabla 2).

Tabla 2. Características de la imagen proveniente del Landsat 8 OLI/TIRS.

Bandas	Color de las bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución (metros)
1	Aerosol costero	0.433-0.453	30
2	Azul	0.450-0.515	30
3	Verde	0.525-0.600	30

4	Rojo	0.630-0.680	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.845-0.885	30
6	Infrarrojo de onda corta (SWIR1)	1.560-1.660	30
7	Infrarrojo de onda corta (SWIR2)	2.100-2.300	30
8	Pancromático	0.500-0.680	15
9	Cirrus	1.360-1.390	30
10	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.30-11.30	100
11	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50-12.50	100

Por su cúmulo y el tiempo, las imágenes Landsat tienen una resolución espacial de 30 m, resolución temporal de 16 días y una cobertura del terreno de 185 km. Para el análisis de la imagen satelital se proyectó en el software QGis 3.10 A Coruña en el donde se realizó la corrección radiométrica, se procedió al cálculo del NDVI según la expresión planteada por (Rouse *et al.*, 1974).

Luego de obtenido el raster de aridez y de NDVI, se procedió a la extracción de los valores a partir de la capa de puntos mostrada en la Figura 3. Se utilizó el software STATGRAPHICS para el análisis de regresión lineal entre el estado de la vegetación y la aridez presente en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 4 muestra el mapa temático del área de estudio con respecto al Índice de Lang el cual se observó la presencia de zonas homogéneas con valores que se clasifican como semiáridos (IGAP, 2014) para un índice que oscila entre valores de 42 a 47. Según Cabido *et al.* (1994), los pastizales de zonas áridas presentan una recuperación más lenta, en comparación con sus análogos de zonas húmedas.

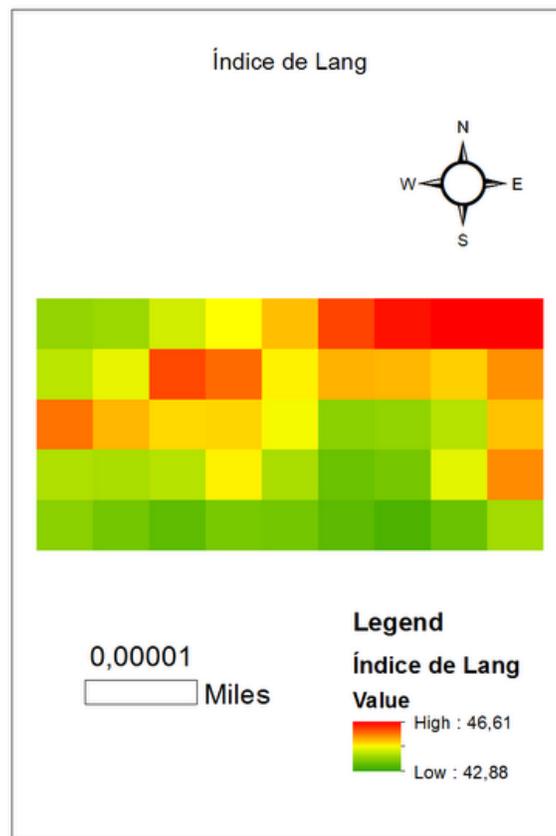


Figura 4. Índice de Lang para el área de estudio.

En base a esto es menester considerar al pastizal natural como sistemas ecológicos más frágiles y susceptibles a las perturbaciones, por lo cual compatibilizar los sistemas de producción con la conservación del mismo, es un aspecto clave para el desarrollo de la ganadería en las zonas áridas y semiáridas (Vera *et al.*, 2003).

En ese sentido y como paso inicial para evitar la degradación del pastizal, es necesario contar con una detallada caracterización de las especies forrajeras y una completa evaluación del estado de conservación (Dalmasso *et al.*, 2018).

En la Figura 5 se ilustra el raster obtenido del cálculo del NDVI para el área de estudio. En el mismo se observa valores negativos de $-0,14$ de NDVI lo cual corresponde según lo planteado por Merg *et al.* (2011) a la presencia de nubes en la imagen utilizada, mientras que los valores superiores hasta $0,61$ a la presencia de suelo sin vegetación o una baja densidad de especies vegetales en el área.

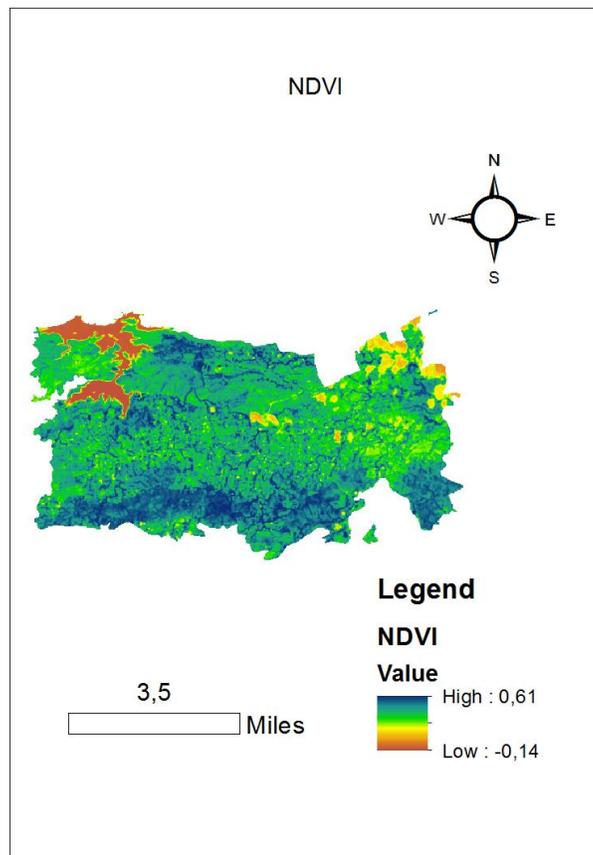


Figura 5. Determinación del NDVI en el área de estudio.

La aplicación de datos espaciales al estudio de la vegetación de zonas áridas presenta, además otra complejidad. Muchos de los índices de vegetación derivados del procesamiento de imágenes satelitales, especialmente los que se obtienen de la

diferencia entre las bandas que corresponden al rojo e infrarrojo cercano y visible, son buenos estimadores de la vegetación en estado verde, vigoroso y con elevados porcentajes de cobertura (Tapia *et al.*, 2020).

A diferencia de otros índices de vegetación, el NDVI posee una gran sencillez en el cálculo y el análisis de las variables biofísicas correspondientes a la cobertura vegetal. Además de la comparabilidad de resultados obtenidos por diferentes investigadores. Sin embargo, este índice posee una baja capacidad de restricción de la influencia del suelo desnudo y de la atmósfera (Merg *et al.*, 2011). A pesar de ello, el NDVI ha sido usado extensivamente en estudios de pequeña y gran escala debido a su fácil interpretabilidad. Dichos estudios han permitido comprender el estado de la vegetación, detectando fenómenos de amplio rango de acción (Millano y Paredes, 2016).

La evaluación de la vegetación en el centro y sur de América, mediante series de tiempo de NDVI, que permitan conocer su comportamiento y el manejo de estos ecosistemas ante eventos como sequías, inundaciones, incendios forestales o deforestación. Esta información fue elaborada mediante recopilación e interpretación bibliográfica existente, con lo cual obtuvieron que la dinámica de la vegetación a partir de series temporales del NDVI ha tomado gran importancia en los últimos años con respecto al manejo de la cobertura vegetal y a la modelación del clima en diversas regiones de Latinoamérica (Millano y Paredes, 2016).

En la investigación de Aldás (2019) en una zona árida de Argentina, encontró valores de NDVI más altos en el primer período de tiempo estudiado, mientras que con el paso de los años los valores siguientes mostraron un incremento en el estrés de la vegetación dejando al descubierto áreas con intensos procesos de deforestación y transformación de la cobertura vegetal natural en áreas dedicadas a actividades agropecuarias.

La Figura 6 muestra el modelo de regresión lineal obtenido de relacionar el Índice de Lang y el NDVI. En este modelo se observa que existe una relación directamente proporcional entre las variables con una dependencia lineal entre ellas. Los valores se encuentran sobre la línea de los autovalores de cada variable se observa que una disminución del Índice de Lang le corresponde un menor valor de NDVI.

Índice de Lang vs. NDVI

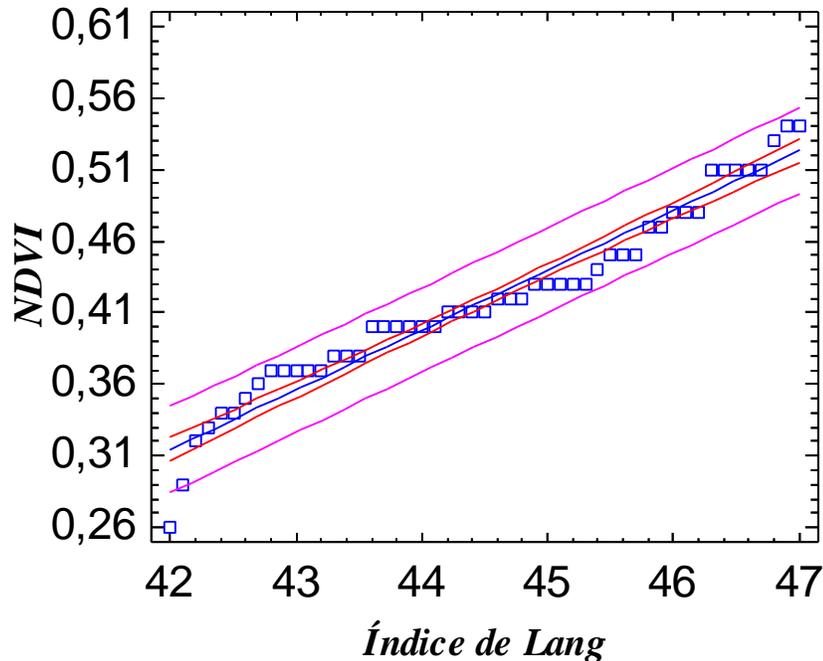


Figura 6. Modelo obtenido por regresión lineal entre el Índice de Lang y el NDVI.

El alto porcentaje de suelo desnudo, así como el escaso número de especies registradas, podría estar relacionado al estado de degradación del pastizal natural. En ese sentido Scaglia *et al.* (2018) evaluó el estado de los pastizales naturales en sitios degradados en el sur-este de la provincia de San Juan de Chile. Reportó que existen diferencias tanto en la composición florística, productividad del pastizal y porcentaje de suelo desnudo entre los distintos pastizales evaluados. En los sitios más degradados encontraron que la composición florística fue menor y el porcentaje de suelo desnudo fue mayor.

Los valores más bajos de NDVI durante todo el periodo de estudio se dieron en las zonas de mayor aridez, aumentando estos a medida que disminuyó la aridez (valores más elevados del índice de aridez). De hecho, las dos parcelas situadas en zonas intermedias dentro del gradiente de aridez presentaron una dinámica de NDVI diferente,

con valores más constantes (en torno a 0.3) durante todo el periodo de estudio (Rodríguez, 2018).

Los estadígrafos del análisis de regresión lineal entre el Índice de Lang y el NDVI, se muestran en la Tabla 3. Existe una fuerte correlación entre las variables descrita por un 0,97 (correlación perfecta) de Coeficiente de Correlación mientras que la determinación de las variables muestra valores cercanos al 100 % para un 94,81 %. Existe una fuerte significación según el estadígrafo de Durbin Watson y los valores de Error Estándar y Error Cuadrático Medio se encuentra en los rangos permisibles en los valores en que oscilan las variables.

En el estudio realizado por Poggio *et al.* (2018) encontraron una alta correlación y determinación en pruebas estadísticas de los datos proporcionados por esta base de datos climáticos global, mediante el uso del índice de aridez de De Martonne lo cuales predicen el impacto potencial del cambio climático y provee información para desarrollar estrategias adaptables para ocuparse de un clima cambiante. Los resultados confirman que los modelos espaciales son a menudo más precisos cuando son más extensas las áreas de estudio (Casa *et al.*, 2017).

Tabla 3. Estadígrafos del análisis de regresión lineal entre el Índice de Lang y el NDVI.

Estadígrafos del análisis de regresión lineal	Valores
Coeficiente de Correlación	0,97
Coeficiente de Determinación (%)	94,81
Error Estándar	0,02
Error Medio Absoluto	0,01
Durbin-Watson	0,36 (P=0,0000)
Ecuación del Modelo	NDVI = -1,43 + 0,04*IL

A todo esto hay que sumar el efecto negativo de la presión antrópica sobre el funcionamiento de estos ecosistemas tan sensibles, que afectara de forma negativa tanto a la cubierta vegetal, reduciendo la resiliencia del sistema (López-Ballesteros *et al.*, 2018) y haciéndolo más susceptible al aumento esperado de aridez.

El proceso de aridez, mencionado por varios autores en la región (Rueter, 2013), puede deberse a la ganadería extensiva con cargas superiores a las recomendables. En muchos establecimientos ganaderos se produce una sobrecarga, sobrestimando la capacidad de los ecosistemas, lo que puede contribuir a acentuar tanto la “arbustización” como la desertificación (Celdran, 2010).

El sobrepastoreo produce, a nivel de paisaje, la reducción de la cubierta vegetal y el incremento de la erosión del suelo. Además, el pisoteo de los animales reduce la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo, produciendo cambios en la textura (Thornes, 1990).

El sobrepastoreo afecta fuertemente a la estructura y función de los ecosistemas mediante la selección de las especies comidas que son remplazadas por otras menos palatables (espinosas o con contenido elevado de metabolitos secundarios) y el pisoteo de los herbívoros que dispara mecanismos que propician el reemplazo de especies, la pérdida de suelo, la reducción de la producción de forraje y, por ende, la receptividad forrajera (Paruelo *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

- ❑ La determinación de la aridez mostró la presencia de un Índice de Lang que corresponde a una zona semiárida con presencia de valores de dicho índice de 42 a 47 lo cual se corresponde a las condiciones de uso del suelo.
- ❑ En la zona de estudio, se corrobora lo expresado en diferentes investigaciones a que este sistema de uso de ganadería, trae consigo el desencadenamiento de la degradación de los suelos y déficit de vegetación expresados por un NDVI de hasta 0,6.
- ❑ Existe una alta correlación y determinación con valores cercanos a 1 y al 100 % lo cual refiere que entre el Índice de Lang utilizado para la determinación de la aridez y el NDVI con imágenes de Landsat 8 OLI/TIRS, puede ser utilizados para la estimación de este tipo de proceso de degradación del suelo en un uso ganadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adarvez, S., M. Ontiveros, S.M. Giannoni, C. Borghi y S. Torrella. (2016). *Identificación y distribución de unidades ambientales en un área protegida (Ischigualasto) perteneciente a la región híper árida del desierto del monte*. XVII Simposio Internacional SELPER.
- Ahmed, I., Mur Rahman, M. H., Ahmed, S., Hussain, J., Ullah, A. y Judge, J. (2018). Assessing the impact of climate variability on maize using simulation modeling under semi-arid environment of Punjab, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(28), 28413-28430.
- Aldás Andrade, A. P. (2019). Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de google Earth Engine (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
- Bisigato, A.J., P.E. Villagra, J.O. Ares y Rossi, B.E. (2009). Vegetation heterogeneity in Monte Desert ecosystems: A multi-scale approach linking patterns and processes. *J. Arid Environ.* 73: 182-191.
- Blanco, L. y Biurrun, F. (2005). *Niveles de degradación de la vegetación del Chaco árido. Una Aproximación cuantitativa a partir de imágenes satelitales*. Serie de publicaciones del área de investigaciones del INTA 1-12 pp. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- Bowers, JE. (1997). Demographic patterns of *Ferocactus cylindraceus* in relation to substrate age and grazing history. *Plant Ecology* 133, 37-48.
- Brandt, P., Kvakić, M., Butterbach-Bahl, K., y Rufino, M. C. (2017). How to target climate-smart agriculture? Concept and application of the consensus-driven decision support framework “targetCSA”. *Agricultural Systems*, 151, 234-245.
- Cabido, A. L., Manzur, A., Carranza, L. y C. González, Albarracin. (1994). La vegetación y el medio físico del Chaco Árido en la provincia de Córdoba, Argentina Central. *Phytocoenologia* 24:423-460. <https://doi10.1127/phyto/24/1994/423>

- Campos, V.E., Gatica, M.G., Cappa, F., Giannonia, S. y Campos, C. (2018). Remote sensing data to assess compositional and structural indicators in dry Woodland. *Ecol. Indicators* 88: 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.032>
- Casa Martín F, Echeverría E, D'Amico Celis. (2017). Zonificación climática para su aplicación al diseño bioclimático. Aplicación en Galicia (España). *Informes de la Construcción*, 69(547): e218. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55319> .
- Chuvieco, E. (2006). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. Ariel.
- Conegliano, O. (2018). *Comportamiento en pastoreo del ganado bovino criollo argentino y Aberdeen angus ecotipo riojano, en pastizales naturales del Chaco Árido*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Mar de Plata, Argentina.
- Dalmasso, A., Márquez, J., Navas, A.L., Moratta, M.A., Gordillo, L. y Salomón, E. (2018). Las Principales pasturas del secano cuyano. Ediciones UNSJ, San Juan.
- Ficka Stephen y Hijmans Robert J. (2017). WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land áreas. *International Journal of Climatology*. Doi: 10.1002/joc.5086.
- Goirán, S.B., Aranibar, J.N. y Gómez, M.L. (2012). Heterogeneous spatial distribution of traditional livestock settlements and their effects on vegetation cover in arid groundwater coupled ecosystems in the Monte Desert Argentina. *J. Arid Environm.* 87: 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.07.011>
- Grove, AT. (1977). The geograpy of semi-arid landas. *Philosophical Transactions of the Royal society of London, Series B278*: 457-475
- Hartsock TL, y Nobel PS. (1976). Watering converts a CAM plant to daytime CO₂ uptake. *Nature*, 262, 574.
- Hernández, A. M. y Moragues, J. A. (2002). Uso de la Información Espacial para la Gestión de Emergencias, no. 3, Inst. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Buenos Aires, Argentina, p. 63,

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).(2014). Instructivo. Zonificación climática grupo interno de trabajo de levantamientos agrologicos. Cód. I40100-05/1 4.V1. Fecha O, 10 p.
- Johnston, Ryan., Matlock, D. (2011). Geospatial Climate Data”, University of Arkansas. The sustainability consortium, Food, Beverage and agriculture,
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., y Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.
- Kukar, M., Vračar, P., Košir, D., Pevec, D y Bosnić, Z. (2019). AgroDSS: A decisión support system for agriculture and farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 260-271.
- Laity J. 2008. Deserts and desert environments. Johon Wiley & Sons. 360pp.
- Lapinel, P. B. P.; Centella, A. A.; Fonseca, R. C.; Cutié, C. V. y González, G. I. (2006). Causas de la reciente sequía acaecida en la Región Oriental de Cuba”. En *Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference*, (no. ser. 308), Ed. IAHS Publication, Havana, Cuba, p-29, ISBN 1901502787.
- Lipiec J, Doussan C, Nosalewicz A, Kondracka K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plat growth and yield: a review. *International Agrophysics* 27:463-477.
- López, A., Oyonarte, C., Kowalski, A.S., Serrano-Ortiz, P., Sánchez, E.P., Moya, M.R y Domingo, F. (2018). Can land degradation drive differences in the C exchange of two similar semiarid ecosystems?. *Biogeosciences*, 15, 263-278.
- Maliva R y Missimer T. (2012). Arid Lands Water Evaluation and Management. Environmental Sciences and Engineering, Springer-Verlag, New York, pp: 21: 39.
- Mariscal, Amílcar. (1992), Agroclimatología. Publicada en la Universidad Tomas Frías, p 42-125.

- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Díez, M. F., Schmindt, F., Selzer, F. (2011). *Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. Pilquen-Sección Agronomía, (11), 5.*
- Millano, J. y Paredes, F. (2016). Variabilidad de la vegetación con el índice de diferencia normalizada (NDVI) en latinoamérica. *Novum Scientiarum, 2, 33-44.*
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (2012). *Informe de Cuba a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río+20.* Ed. Agencia de Medio Ambiente (AMA), La Habana, Cuba, 38 p., ISBN 978-959-300-024-6.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Kimball, J. S.; McDowell, N. G. y Running, S. W. (2012). A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index". *Bulletin of the American Meteorological Society, 94(1): 83-98, ISSN 0003-0007, DOI 10.1175/ BAMS-D-11-00213.1.*
- Paruelo, J. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas. 17:4-22.*
- Paruelo, J., Guerscham, J y Verón, S. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy, 15 (87): 1-7.*
- Planos, G. E. O. Síntesis Informativa sobre Impactos del cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba., Ed. Agencia de Medio Ambiente, 6 de diciembre de 2013, 26 p.
- Poggio, Laura., Simonetti, Enrico., Gimona, Alessandro. (2018). Enhancing the WorldClim data set for national and regional applications. *Science of the Total Environment. 625: 1628-1643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.258>.*
- Ponvert-Delisle, Dámaso R. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales, 37(3): 22-41. Doi: 10.13140/RG.2.1.4591.3843.*

- Reynolds, J. y Stafford, D.M. 2002. *Do humans cause deserts?*. Dahlem Workshop Report 88. Berlin.
- Richards, J. y Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. 4ta ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Rodríguez, Borja. (2018). Efecto del cambio global en los espartales del se ibérico: importancia del efecto de la topografía en la disponibilidad de agua. Trabajo fin de Máster en Uso Sostenible de Recursos Naturales y Servicios Ecosistémicos, Universidad De Almería, España, p-52.
- Rouse, J. W., y Haas, R. H. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. *Third ERTS Symposium, 1*: 309-317).
- Rueter, B.L. (2013). *Análisis Estructural y Funcional de las Comunidades Vegetales de los Cañadones Costeros del Distrito del Golfo San Jorge. Su variación temporal*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Comodoro Rivadavia.
- Sala, O. Y Paruelo, J. (1997). Ecosystem services in grasslands. In: G. DAILY (ed). *Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems*, pp. 237- 252 Island Press, California. EE.UU.
- Sánchez, Andrés P. (2001). Introducción a la agro-climatología, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, pp-160.
- Sarochar E. (2005). Introducción a la meteorología general, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata. Pag. 25.
- Scaglia, J., Carnino, J. y C. Meglioli. (2018). *Evaluación de pastizales en áreas degradadas de la localidad de Las Trancas - 25 de Mayo -San Juan*. VIII Congreso Nacional y IV Congreso del Mercosur de Pastizales Naturales. La Rioja. Argentina
- Shreve, F. (1942). The desert vegetation of north america. *The botanical review*, 8(4):195:246.

- Spinoni J, Vogt J, Naumann G, Carrao H, Barbosa P. (2014). Towards identifying areas at climatological risk of desertification using the Köppen–Geiger classification and FAO aridity index. *International Journal of Climatology*. 35(9):2210-2222
- Stadler, S.J. (2005). Aridity indexes. En JE Oliver (Ed.), *Encyclopedia of world climatology*. Heidelberg: Springer. pp. 89-94.
- Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*.
- Tapia, R., CArm, J. y Martinelli, M. (2020). Técnicas de percepción remota para identificar y caracterizar comunidades forrajeras en un sistema ganadero del desierto hiperárido de San Juan (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 55: 619-630.
- Thornes, J.B. (1990). The interaction of erosional and vegetational dynamics in land degradation: Spatial outcomes. En: J.B. Thornes (Eds.), *Vegetation and erosion: Processes and environments*, Wiley & Sons, New York, pp. 41-54.
- Udvardy MDF. (1975). A classification of the biogeographical provinces of the world. Morges (Switzerland): International Union of Conservation of Nature and Natural Resources. IUCN Occasional Paper no. 18. [UNESCO]
- USGS. (2020). USGS EROS Archive, Landsat Archives, Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) Level-1 Data Products, [en línea], Inst. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), USA.
- Vera, G., Blanco, L. y Ferrando, C.A. (2003). *Relaciones entre la pobreza rural y el deterioro de los recursos forrajeros por prácticas ganaderas comunitarias en los Llanos de La Rioja*. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Vouraki, S., Skourtis, I., Psichos, K., Jones, W., Davis, C., Johnson, M., Rupérez, L. R. (2020). A Decision Support System for Economically Sustainable Sheep and Goat Farming. *Animals*, 10(12), 2421. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ani10122421>

Ward, D. (2016). *The Biology of Deserts*. Oxford University Press. Pp-370.

Yamori, W., Hikosaka, K y Way, DA. (2014). Temperature response of photosynthesis in C3, C4 and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Researcrch* 119:101-117

Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V. y Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256.